

JORNADAS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

2024



23 - 24
OCTUBRE

SAN FRANCISCO . CÓRDOBA . ARGENTINA

***SECYT** FACULTAD REGIONAL SAN FRANCISCO
SECRETARÍA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

***UTN** FACULTAD REGIONAL SAN FRANCISCO
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

***UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL**

AJEA
Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco

Jornadas de Ciencia y Tecnología 2024 de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco : 23 y 24 de octubre de 2024 ; Compilación de Diego Martín Ferreyra ... [et al.]. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Universidad Tecnológica Nacional, 2024.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-950-42-0249-3

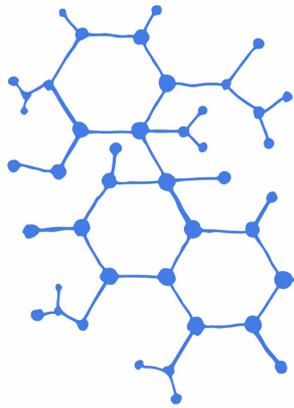
1. Ingeniería. I. Ferreyra, Diego Martín, comp.

CDD 620.007

ISBN 978-950-42-0249-3



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



Jornadas de Ciencia y Tecnología 2024

23 y 24 de octubre de 2024

Facultad Regional San Francisco

Memoria de Trabajos

Autoridades

Facultad Regional San Francisco – UTN

Decano: Ing. Esp. Alberto R. Toloza

Vicedecana: Ing. Claudia Mariela Verino

Secretario Académico: Mg. Ing. Juan Carlos Calloni

Secretario de Extensión y Cultura Universitaria: Ing. Alejandro Raúl Trossero

Secretario de Ciencia y Tecnología: Dr. Ing. Diego Martín Ferreyra

Secretario Administrativo: Ing. César Daniel Mina

Secretario de Asuntos Estudiantiles: Ing. Micaela Alejandra Sanmartino

Secretaria de Posgrado: Ing. Claudia Mariela Verino

Subsecretaria General: Ing. Carolina Inés Apendino

Subsecretario de Vinculación Tecnológica: Ing. Ezequiel Gribaudo

Subsecretario de Vinculación Institucional: Tec. Ezequiel Alejandro Fusero

Subsecretaria de Planeamiento Académico: Ing. Paulo Jesús Gianoglio

Directora Académica: Tec. Analía Fabiana Armando

Directora Administrativa: Lic. Patricia Marchetti

Directora de Recursos Humanos: Lic María Angélica Navarro

Directora de Servicios Generales: Lic. Mariela Olga Sánchez

Directora de Dpto de Ing. Química: Dra. Ing. Paula Carolina Garnero

Director de Dpto de Ing. en Sistemas de Información: Ing. Esp. Gabriel Rubén Cerutti

Director de Dpto de Ing Electromecánica: Ing. Fabián Kranevitter

Director de Dpto de Ing. Electrónica: Mag. Ing. Gastón Carlos Peretti

Director de Dpto de Lic. en Administración Rural: Cdor. Daniel Roberto Ricci

Director de Dpto de Materias Básicas: Ing. Esp. Gustavo Yoaquino

Coordinadora de Ing. Industrial: Ing. Carolina Inés Apendino

Coordinador de Tec. Universitaria en Programación: Mag. Ing. Javier Daniel Saldarini

Miembros del Comité Organizador

Diego Alejandro Cocconi

Diego Martin Ferreyra

Claudia del Valle Mercol

Lorena Elizabeth del Valle Peralta

Hugo Antonio Pipino

Oscar Miguel Rete

Lucía Belén Sobrero

María Eugenia Taverna

Miembros del Comité Científico

Ing. Abrile Mariana Guadalupe

Dr. Adam Eduardo José

Dra. Aloisio Carolina

Dra. Andreatta Alfonsina Ester

Ing. Armando Silvana María

Lic. Badella María Laura

Dra. Bernard Mariana

Dr. Bernardi Emanuel

Dra. Bertero Melisa Paola

Ing. Bertossi Marcelo Leonides

Ing. Bressán Luisina Beatriz

Dr. Britch Javier

Mg. Burgos Enrique Sergio

Ing. Busano Facundo Nicolás

Lic. Busatto Carlos Alberto

Mg. Calloni Juan Carlos

Ing. Cappelletti Carlos Alberto

Mg. Carrizo Claudio

Esp. Castelló Gonzalo

Esp. Cerutti Gabriel Ruben

Ing. Chiappero Lucio Rafael

Ing. Cocconi Diego Alejandro

Dr. Cravero Ricardo Alberto

Esp. Depetris Leonardo José

Ing. Depetris Lorenzo Jesus

Mg. Diaz Dario Walter

Ing. Dietta Leandro Emanuel

Dr. Donolo Pablo Daniel

Ing. Dopazo Manuel Joaquín

Dr. Estevez Bolivar Pedro Antonio

Ing. Felissia Sergio Francisco

Esp. Fernández Juan Pedro

Mg. Ferreira da Silva Eduardo Augusto

Dr. Ferreyra Diego Martín

Esp. Ferreyra Juan Pablo

Ing. Florena Edgardo Fernando

Dr. Fookes Federico

Ing. Garay Ruben Carlos

Dr. García Juan Rafael

Dra. Garnero Paula Carolina

Dra. Gilbert Elangeni

Dr. Gomez Leticia Ester

Ing. Gribaudo Ezequiel

Dra. Guntero Vanina Alejandra

Dra. Gutierrez Marina Verónica

Ing. Guzmán Silvina

Dra. Hormaiztegui María Eugenia Victoria

Dr. Karp Federico

Dra. Malatesta Alicia Angélica

Ing. Marlatto Raúl Alberto

Dra. Martínez Figueredo Karla Geraldine

Dr. Mayorga Betancourt Manuel Alejandro

Ing. Miretti Marco Luis	Dr. Sangoi Emmanuel
Ing. Mussetta Sebastian Norberto	Ing. Sarmiento Ana Carina
Ing. Musso Daniel José	Mg. Sarmiento Leandro
Dra. Navarro Lucila	Dr. Saux Clara
Mag. Neira Rodolfo Eduardo	Ing. Schultheis María Victoria
Mg. Novara Franco Matías	Dra. Serra Mónica Andrea
Ing. Orecchia Daiana	Ing. Soria Laureana Rosario
Ing. Peralta Micaela Belén	Ing. Szwarc Gerardo Daniel
Mag. Peretti Gastón	Dr. Taverna María Eugenia
Dr. Pipino Hugo	Ing. Tonini Walter René
Ing. Porporatto María Celeste	Ing. Toselli Luis Alberto
Dr. Pujro Tarquino Richard Alfonso	Esp. Uribe Echevarría Milena Esther
Dr. Puliafito Enrique	Mg. Vázquez Manuela
Ing. Quicchi Agostina Lucía	Ing. Vera Marcela Andrea
Dr. Raspo Matías Alejandro	Dr. Vignola María Belén
Dr. Redolfi Javier Andrés	Dra. Villada Yurany Andrea
Dr. Rete Oscar Miguel	Mg. Yennerich Germán
Mg. Rodríguez Gustavo Miguel	Ing. Yoaquino Gustavo Javier
Ing. Ros Mario Alberto	Mg. Yuan Rebeca
Mg. Saldarini Javier	Dr. Zanuttini María Soledad

Prólogo

Anualmente, se organizan las Jornadas de Ciencia y Tecnología de la UTN Facultad Regional San Francisco, con la prioridad de estrechar lazos entre grupos de investigación locales, de otras Facultades de UTN, y de otras instituciones. Las temáticas centrales son transversales a las carreras de grado y posgrado locales.

La modalidad central de participación es la presentación de artículos científicos sobre investigaciones que pueden estar en diferentes estados de avance. Esto implica que se admiten trabajos en curso, incluso con resultados parciales, típicamente en el contexto de proyectos de I+D homologados, donde es común que estudiantes de grado o posgrado participen en calidad de coautores como parte natural de su proceso de formación en actividades de I+D.

Los trabajos presentados son sometidos a su vez a una revisión por pares en la modalidad “simple ciego”. En este proceso de revisión, se fomenta la realización de aportes y devoluciones en modalidad constructiva por parte de los evaluadores, en línea con la mencionada participación de estudiantes como coautores. Los trabajos aprobados se editan finalmente en este libro de memorias, que se pone a disposición del público con modalidad de acceso abierto.

En cada edición de estas Jornadas, se organizan actividades diferentes según las necesidades y posibilidades de cada año, llegando incluso a la modalidad completamente virtual cuando fue necesario. Por ejemplo, en años recientes, se organizaron disertaciones sobre la actualidad en diversas disciplinas tecnológicas. Para la edición actual, en cambio, se recuperó una modalidad que implica que los artículos pudieran exponerse en modalidad oral, además de ofrecer la opción de presentar un póster. La variante de la exposición oral resulta especialmente valiosa para que aquellos estudiantes que están dando sus primeros pasos en la I+D puedan tener su primera experiencia en la defensa de un trabajo de este tipo. Más allá de esto, se generó una disertación de cierre a fin de generar una motivación adicional para que estudiantes de grado y posgrado se mantengan involucrados en actividades de investigación.

Con más de veinte años de realización ininterrumpida, estas Jornadas constituyen un espacio de intercambio y difusión de contenidos de ciencia y tecnología, pero sobre todo un ámbito de encuentro entre estudiantes, docentes e investigadores, más allá de sus intereses y áreas de trabajo específicas. En esta nueva edición 2024, se volvió a implementar una modalidad híbrida, a fin de ampliar la participación de disertantes de otras localizaciones.

De la compilación de los artículos aprobados, que constituyen trabajos completos con referato., se genera este libro digital editado según las normativas de AJEA y que cuenta con DOI e ISBN.

Foreword

Every year, the San Francisco Regional Faculty of the National Technological University (Universidad Tecnológica Nacional), organizes its Science and Technology Conference (Jornadas de Ciencia y Tecnología) with the priority of strengthening ties between research groups from our Faculty, other UTN Faculties, and even other institutions. The main topics are transversal to the local bachelor and postgraduate careers.

The main form of participation is the presentation of scientific articles on research that may be at various stages. This implies that works in progress are admitted, even with partial results, typically in the context of approved R&D projects, where it is common for undergraduate or graduate students to participate as co-authors as a natural part of their R&D training process.

The papers submitted are subjected to a “single blind” peer review. In this process, constructive contributions and feedback from the reviewers are encouraged, in line with the aforementioned participation of students as co-authors. The approved papers are finally published in this book of proceedings, which is made available to the public in open access mode.

For each edition of these Conferences, different activities are organized according to the particular needs and possibilities for each year, even going completely virtual when required. For instance, in recent years, dissertations were organized on the status in various technological disciplines. For the current edition, instead, a modality was restored that implies that the articles could be presented orally, while the option of presenting a poster remained. The oral presentation variant is particularly valuable for students taking their first steps in R&D to have their first experience in presenting this kind of papers. Apart from this, a closing dissertation was implemented in order to generate additional motivation for undergraduate and graduate students to stay involved in research activities.

With over twenty years of uninterrupted organization, this Conference offers a space for the exchange and dissemination of science and technology contents, but above all serves as a meeting point for students, professors, and researchers, beyond their specific interests and areas of work. A hybrid modality was implemented again in this 2024 edition, to expand the participation of speakers from other locations.

After the compilation of the approved articles, which constitute full refereed papers, this digital book is generated, edited according to AJEA regulations, including DOI and ISBN.

Palabras del Secretario de Ciencia y Tecnología Facultad Regional San Francisco

San Francisco (provincia de Córdoba), octubre de 2024
¡Bienvenidos a las Jornadas de Ciencia y Tecnología de UTN San Francisco!

Quienes integramos el equipo de la Secretaría de Ciencia y Tecnología queremos darles la bienvenida a esta nueva edición de nuestras tradicionales Jornadas. En esta oportunidad, contamos con el apoyo sistemático de una subcomisión interna para la coordinación de las evaluaciones, que se constituyó con integrantes de nuestro Consejo Asesor de Ciencia y Tecnología. De esta manera, apuntamos a fomentar la pluralidad, ya que la organización de este evento contó con visiones diversas en función de las carreras involucradas en el Consejo.

Como en años recientes, volvimos a solicitar la presentación de artículos completos, pero surgió la idea de re-flotar una modalidad que ya se había usado algunas veces: que los autores pudieran exponer su trabajo y no solo exhibir un póster. Es sabido que la presentación oral garantiza una mayor cercanía y facilita el intercambio entre autores y asistentes, pero con esto también observamos otro fenómeno muy valioso. Muchos de los coautores eran estudiantes de grado o posgrado y, en varias ocasiones, esta fue la primera vez que expusieron un trabajo en un evento de esta naturaleza. Nos llenó de satisfacción ver el compromiso y la seriedad de estos referentes, en las etapas iniciales de su formación en I+D, y el acompañamiento de los docentes que los motivaron. Esto refuerza nuestra convicción de que este tipo de eventos favorecen el surgimiento y afianzamiento de vocaciones científico-tecnológicas, para que nuestro sistema de I+D se mantenga activo más allá de cualquier dificultad coyuntural.

Siguiendo la modalidad que se hizo común en los últimos años, propusimos el evento en formato híbrido para facilitar la participación de autores que no pudieran trasladarse hasta San Francisco. Por esta misma razón, resultó todo un halago y un compromiso recibir a autores que nos visitaron desde otras Facultades de UTN e incluso desde otras universidades. Nos llenó de orgullo mostrarles las instalaciones de nuestra Facultad, y nos desvivimos para que se sintieran bien atendidos.

Agradezco el compromiso de estudiantes, docentes y nodocentes de la Facultad por sus aportes en la organización, por su asistencia a las disertaciones, y por ayudarnos en acompañar a estos visitantes externos. Cabe un reconocimiento especial a los integrantes del Consejo Asesor de Ciencia y Tecnología de la Facultad y a otros referentes locales por su trabajo en la revisión de los trabajos, así como a tantos evaluadores externos que convocamos para cumplir esta tarea.

Personalmente, quiero dejar mi especial agradecimiento a las nodocentes y a la becaria de esta Secretaría: Claudia, Lorena y Lucía llevaron adelante con calidez tantas tareas “invisibles” que surgen al organizar un evento de esta magnitud. ¡Gracias por su compromiso! También resultó invalorable el apoyo de gestores y personal no docente de otras áreas de la Facultad, como Administración, Vinculación Tecnológica, TIC, Prensa, o Extensión Universitaria, sobre todo por las condiciones climáticas extremas del día anterior a la apertura: se requirieron esfuerzos enormes para sobreponernos a inconvenientes técnicos de todo tipo, pero se logró el cometido.

Para las próximas ediciones, queremos sostener el espíritu colaborativo y abierto de estas Jornadas, y también mantener activo en nuestro Consejo Asesor el debate sobre cuál es el perfil del evento que resulta más adecuado según las necesidades de cada momento. ¡Nos vemos en la próxima edición!

Dr. Diego M. Ferreyra
Secretario de Ciencia y Tecnología
UTN Facultad Regional San Francisco

Cronograma de actividades de las Jornadas

CRONOGRAMA

DÍA 1 / 23 DE OCTUBRE

/ MAÑANA

9:30 hs

APERTURA DEL EVENTO

10:30 - 12:00 hs

Presentación de trabajos de Ingeniería Industrial y Licenciatura en Administración Rural

- Calculadora de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en personas de San Fco.
- Análisis de las expectativas del agro en la zona centro del país
- Efectos del uso de aglutinantes sobre la productividad y calidad física del pellet, en la fabricación de alimentos balanceados destinados a tambos robot
- Innovación en el Proceso de Compras en una Empresa de Alimentos

12:00 - 12:30 hs

Coffee break

12:30 - 13:45 hs

Presentación de trabajos de Ingeniería Electrónica

- Desarrollo de una red IIoT LoRaWAN para obtener y almacenar datos de máquinas y equipos industriales a través de la interfaz MODBUS TCP.
- Desarrollo de un Convertidor Matricial desde las fórmulas matemáticas hasta el prototipo físico
- Diseño de C.I. neuronal híbrido para robot de enjambre en exploración espacial
- Dispositivo indicador de limpieza de paneles fotovoltaicos por medición de deposición de partículas
- Seguidor de Línea con control PID (PID: Proporcional Integral Derivativo)

13:45 - 14:30 hs

Almuerzo libre

DÍA 1 / 23 DE OCTUBRE

/ TARDE

14:30 - 16:00 hs

Presentación de trabajos de Ingeniería en Sistemas de Información

- Desarrollo de una interfaz gráfica para una calculadora de generación fotovoltaica en la Región Centro de Argentina
- Empleo del Enfoque por Competencias en la valoración de una actividad experimental mediada por las TIC por parte de estudiantes de ingeniería mediante un cuestionario de opinión
- De las Necesidades de Usuarios a los Requisitos de calidad: Hacia una herramienta basada en SQUARE aplicada a historias de usuario
- Un Marco Ontológico de Usabilidad para el Modelado Conceptual de Sistemas
- Una propuesta para incorporar calidad de datos en criterios de aceptación en historias de usuario

16:00 - 16:15 hs

Coffee break

16:15 - 17:30 hs

Presentación de trabajos de Ingeniería en Sistemas de Información

- Minimizando daños de fuga de datos por medio de canary tokens para la trazabilidad de archivos con datos sensibles dentro de una organización
- Evaluación de la contaminación en las aguas de río e identificación de fuentes contaminantes mediante el procesamiento digital de imágenes de satélites
- Identificación de humedales mediante el procesamiento digital de imágenes satelitales
- Análisis de Riesgos de seguridad en Redes SDN
- Framework multiplataforma para automatizar la intercepción de tráfico en aplicaciones móviles Android

DÍA 2 / 24 DE OCTUBRE / MAÑANA

12:00 - 13:15 hs

Presentación de trabajos de Ingeniería Química

- Valorización de Triosas en Medio Acuoso empleando catalizadores Sn/Al₂O₃ Modificados
- Estrategias para la Recuperación del Scrap de Ácido Poliláctico (PLA) Proveniente de Piezas Impresas en 3D
- Caracterización de Catalizadores Zn/MnCO₃ empleados en la Síntesis de Benzaldehído
- Diseño de un Sistema de Gasificación Catalítica para el procesamiento combinado de residuos sintéticos y naturales

13:15 - 14:00 hs

Almuerzo libre

DÍA 2 / 24 DE OCTUBRE / TARDE

14:00 - 15:30 hs

Presentación de trabajos de Ingeniería Química

- Aplicaciones del modelo atómico de electrones en capas
- Seguimiento de la Viabilidad y Concentración de Células de Levaduras Líquidas durante su Almacenamiento
- Caracterización y curva de crecimiento de Escherichia coli para su posterior aplicación en ensayos con agua activada con plasma no térmico
- Diseño de un gel post solar con Aloe saponaria y microcápsulas biopoliméricas de mentol
- Desarrollo de films poliméricos biobasados con Eugenol y Acetileugenol:
- Inhibición del Crecimiento Bacteriano
- Producción catalítica de levoglucosan a partir de pirolisis de residuos de sorgo

15:30 - 15:45 hs

Coffee break

15:45 - 17:15 hs

Presentación de trabajos de Ingeniería Química y otras especialidades

- Análisis Estadístico de Madurez y Permeabilidad Digital en Empresas de Córdoba
- Análisis de un método alternativo para obtener extractos a partir de descartes de remolacha
- Reentrenamiento de Modelo Clasificador por Imágenes para Museografía Interactiva
- Evolución de la Huella de Carbono de la Facultad Regional Delta
- Análisis de vientos en el en el parque industrial tecnológico aeronáutico Morón para la instalación de un aerogenerador de baja potencia
- Evaluación y comparación de la calidad del aire en la ciudad de Rafaela en base a actualizaciones de la norma US-EPA 2024

17:15 - 18:00 hs

Presentación de trabajos de Ingeniería Electromecánica

- Tipos y consecuencias de los horarios de trabajo en la vida laboral y extralaboral (Industrias de San Francisco)
- Análisis de la emisión acústica producida en probetas de material compuesto reforzado con fibras de vidrio

18:00 - 19:00 hs

Disertación de cierre / Salón de actos

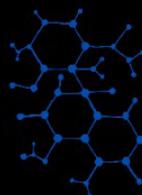
“De la curiosidad a la contribución: el poder de la publicación científica”



Lic. Carina Griffa

Licenciada en Química, Docente Investigadora de la UTN Rafaela. Forma parte del Grupo de Investigación GEM (Grupo de Estudio de Medioambiente), con el que desarrollan investigaciones en la temática ambiental, focalizándose en distintas técnicas para la remoción de contaminantes en efluentes líquidos y aguas subterráneas.

CONFERENCIAS PLENARIAS

 **JORNADAS
DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
2024**

 **24/10
18hs**



Lic. Carina Griffa

**De la curiosidad a la contribución:
el poder de la publicación científica.**

Licenciada en Química, Docente Investigadora de la UTN Rafaela. Forma parte del Grupo de Investigación GEM (Grupo de Estudio de Medioambiente), con el que desarrollan investigaciones en la temática ambiental, focalizándose en distintas técnicas para la remoción de contaminantes en efluentes líquidos y aguas subterráneas.

CHARLAS PRESENCIALES / TRANSMISIÓN POR CANAL DE YOUTUBE
SALÓN DE ACTOS UTN SAN FRANCISCO

 **UTN**
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL
SAN FRANCISCO

 **SECYT**
SECRETARÍA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
FACULTAD REGIONAL
SAN FRANCISCO

Índice

Ingeniería Electromecánica

Comportamiento de motores trifásicos de inducción con laminaciones y configuraciones diferentes (parte I)..... Pág.20

Behavior of three-phase induction motors with different laminations and configurations (part I)

Omar D. Gallo; Diego M. Ferreyra

Desarrollo y Simulación de un Sistema de Paletizado Automatizado para Educación Universitaria.....Pág.26

Development and Simulation of an Automated Palletizing System for University Education

Diego Butto; Julián Gervasoni

Limitaciones en la modularidad de instalaciones fotovoltaicas de baja potencia..... Pág.31

Limitations in the modularity of low-power photovoltaic installations

Esteban Ceré; Gerardo D. Szwarc; Diego M. Ferreyra

Correlación del RMB y el ciclo de histéresis en aceros al Si Pág.37

Correlation of the MBN and the hysteresis cycle in Si steels

M. R. Neyra Astudillo; A. Melini; M. Gómez

Tipos y consecuencias de los horarios de trabajo en la vida laboral y extralaboral. (Industrias de San Francisco)..... Pág.43

Types and consequences of work schedules in work and extra- work life. (San Francisco Industries)

Germán Yennerich; Vanina G. Fraire; Nicolás Beltramino; Marcelo Ingaramo; Carina Gazzaniga

Análisis de la emisión acústica producida en probetas de material compuesto reforzado con fibras de vidrio Pág.48

Analysis of the acoustic emission produced in glass-fibre-reinforced composite specimens

Ernesto Gallo; Guido Ferrari; Martín Pedro Gómez

Ingeniería Electrónica

Dispositivo indicador de limpieza de paneles fotovoltaicos por medición de deposición de partículas..... Pág.55

Device for Indicating Photovoltaic Panel Cleaning by Measuring Particle Deposition

José Giménez; Lucas Snaider; Mario Ros

Diseño de C.I. neuronal híbrido para robot de enjambre en exploración espacial Pág.61

I.C. Design hybrid neural for swarm robot in space exploration

Rubén Roberto Navarro; Juan Carlos Colombo; Rubén Egea

Laboratorios Remotos, caso de uso en Sistemas de Control Digital..... Pág.67

Remote Laboratories, use case in Digital Control Systems

Ibrahim Jaime; Santiago Previotto; Marco Miretti; Emanuel Bernardi

Desarrollo de una red IIoT LoRaWAN para obtener y almacenar datos de máquinas y equipos industriales a través de la interfaz MODBUS TCP. Pág.71

IIoT LoRaWAN Network Development to collect and store data from industrial machines and equipment through the MODBUS interface.

Sergio Felissia, Gastón Peretti, Jorge Bossio, Diego Iguri, Daniel Musso

Seguidor de Línea con control PID (PID: Proporcional Integral Derivativo) Pág.77
Line Follower with PID control (PID: Proportional Integral Derivative)
Bruno Julián Chiabrando; Angel Aguilar; Rodolfo Podadera

Desarrollo de un Convertidor Matricial desde las fórmulas matemáticas hasta el prototipo físico Pág.83
Matrix Converter development from the math formulas to the hardware prototype
Maximiliano Bernardo; Javier Coky; Luis Perna; Eduardo Arostegui; Emiliano Marinucci; Hernan Martinez Reina; Joel Atia; Gabriel Pitter

Monitoreo de Variables ambientales para diagnóstico y ensayo de paneles solares aplicando tecnología IoT Pág.89
Monitoring of environmental variables for diagnosis and testing of solar panels applying IoT technology
Yesica Ayelen Ortega Crespo; Fernando Cagnolo; Carlos Centeno; Gabriel Benedetti; Federico Linares

Ingeniería Industrial

Efectos del uso de aglutinantes sobre la productividad y calidad física de pélets en la fabricación de alimentos balanceados destinados a tambos robot Pág.96
Effects of the use of binders on the productivity and physical quality of pellets in the manufacture of balanced feed intended for robotic dairy farms
Oscar Pinto

Innovación en el Proceso de Compras en una Empresa de Alimentos..... Pág.102
Innovation in the purchasing process of a food company
Oscar Rete; Oscar Pinto; Ana Ines Gomez Primucci; Daniel Altina; Ignacio Rojas

Ingeniería Química

Análisis de un método alternativo para obtener extractos a partir de descartes de remolacha Pág.109
Analysis of an alternative method to obtain extracts from beet discards
María Victoria Schultheis; María Candela Acuña; Yamile Soledad Aon; Vanina Alejandra Guntero; Cristián A. Ferretti

Impacto de contaminantes agroindustriales sobre la actividad microbiana y fitotoxicidad del suelo.. Pág.115
Impact of agro-industrial pollutants on soil microbial activity and phytotoxicity.
Debora Conde Molina; Vanina Di Gregorio; Betiana Sánchez Holmedilla; Martín Barbieri

Estado del Arte de la solubilidad del ácido poliláctico Pág.121
State of the Art of polylactic acid solubility
María Andrea Caula; Matías Alejandro Raspo; Alfonsina Ester Andreatta

Desarrollo de films poliméricos biobasados con Eugenol y Acetileugenol: Inhibición del Crecimiento Bacteriano Pág.125
Development of Bio-based Polymeric Films with Eugenol and Acetylugenol: Inhibition of Bacterial Growth
Rocío Boriglio; Brisa Córdoba Boschetti; Luisina Bressán; María Eugenia Taverna; Carlos Busatto; Paula C. Garnero

Valorización de Triosas en Medio Acuoso empleando catalizadores Sn/Al₂O₃ Modificados Pág.131
Triose Valorization in Aqueous Medium Using Modified Sn/Al₂O₃ Catalysts
Sandra Z. Romero; Pablo J. Luggren; Verónica K. Díez

Síntesis de Alcohol Alílico por Desoxideshidratación de Glicerol sobre Catalizadores Metálicos Soportados Pág.137

Synthesis of Allyl Alcohol by Deoxydehydration of Glycerol on Supported Metal Catalysts

Nicolás S. Castellanos; Pablo J. Luggren; Verónica K. Díez

Estrategias para la Recuperación del Scrap de Ácido Poliláctico (PLA) Proveniente de Piezas Impresas en 3D Pág.143

Strategies to Improve the Recovery of Polylactic Acid (PLA) Scrap from 3D Printed Parts

Rocío Vaudagna; Alejandro Horacio Andrés Bailo; Rocío Boriglio; Paula C. Garnero; María Eugenia Taverna

Caracterización de Catalizadores Zn/MnCO₃ empleados en la Síntesis de Benzaldehído Pág.149

Characterization of Zn/MnCO₃ Catalysts used in Benzaldehyde Synthesis

Pablo J. Luggren; Hernán A. Duarte; Juan Zelin; M. Eugenia Sad; Verónica K. Díez; J. Isabel Di Cosimo

Síntesis y Caracterización de Materiales Compuestos de Interés Tecnológico a partir de Lignina Kraft fenolada de frondosas Pág.155

Synthesis and Characterization of Composite Materials of Technological Interest from Phenolated Hardwood Kraft Lignin

Micaela B. Peralta; Santiago Dobler; Mateo Lesta; Cristian A. Ferretti; Verónica V. Nicolau

Diseño de un Sistema de Gasificación Catalítica para el procesamiento combinado de residuos sintéticos y naturales Pág.161

Design of a Catalytic Gasification System for the combined processing of synthetic and natural waste

Franco Nardi; Juan Manuel Badano; Mariana Busto; Liza Dosso

Diseño de un gel post solar con Aloe saponaria y microcápsulas biopoliméricas de mentol Pág.167

Obtaining post-sun gel with menthol biopolymeric microcapsules

Silvina Soledad Guzmán; Deisy Inés Galuppo; Matías Iván Nari; María Candela Acuña; Candelaria Masera;

Regina Toninetti; María Victoria Schultheis; Vanina Alejandra Guntero

Contenido de polifenoles totales en aceites de Cannabis sativa Pág.173

Total polyphenols content in Cannabis sativa oils

Sofía I. Ruiz Miraglio; Matías Raspo; Nicolás Gañan; Alfonsina E. Andreatta

Aplicaciones del modelo atómico de electrones en capas Pág.179

Applications of the electron shell atomic model

Matías Alejandro Raspo; Silvina Soledad Guzmán; Edgardo Remo Benvenuto Pérez

Seguimiento de la Viabilidad y Concentración de Células de Levaduras Líquidas durante su Almacenamiento Pág.185

Monitoring the Viability and Cell Concentration of Liquid Yeasts during Storage

Tobías Aramburu; Gianfranco Boz Magni; Milagros Rubio Bonnet; Sofia Rey; Candela Modica; Lisandro Ru-

dolf; Ezequiel Godoy; Germán Competelli; Roxana Martinet

Evaluación del uso de lignina como agente encapsulante de bacterias ácido-lácticas para la producción de ácido láctico Pág.191

Evaluation of the use of lignin as an encapsulating agent of lactic-acid bacteria to produce lactic acid

María Celeste Porporatto; Valentina Basconi Vilosio; Roxana Paez; Verónica Viviana Nicolau

Producción catalítica de levoglucosan a partir de pirolisis de residuos de sorgo Pág.197

Catalytic production of levoglucosan from pyrolysis of sorghum waste

Orlando N. Guiñazú; Laura E. Moyano; Horacio Falcon

Caracterización y curva de crecimiento de Escherichia coli para su posterior aplicación en ensayos con agua activada con plasma no térmico Pág.203
Characterization and growth curve of Escherichia coli for application in non-thermal plasma-activated water assays
Melisa Romina Baumann; Aldana Berenice Cativa Sonzini; Romina Andrea Bachetti; Fernanda Gabriela Biolé; Andrea Gómez Sánchez

Ingeniería en Sistemas de Información

Empleo del Enfoque por Competencias en la valoración de una actividad experimental mediada por las TIC por parte de estudiantes de ingeniería mediante un cuestionario de opinión Pág.210
Student evaluation of an experimental activity based on the Competency Approach mediated by ICT through an opinion questionnaire
Claudio Enrique

Evaluación de la contaminación en las aguas de río e identificación de fuentes contaminantes mediante el procesamiento digital de imágenes de satélites Pág.216
Assessment of pollution in river waters and identification of pollutant sources by digital processing of satellite images
Daniel Monferrán; Andrés Sartarelli

Desarrollo de un Prototipo de Sistema Recomendador para el Diseño de Objetos de Aprendizaje en Carreras de Ingeniería: Evaluación Inicial de Plataformas..... Pág.222
Development of a Prototype Recommender System for the Design of Learning Objects for Engineering Education: Initial Evaluation of Platforms
Pilar Novillo Saravia

Identificación de humedales mediante el procesamiento digital de imágenes satelitales Pág.228
Identification of wetlands by digital processing of satellite imagery
Daniel Monferrán; Andrés Sartarelli

Calendarios Visuales para Estudiantes Universitarios con TEA..... Pág.234
Visual Calendars for University Students with ASD
Rodolfo Eduardo Neira; Rodolfo Eduardo Neira (h); Andrés Francisco Scocco; Nicolás Quintero Battán

Un Marco Ontológico de Usabilidad para el Modelado Conceptual de Sistemas Pág.240
A Usability Ontological Framework for Conceptual Modeling of Systems
Juan Carlos Moreno; María Alejandra Paz Menvielle; Marcelo Martín Marciszack; Matías Emanuel Moreno

Una propuesta para incorporar calidad de datos en criterios de aceptación en historias de usuario...Pág.246
A proposal to incorporate data quality into acceptance criteria in user stories
Javier Saldarini; Claudio Carrizo; Carlos Salgado; Alberto Sánchez; Mario Peralta

Desarrollo de una interfaz gráfica para una calculadora de generación fotovoltaica en la Región Centro de Argentina Pág.252
Development of a graphical interface for a photovoltaic generation calculator in the Central Region of Argentina
Santiago V. César; Gerardo D. Szwarc; Esteban Ceré; Hugo A. Pipino

Minimizando daños de fuga de datos por medio de archivos tokenizados y su trazabilidad de aperturas Pág.258
Minimizing data leak damage through tokenized files and their opening traceability
Juliana Notreni; Milagros Zea Cardenas; Germán Parisi; Fabián Gibellini; Analía Ruhl; Marcelo Auquer; Ileana Barrionuevo; Federico Bertola; Leonardo Ciceri; Ignacio Sánchez Balzarette

Accesibilidad: Característica principal para lograr un producto digital centrado en las personas Pág.264
Accessibility: Key feature for achieving a people-centric digital product
Mario Peralta; Carlos Salgado; Daniel Riesco; Lorena Baigorria; Luis Roqué Fourcade; Germán Montejano;
Javier Saldarini; Claudio Carrizo

De las Necesidades de Usuarios a los Requisitos de calidad: Hacia una herramienta basada en SQUARE aplicada a historias de usuario Pág.270
From User Needs to Quality Requirements: Towards a SQUARE-based tool applied to user stories
Javier Saldarini; Juan P. Mansilla; Gastón Ferreyra; Claudio Carrizo; Sofía Bovo; Carlos Salgado; Alberto Sánchez; Mario Peralta

Análisis de Riesgos de seguridad en Redes SDN..... Pág.276
Security Risk Analysis in SDN Networks
Juan Carlos Calloni; Antonela Calloni; Facundo Mondino; Rebeca Filippa; Luciano Villa

Framework multiplataforma para automatizar la intercepción de tráfico en aplicaciones móviles Android Pág.282
Cross-platform framework to automate traffic interception in Android mobile applications
Fabián Gibellini; Leonardo Ciceri; Ileana Barrionuevo; Germán Parisi; Milagros Zea Cardenas; Analía Ruhl;
Marcelo Auquer; Federico Bertola; Juliana Notreni; Sergio Quinteros; Ignacio Sánchez Balzaretta

La Perspectiva Social de la Sostenibilidad del Software Pág.288
The Social Perspective of Software Sustainability
Rosana Leo; Carlos Salgado; Mario Peralta; Alberto Sanchez; Luis Roqué Fourcade; Javier Saldarini; Claudio Carrizo

Licenciatura en Administración Rural

Análisis de expectativas agropecuarias en la zona centro del país 2024 Pág.295
Analysis of agricultural expectations in the central zone of the country 2024
Raúl Marlatto; Juan P. Bono; Gustavo Boglione; Luis Ariel Morano; García Javier Alberto; Kamil Maggi; Agustina Scellatto

Calculadora de emisiones de gases de efecto invernadero para Personas Pág.301
Greenhouse Gas Emissions Calculator for People
Gustavo Boglione; Facundo Obarrio

Evolución de parámetros fisicoquímicos de suelos agropecuarios en comparación con zonas prístinas..... Pág.306
Evolution of physicochemical parameters of agricultural soils in comparison with pristine areas
Javier Vignolo; Mónica Serra; Micaela del Valle Zapata; María Belén Vignola

Otras Especialidades

Evolución de la Huella de Carbono de la Facultad Regional Delta Pág.313
Evolution of the Carbon Footprint of the Delta Regional Faculty
Jorge Raúl Parente; Norberto Santiago Odobez; Adriana Fea; María Elena Soldatti

Modelado mediante Sistemas Multiagentes de la redistribución espacial de un contaminante minoritario en suelo, por acción de la cobertura vegetal Pág.319
Modeling using Multi-Agent Systems of spatial redistribution of a minor contaminant in soil through the action of vegetation cover
Natalia Carolina Bustos; Claudia Marina Sánchez; Javier Britch

Análisis Estadístico de Madurez y Permeabilidad Digital en Empresas de Córdoba Pág.325
Statistical analysis of digital maturity and permeability in Cordoba companies
Valeria Giletta; Laura María Rivara; Oscar Rete; Ezequiel Gribaudo; Luis Brunetto

Análisis de vientos en el en el parque industrial tecnológico aeronáutico Morón para la instalación de un aerogenerador Pág.331
Analysis of the winds in Morón aeronautical technological industrial park for the installation of a wind turbine
Flores, Mariano Gastón; de Villaflor, Alejandro; Frontera, Juan Pablo; Rubido, Javier Alejandro; González, Melina Sol

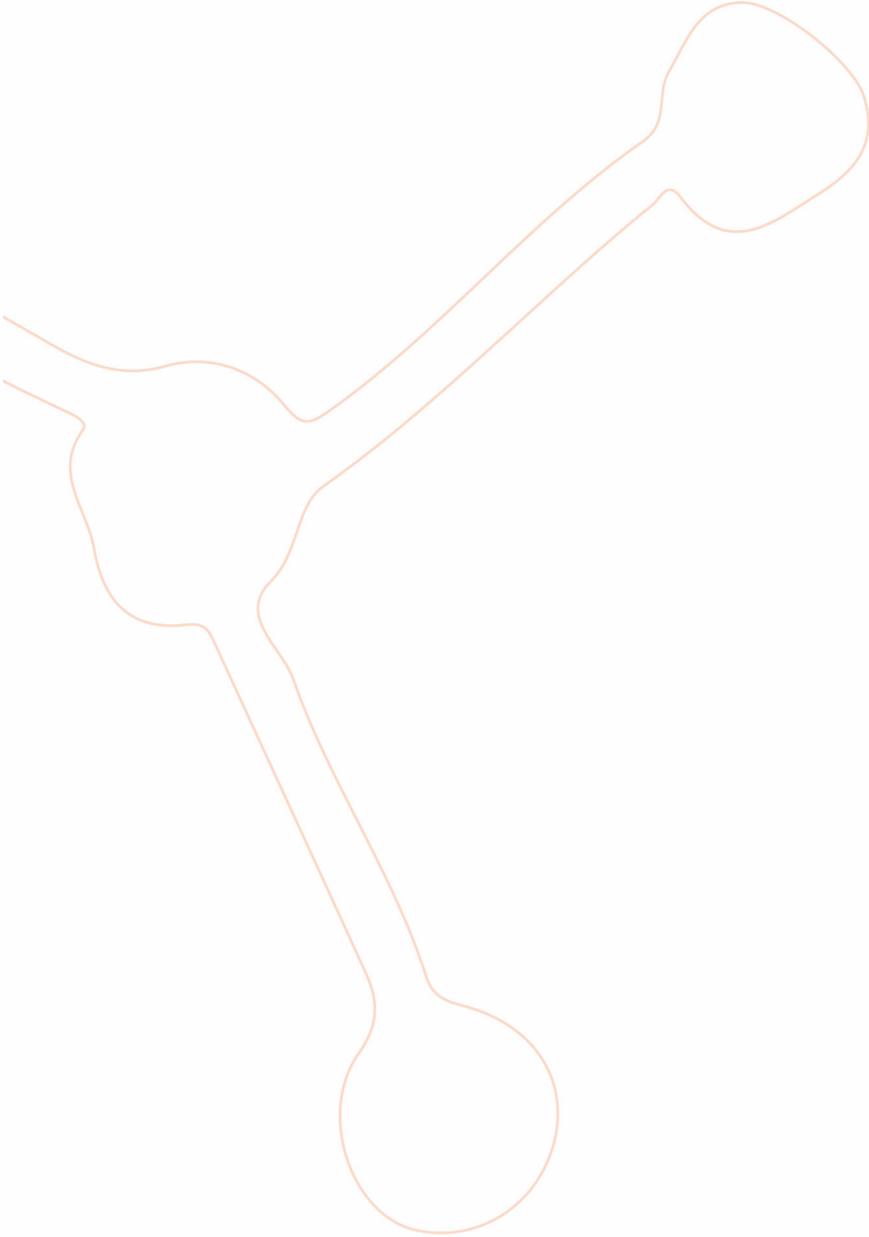
Reentrenamiento de Modelo Clasificador por Imágenes para Museografía Interactiva Pág.337
Image Classifier Model Retraining for Interactive Museography
Francisco Levrino; Sofía B. Bovo; Hugo A. Pipino

Evaluación y comparación de la calidad del aire en la ciudad de Rafaela en base a actualizaciones de la norma US-EPA 2024 Pág.343
Evaluation and comparison of air quality in the city of Rafaela based on updates from the US-EPA 2024 standard
Mariana Carrel; Martina Costanzo; Nain Schmidt; Ariana Castro; Juan Nittmann



Trabajos de Investigación





Ingeniería Electromecánica

Comportamiento de motores trifásicos de inducción con laminaciones y configuraciones diferentes (parte I)

Behavior of three-phase induction motors with different laminations and configurations (part I)

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Omar D. Gallo

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina.
odgallo@gmail.com

Diego M. Ferreyra

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina.
dferreyra@sanfrancisco.utn.edu.ar

Resumen

Este trabajo incluye tablas de valores constructivos y funcionamiento de dos motores asincrónicos trifásicos de baja tensión de igual tamaño constructivo, uno de ellos de fabricación normal de serie, única velocidad, conectado en estrella y otro especial para dos velocidades, arrollamiento Dahlander, conectado en doble estrella; ambas máquinas tienen distintos circuitos magnéticos de laminaciones y arrollamientos, pero comparten la cantidad de polos, algunas dimensiones, la tensión de alimentación y la frecuencia. Luego de una breve introducción y fundamentación, se comparan los valores de los datos de placa de características, las cotas dimensionales, los arrollamientos, las exigencias electromagnéticas, las curvas de corrientes y los momentos en el eje, resaltando aquellas características que los distinguen. Finalmente, se obtienen conclusiones sobre una posible aplicación alternativa y más ventajosa del motor conectado en doble estrella, respecto al otro.

Palabras clave: motores de inducción, curvas de motores eléctricos, motores de dos velocidades, diseño de laminaciones de motores

Abstract

This work includes tables of construction values and operation for two low-voltage three-phase asynchronous motors of the same size, one of them of standard manufacture, with a single speed and connected in star, and another one special, with two speeds and Dahlander winding, and connected in double star. Both machines have different magnetic sheet metal circuits and windings, but they share the number of poles, some dimensions, the supply voltage, and the frequency. After a brief introduction and rationale, the values of the nameplate data, dimensions, windings, electromagnetic demands, current curves, and axis torques are compared, highlighting those characteristics that distinguish them. Finally, conclusions are obtained about a feasible alternative and more advantageous application of the double-star connected motor, compared to the other.

Keywords: induction motors, electric motor curves, two-speed motors, motor lamination designs

Introducción

Desde la normalización de los motores eléctricos, a mediados del siglo XX, estos experimentaron un proceso extendido de desarrollo electromecánico que involucró, además de tecnologías de fabricación, sus dimensiones físicas, arrollamientos, refrigeración, respuestas en el eje y controles electrónicos. Durante este proceso, se

implementaron diseños de laminaciones que produjeron circuitos magnéticos apropiados, por su respuesta aceptable, para cada cantidad de polos y aplicación.

Entre otros aspectos de diseño de laminaciones ya probados, las formas de las ranuras y los arrollamientos determinan reactancias de dispersión, caídas de tensión y velocidad del eje; las longitudes de los paquetes de laminaciones condicionan resistencias, pérdidas y eficiencias; los diámetros de los rotores y los tipos de jaula de ardilla determinan los momentos en el eje; la refrigeración y temperatura modifican los otros valores y dependen de las superficies externas de evacuación de calor, y los controles electrónicos son los recursos adicionales ligados a su protección o manejo de condiciones de marcha (Fraile Mora, 2008; Juha Pyrhönen et ál. , 2008).

La conexión Dahlander es también muy usada en los casos de motores que producen, con un único devanado, dos velocidades que son una el doble de la otra (Chapman, 2005).

El principal objetivo de este trabajo es identificar las diferencias constructivas y comparar las curvas de respuestas de dos motores de igual tamaño y número de polos, pero con distintas dimensiones de laminaciones y arrollamientos, para obtener conclusiones relacionadas con las aplicaciones de uno de ellos.

En la red, se hallan datos de fabricantes de motores de uno o dos números de polos (WEG, 2024) y publicaciones que comparten algunos aspectos sobre arrollamientos en conexión Dahlander (Van der Giet et ál., 2007; Duran et ál., 2022); esta investigación solo pretende agregar aportes adicionales al conocimiento de la especialidad.

Desarrollo

El estudio utiliza datos constructivos reales y de ensayos de motores asíncronos trifásicos normalizados de baja tensión de 2 polos, eficiencia IE1 actual, de un mismo fabricante, que estuvo presente en el mercado nacional argentino hasta fines del siglo XX.

Los datos mencionados se usan en la resolución de un circuito equivalente convencional de parámetros variables (Fig. 1), mediante un software que produce tablas y curvas (Gallo, Ferreyra, 2021) basadas en experiencias y normalizaciones (Normas IEC, 2014, 2017; EASA, 2003). Los arrollamientos se obtienen mediante la plataforma progebo.com en red (Gallo, Gallo, 2014, 2017).

Estos recursos han sido suficientemente ejercitados, verificados y documentados (Gallo, Ferreyra, 2023).

Tabla 1. Referencias sobre la Figura 1.

Referencias del circuito equivalente convencional por fase	
V_f : tensión aplicada, V	I_{1f} : corriente del primario, A
R_1, jX_1 : resistencia y reactancia (primario), Ω	E_f : caída de tensión en la rama derivada, V
I_{mf} : corriente rama derivada (circ. magnético), A	R_m, jX_m : resistencia y reactancia, rama derivada, Ω
E_c : tensión de salida (carga del rotor) reducida al primario, V	R_2, jX_2 : resistencia y reactancia (rotor) reducidas al primario, Ω
I_{2f} : corriente del rotor reducida al primario; A	R_c : resistencia de carga reducida al primario, Ω

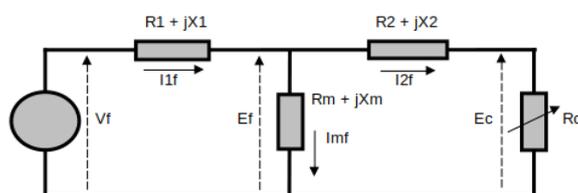


Figura 1. Circuito equivalente convencional por fase. Parámetros variables

Resultados

Comparación de datos de placa de características de los motores

Esta parte del estudio incluye 2 motores de 2 polos: uno de tamaño constructivo 90 S, de 1,50 kW de potencia en conexión estrella normal, y otro de tamaño 90 L42, apto para dos velocidades, de 1,60 kW en conexión doble estrella Dahlander. Ambos tienen el mismo tipo de carcasa e igual sistema de refrigeración y sus datos de placa de características se ven en la Tabla 3 referenciada en la Tabla 2; en esta se agregan además a modo informativo los valores de funcionamiento del motor en conexión Dahlander de 4 polos.

Tabla 2. Referencias sobre la Tabla 3.

Referencias sobre los datos de placa de características	
Tipo: característica particular del motor	Carcasa: altura del eje, tamaño
kW: potencia de salida en el eje, kW	V: tensión de alimentación, V
Con.: arrollamiento en estrella (E), triángulo (T) o doble estrella (EE)	Hz: frecuencia de línea, Hz
Polos: cantidad de polos	1/min: velocidad nominal del eje, min-1
Eff: eficiencia, %	FDP: factor de potencia
A: corriente, A	Ia/In: relación corrientes arranque/nominal
Ma/Mn: relación momentos arranque/nominal	Mm/Mn: relación momentos máximo/nominal
Aisl.: clase de aislación	IP: índice de protección del motor

Tabla 3. Motores tamaño 90 comparados. Datos de placa de características.

Tipo	Carcasa	kW	V	Con.	Hz	Polos	1/min	Eff	FDP	A	Ia/In	Ma/Mn	Mm/Mn	Aisl.	IP
Normal	90 S	1,50	380	E	50	2	2840	71,0	0,92	3,43	6,23	2,00	3,40	B	44
Dahlander	90 L42	1,60	380	EE	50	2	2790	65,8	0,93	4,03	5,08	1,90	3,50	B	44
Dahlander	90 L42	1,25	380	T	50	4	1400	69,7	0,83	3,30	4,80	2,01	2,20	B	44

Dejando de lado los efectos físicos que produce el arrollamiento Dahlander, a partir de aquí este se considera como un arrollamiento trifásico en conexión doble estrella normal, lo cual no ocasiona diferencias en el análisis ni en las conclusiones.

De la Tabla 3, se observa que, en el motor de 1,60 kW en EE, son menores la velocidad, relación de corrientes de arranque, relaciones de momentos de arranque y de momentos máximos, y la eficiencia. Son iguales la altura de eje, tensión, frecuencia, polos, aislación y protección. Son mayores el factor de potencia, la corriente, la potencia en el eje y la relación de momentos máxima. Las causas de estas diferencias se exponen a continuación.

Comparación de aspectos constructivos y exigencias de los motores

La Fig. 2 detalla las cotas dimensionales de estator y rotor de los motores. La Tabla 4 muestra las dimensiones y características del paquete de laminaciones, los datos de arrollamiento, y las exigencias nominales principales.

Las diferencias se dan porque la laminación del motor de 1,50 kW tiene dimensiones aptas para 2 polos, pero el de 1,60 kW usa una para 4 polos. En la columna izquierda de la Tabla, que expone las dimensiones que condicionan la mayoría de las exigencias, son iguales solo los diámetros exterior Dex del estator, el número de ranuras del rotor Nrr y el diámetro del eje Dej; los restantes valores son distintos. Se aprecia que el rotor del motor en EE tiene un volumen bastante mayor, lo cual incide en su tiempo de arranque y su respuesta en el eje.

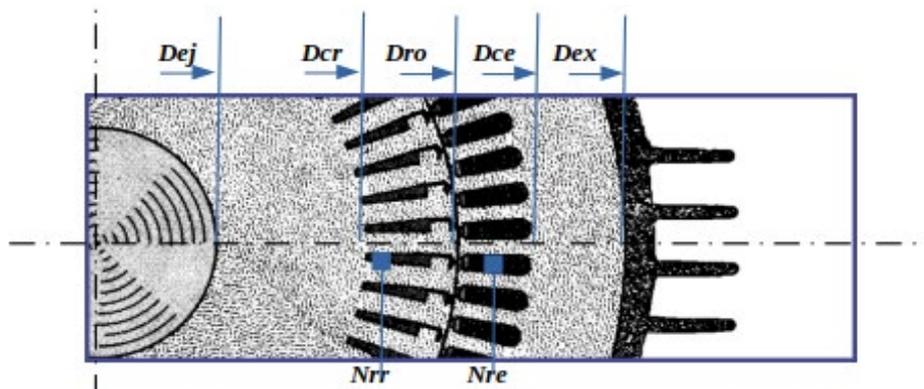


Figura 2. Cotas dimensionales del estor y rotor (extracción del catálogo WEG de motores eléctricos)

Tabla 4. Motores tamaño 90 en 2 polos comparados. Datos constructivos y exigencias nominales.

Tipo dimensión	Valor	Datos arrollamiento	Valor	Tipo exigencia	Valor	kW, con.
Diámetro ext. estator Dex (mm)	130,50	Ángulo (°)/paso bobinas (ranuras)	150/11	Corriente por kW (A/kW)	2,29	1,5 E
Diámetro aprox. rotor Dro (mm)	70,00	Factor de arrollamiento	0,958	Densidad bobinado (A/mm ²)	6,6	1,5 E
Diámetro eje rotor Dej (mm)	30,00	Espiras por bobina (real)	63	Densidad barra rotor(A/mm ²)	5,9	1,5 E
Longitud paquete Lpe (mm)	75,00	Cant. de alambres 1	1	Flujo por polo (Wb)	0,0036	1,5 E
Cant. ranuras estator Nre	95,00	Cant. de alambres 2	1	Dens. flujo entrehierro (T)	0,0040	1,6 EE
Sección ranura estator Sre (mm ²)	24	Diámetro alambre 1 (mm)	0,55	Dens. corona estator (T)	0,69	1,5 E
Cant. ranuras rotor Nrr	36	Diámetro alambre 2 (mm)	0,35	Dens. corona rotor (T)	0,53	1,6 EE
Sección ranura rotor Srr (mm ²)	89,80	---	1	Sobretemperatura (K)	1,71	1,5 E
	56,00	---	1		2,00	1,6 EE
	28	---	0,60		1,47	1,5 E
	28	---	0,40		1,18	1,6 EE
	30,10	---	---		62,4	1,5 E
	36,30	---	---		72,8	1,6 EE

La columna central de la Tabla 4, referida a los devanados de las Figs. 3.a y 3.b merece un análisis detallado. El del motor en conexión EE tiene ángulo eléctrico, paso de bobinas y factor de arrollamiento menores y es muy distribuido, lo que origina mayor reactancia y menos armónicas en la distribución del flujo en el entrehierro. Respecto a los alambres usados, ambos bobinados están construidos con 2 alambres en paralelo y distintas secciones. Los restantes valores son diferentes, acordes a potencias y temperaturas nominales. Para el cálculo de las densidades de corrientes en la doble estrella, debe tenerse en cuenta el doble camino en paralelo.

Según la columna derecha de la Tabla 4, en el motor en EE son mayores la corriente por kW y la densidad de corriente en el alambre del estator. La densidad de corriente en las barras del rotor es menor, lo cual origina un comportamiento térmico distinto en cada zona y mayor sobretemperatura del arrollamiento estatórico, consistente con la mayor corriente y menor sección de conductores. El flujo es algo mayor, como la densidad de flujo en la corona del estator (sector periférico del estator). En las otras zonas del circuito magnético, los valores son inferiores, lo cual incide en corrientes magnetizantes, pérdidas en las laminaciones y temperaturas de cada zona. El rotor presenta mayor capacidad y menor exigencia térmica. Si bien aquí no se muestran los valores, el motor en EE acusa una mayor corriente de vacío, también producto de su menor reactancia derivada X_m .



Figura 3. Una fase de bobinado: a) motor de 1,50 kW, 2 polos, con. estrella, 24 ranuras, 2 polos, 1 vía, 1-11, $k_a = 0,958$; b) motor de 1,60 kW, 2 polos, con. doble estrella, 36 ranuras, 2 polos, 1 vía, 1-10, $k_a = 0,676$.

Comparación de curvas de respuesta de los motores

Las Figs. 4.a y 4.b muestran las curvas teóricas de momentos y corrientes. En la Tabla 5, se ven los valores singulares, algunos redondeados, de los momentos de arranque, mínimo, máximo, para carga al 150 % y 100 %, y en vacío. Se observa que el motor en EE presenta una sensible diferencia en formas y valores respecto al otro.

La corriente de arranque es algo menor y la de máximo par, mayor. El valor de I2f, que determina el par en el eje, es algo mayor que I1f aproximadamente entre 750 min⁻¹ y 2700 min⁻¹. La comparación de estas curvas es atractiva por las posibles aplicaciones: el motor en EE tiene momentos de arranque y mínimo similares a los del otro y un máximo mayor a menor velocidad, similar al desempeño de un motor con rotor de alto deslizamiento.

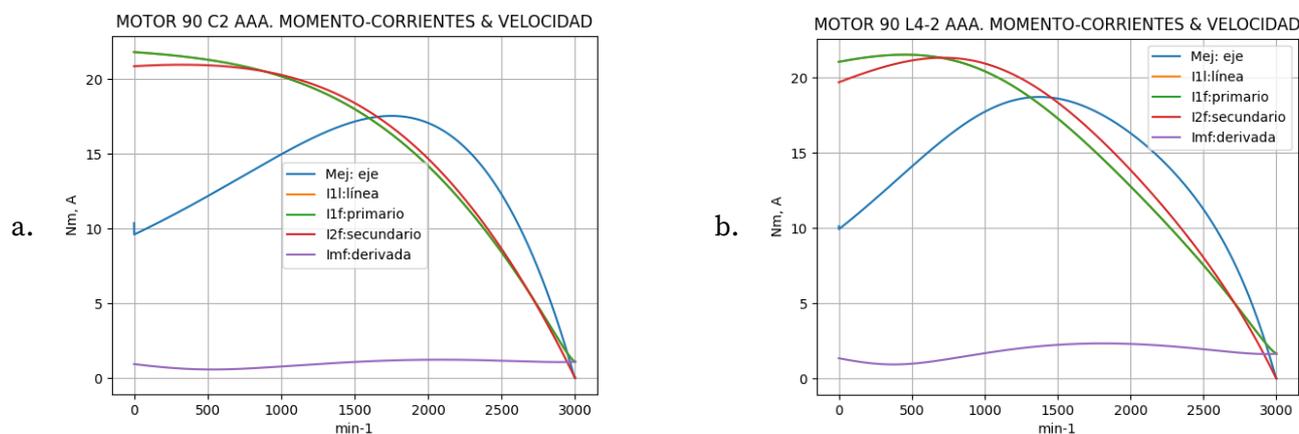


Figura 4. Curvas de momentos y corrientes: a) motor de 1,5 kW, 2 polos, con. estrella, b) motor de 6 kW, 2 polos. con. doble estrella

Comparación de momentos singulares de carga de los motores

En la Tabla 5, la variación con la velocidad de las pérdidas adicionales Pad (W) y mecánicas Pme (W) se determinan por software, según datos de experiencias y normalizaciones. Las velocidades en vacío se aproximan a las sincrónicas. Los momentos de arranque son prácticamente iguales, los mínimos son muy cercanos a ellos en velocidad y valor y los máximos difieren sensiblemente, sobre todo en deslizamiento y pérdidas calóricas; al 150 % de carga, la potencia y el deslizamiento del motor en EE son considerablemente mayores, al igual que la corriente I2f, que origina una respuesta superior en el eje, hasta cerca de la velocidad de vacío.

Tabla 5. Motores comparados tamaño 90 en 2 polos. Momentos singulares de carga.

Momento	1/min	Nm	Eff (%)	P1t (W)	Pej (W)	Pad (W)	Pme (W)	Pfe (W)	Pcu (W)	Ec (V)	Ef (V)	I2f (A)	I1l (A)	kW	Con.
Arranque	0	10,4	0,0	9387	0	0	0	145	9241	0,0	96,5	20,8	21,8	1,5	E
	0	10,1	0,0	10339	0	0	0	215	10124	0,0	88,9	19,7	21,0	1,6	EE
Mínimo	1	9,6	0,0	9387	1	0	0	145	9242	0,0	96,4	20,8	21,8	1,5	E
	1	9,9	0,0	10342	1	0	0	214	10127	0,0	88,8	19,7	21,0	1,6	EE
Máximo	1751	17,5	33,7	9546	3214	257	11	229	5835	69,1	174,4	16,8	16,3	1,5	E
	1377	18,7	23,0	11752	2697	54	2	539	8460	47,8	186,8	19,2	18,2	1,6	EE
150 % carga	2724	7,9	69,4	3246	2251	180	32	199	585	160,6	190,8	5,1	5,2	1,5	E
	2665	8,6	66,0	3635	2398	48	12	374	803	142,7	194,2	5,7	5,6	1,6	EE
100 % carga	2835	5,1	71,8	2088	1500	120	36	190	242	174,5	190,5	3,2	3,4	1,5	E
	2814	5,4	69,5	2302	1600	32	14	325	330	161,4	185,3	3,4	3,7	1,6	EE
Vacío	3000	0,0	0,0	250	0	0	41	193	16	196,6	196,7	0,1	1,1	1,5	E
	3000	0,0	0,0	376	0	0	16	317	43	188,0	188,1	0,0	1,7	1,6	EE

Pad, Pme (W): pérdidas adicionales y mecánicas Pfe, Pcu (W): pérdidas en el hierro y en el cobre
P1t, Pej (W): potencia de entrada y en el eje I1l (A): corriente de entrada, de línea

Conclusiones

Sin considerar el sistema de refrigeración ni los eventuales controles electrónicos, la configuración dimensional de las laminaciones y el arrollamiento producen impedancias internas, caídas de tensión, corrientes, pérdidas y respuestas en el eje particulares. En este caso, el motor en conexión doble estrella tiene un funcionamiento no tan aceptable en 2 polos porque su laminación es más apta para 4 polos. Sin embargo, este alejamiento de la aceptabilidad en aplicaciones estándares podría aprovecharse para aplicar el motor de 2 polos “de laminación anormal”, sin necesidad de rotor especial ni controles electrónicos, en máquinas que requieran altos deslizamientos, como las removedoras o de tracción. Esta es una propuesta preliminar, válida solo en este caso particular. Si se extendiera el concepto, se podría suponer que otros motores con diseños de laminaciones no aptas para su cantidad de polos podrían adaptarse a las mismas o diferentes prestaciones, según su tipo de respuesta en el eje. A los fines de obtener conclusiones generales más fundamentadas, en una segunda parte de la investigación se extenderá el estudio a máquinas de otras potencias y velocidades.

Referencias

- Duran, T., Tvorčić, S., & Šimović, V. (2022). “Comparison of Efficiency Level for Induction Motor with Dahlander Winding in Direct on Line and via Frequency Converter Drive Connection.” In 2022 45th Jubilee International Convention on Information, Communication and Electronic Technology (MIPRO) (pp. 142-146). IEEE.
- Chapman, S. (2005). Máquinas Eléctricas. México: Mc Graw Hill.
- EASA (2003). “El Efecto de la Reparación/Rebobinado en la Eficiencia del Motor y Guía de Buenas Prácticas Para Conservar La Eficiencia del Motor”. USA, 18-19.
- Fraile Mora, J. (2008). Máquinas Eléctricas. Madrid: Mc Graw Hill.
- Gallo, O. y Gallo, J. (2014). “Programa de Gestión de Bobinados (ProGeBo) (Primera parte)”. Revista Iberoamericana de Ingeniería Industrial (Brasil), 6(11), ISSN 2175-8018, 328-348.
- Gallo, O., y Gallo, J. (2017). Programa de Gestión de Bobinados (ProGeBo). Parte II. 46° Congreso JAIIO 2017, Córdoba, Argentina. Disponible en: <https://ria.utn.edu.ar/handle/20.500.12272/3359>.
- Gallo, O. D., y Ferreyra, D. M. (2021). Obtención de curvas de motores de inducción usando un circuito equivalente de parámetros variables. Revista Tecnología y Ciencia, (42), 112-134.
- Gallo, O. D. y Ferreyra, D. M. (2023). Motores trifásicos de inducción : aplicación del circuito equivalente. Argentina: edUTecNe. Disponible en: <https://ria.utn.edu.ar/handle/20.500.12272/8399>.
- Juha Pyrhönen, J. et ál. (2008). Design of Rotating Electrical Machines. UK: John Wiley & Sons, Ltd.
- Norma IEC 60034-1. (2017). “Rotating electrical machines. Part 1: Rating and performance”.
- Norma IEC 60034-2-1. (2014). “Rotating electrical machines. Part 2-1: Standard methods for determining losses and efficiency from tests (excluding machines for traction vehicles)”.
- van der Giet, M., Hameyer, K., & Risse, S. (2007, May). Induction motor with pole-changing winding for variable supply frequency. In 2007 IEEE International Electric Machines & Drives Conference (Vol. 2, pp. 1484-1489). IEEE.
- WEG (2024). Motores W22. “Catálogo de productos. Motor W22 Dahlander”.

Desarrollo y Simulación de un Sistema de Paletizado Automatizado para Educación Universitaria

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Development and Simulation of an Automated Palletizing System for University Education

Diego Butto.

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rafaela, Acuña 49, Rafaela, Santa Fe, Argentina.
diegbutto@gmail.com,

Julián Gervasoni.

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rafaela, Acuña 49, Rafaela, Santa Fe, Argentina.
juliangervasoni2011@hotmail.com

Este trabajo ha sido realizado bajo la dirección del Mg. Eduardo Monier, coordinador e investigador de apoyo, perteneciente al grupo GIAMNCI (Grupo de investigación de métodos numéricos en ciencia e ingeniería) en el marco del proyecto "Desarrollo y Simulación de un Sistema de Paletizado Automatizado para Educación Universitaria."

Resumen

En este estudio abordamos el desarrollo de una formación para la mejor utilización de un robot manipulador equipado con una cinta transportadora con un sistema actuador de ventosa que simula el proceso de paletizado de cajas. El objetivo principal es crear una herramienta educativa que facilite la enseñanza práctica de la automatización industrial en el ámbito universitario y hacerlo extensivo hacia la comunidad toda. La simulación permite a los estudiantes experimentar con tecnologías actuales, entender los principios de la robótica, automatización y la motivación a seguir profundizando estas capacidades.

Palabras clave: Automatización Educativa, Tecnología de Automatización, Educación en Ingeniería, Integración de Sistemas.

Abstract

In this study we address the development of training for the best use of a manipulator robot equipped with a conveyor belt with a suction cup actuator system that simulates the box palletizing process. The main objective is to create an educational tool that facilitates the practical teaching of industrial automation in the university environment and extend it to the entire community. Simulation allows students to experiment with current technologies, understand the principles of robotics, automation and the motivation to continue deepening these capabilities.

Keywords: Educational Automation, Automation Technology, Engineering Education, Systems Integration.

Introducción

Como lo cita Llopis, Romero Pérez, & Ariño Latorre, (2010), ""En las últimas décadas se ha seguido la tendencia de automatizar de manera progresiva procesos productivos de todo tipo. Esta tendencia ha sido y sigue siendo posible gracias al desarrollo y abaratamiento de la tecnología necesaria. La automatización de los procesos de producción persigue los objetivos:

Mejorar la calidad y mantener un nivel de calidad uniforme.

Producir las cantidades necesarias en el momento preciso.

Mejorar la productividad y reducir costes.

Hacer más flexible el sistema productivo (facilitar los cambios en la producción).

Estos objetivos se han convertido de hecho en requisitos indispensables para mantener la competitividad, por lo que el aumento del nivel de automatización de los procesos es simplemente una necesidad para sobrevivir en el mercado actual”.

Desde este puesto de vista es que nos interesa desarrollar un proceso de paletizado para el manejo, distribución y almacenamiento de productos. Automatizar este proceso con robots manipuladores permite cumplir los objetivos citados anteriormente.

Desde el punto de vista formativo, tomando esta cita de (Vargas Guativa, Guapacho Castro, & Isaza Domínguez, 2017, pág. 6). “En los programas de formación superior, donde la posibilidad de contar con estas herramientas tecnológicas hace que los beneficios de hacerlo sean notables, se han desarrollado trabajos investigativos diversos: con ellos se han implementado planes para permitir que los docentes universitarios cuenten con los conocimientos y dispongan de las herramientas necesarias para realizar actividades educativas que involucren TIC”.

Entonces, cumpliendo los objetivos y tratando de formar a docentes y alumnos con el desarrollo de un sistema práctico que simula el paletizado de cajas utilizando un robot manipulador marca (ABB IRB120) con una cinta transportadora, un sistema de ventosa neumática por vacío y facilidades que simulan la paquetería y paletizado.

Objetivo

Crear una herramienta educativa que facilite la enseñanza práctica de las tecnologías de automatización en el entorno universitario. Para lograr esto, el proyecto tiene como muestra las figuras 1 y 2, los siguientes hitos:

1. Diseñar y Construir un Prototipo Funcional: Desarrollar un sistema que simule de manera efectiva el proceso de paletizado, incorporando un robot manipulador ABB IRB120, una cinta transportadora y un sistema de ventosa neumática.

2. Programar el Robot Manipulador: Implementar la programación a través del software RobotStudio, simulación y ensayo necesarios para que el brazo manipulador realice las tareas definidas en forma virtual en una primera instancia y de forma práctica mediante el uso del manipulador.

3. Integrar la Cinta Transportadora y el Sistema de Ventosa neumática: Asegurar el funcionamiento sin problemas de la cinta y el sistema de ventosa para facilitar el movimiento y manejo de las cajas dentro de la simulación.

4. Desarrollar Materiales Educativos: Crear guías instructivas y manuales prácticos para los estudiantes, junto con material audiovisual que apoye la experiencia de aprendizaje. Al cumplir con estos objetivos, el proyecto busca proporcionar a los estudiantes una herramienta práctica que refuerce los conceptos teóricos y mejore su comprensión de las tecnologías de automatización actuales, además de simular en pc la misma programación real en virtual para multiplicar las capacidades de trabajo en diferentes puestos de trabajo de alumnos.



Figura 1. Visualización del equipamiento físico y su respectivo homólogo en el simulador.



Figura 2. Mesa donde se realiza la simulación de paletizado.

Es decir, como objetivo general perseguimos desarrollar la formación a través de alumnos avanzados y docentes que dominen esta tecnología para poder utilizar este brazo manipulador en varias prácticas para hacer extensivo este conocimiento a las diferentes comunidades tanto universitarias como industriales

Desarrollo

El desarrollo del proyecto se llevó a cabo en el laboratorio de robótica de la UTN FRRA, comenzando con el diseño del sistema. con un robot manipulador ABB IRB120, Brazo de construcción similar al de utilizado en Industria solo reducido en sus distancias y capacidad de carga debido a sus dimensiones, pero sin diferencias en cuanto a la programación a lo que se encuentran en las industrias actualmente, el cual es esencial para el proceso de paletizado. Este robot fue equipado con un sistema de ventosas neumáticas para sujetar y colocar las cajas (bloques de aluminio) de manera segura. La cinta transportadora es utilizada para trasladar las cajas desde el área de simulación productiva hasta el punto de carga, y luego el manipulador toma sujetando el paquete y llevándolo a la estación de paletizado. Se utilizó un motor paso a paso para accionar la cinta, y la correa se desliza sobre una guía metálica; en un extremo posee el rodillo impulsor y en el otro un rodillo de guía para asegurar un movimiento suave de las cajas. El sistema de ventosa es utilizado para sujetar las cajas durante el traslado. Se utilizan ventosas de silicona con alta capacidad de succión para asegurar un agarre firme. El sistema incluye un mecanismo de control de vacío para ajustar la fuerza de succión según el tamaño y peso de las cajas. Para controlar el robot manipulador, se desarrolló un programa que incluye secuencias de movimientos para recoger las cajas de la cinta transportadora, trasladarlas a la posición de paletizado y colocarlas en la ubicación correcta. Las pruebas exhaustivas del sistema completo se realizaron para verificar su funcionamiento. Durante las pruebas, se realizaron ajustes y calibraciones para mejorar la precisión del robot y el rendimiento de la cinta transportadora. La fuerza de succión del sistema de ventosa se ajustó y se optimizó el tiempo de respuesta del robot para asegurar una operación fluida y sin errores.

En nuestro desarrollo para mantenerlo en el tiempo, el mayor obstáculo es como realizar la transferencia a diferentes alumnos líderes que se mantengan en los proyectos de investigación con la utilización de estas tecnologías. Si bien no es un inconveniente mayor, si hay que plantearlo con la incorporación de nuevos alumnos avanzados con una inducción básica para que dominen los trabajos prácticos existentes y creen nuevos año a año.

El proceso se desarrolla en pc simulando todo el desarrollo y luego se prueba en tiempo real sobre la maqueta y en todas las velocidades del manipulador para demostrar la robustez y solidez del desarrollo en todas sus etapas y la precisión de este. Como se muestra en las Figura 3.



Figura 3. Muestra de un punto intermedio de la simulación.

La programación se realizó utilizando el manual del operador robot studio (AB, 2011) y el programa RobotStudio el cual permite controlar el manipulador para realizar los distintos proyectos que se deseen realizar. El objetivo principal de este software es gestionar el movimiento del robot para cargar y descargar piezas en un entorno de paletización. La programación define varias posiciones y procedimientos como se puede visualizar en las figuras 4 y 5.

```

[sólo lectura] T_ROB1/MainModule x
1  INICIAR
2  [FASE PER tooldata tool2=[FIVE],[0,0,0],[0,0,0],[0,0,0],[0,0,0]]
3  COMO robotarget precarga=[[191.49, 0, 71.57, 21],[0.0017026, 0.79379, 0.79324, 0.0027066], [0, 1, 1, 0],[10000, 10000, 10000, 10000]]
4  COMO robotarget posicioncarga=[[191.49, 0, 71.57, 21],[0.0017026, 0.79379, 0.79324, 0.0027066], [0, 1, 1, 0],[10000, 10000, 10000, 10000]]
5  COMO robotarget cargapalleti=[[191.49, 0, 71.57, 21],[0.0017026, 0.79379, 0.79324, 0.0027066], [0, 1, 1, 0],[10000, 10000, 10000, 10000]]
6  COMO robotarget cargapalleti=[[191.49, 0, 71.57, 21],[0.0017026, 0.79379, 0.79324, 0.0027066], [0, 1, 1, 0],[10000, 10000, 10000, 10000]]
7  VAR num caja:=0
8  VAR num capa:=0
9  VAR num altura:=0
10
11
12 PROC main()
13   paletizado()
14   ENDPROC
15 PROC paletizado()
16   cargapalleti;
17   cargapalleti;
18   cargapalleti;
19   posicioncarga;
20   posicioncarga;
21   descarga;
22   succionon;
23   movej precarga ,v5000, fine, tool2;
24
25 ENDPROC
26 PROC cargapalleti ()
27   setdo q0,1;
28   waitTime 0.5;
29   setdo q0,1;
30   setdo q0,1;
31

```

Figura 4. Primera parte el código.

```

MESASVer1 120-101482 (120-101482) x
[sólo lectura] T_ROB1/MainModule x
31 ENDPROC
32
33 PROC succionON ()
34   setdo q0,1;
35   waitTime 0.5;
36 ENDPROC
37 PROC succionOFF ()
38   setdo q0,0;
39   waitTime 0.5;
40 ENDPROC
41 PROC carga ()
42   movej precarga ,v5000, fine, tool2;
43   movej Offs (precarga,0,0,-43.94), v5000, fine, tool2;
44 ENDPROC
45 PROC posicioncarga ()
46   movej precarga ,v5000, fine, tool2;
47   movej precarga ,v5000, fine, tool2;
48 ENDPROC
49 PROC descarga ()
50   IF capa=1 then
51     altura:=0;
52     descargaispar;
53   ENDIF
54   IF capa=3 then
55     altura:=40;
56     descargaispar;
57   ENDIF
58   IF capa=2 then
59     altura:=20;
60     descargapapar;

```

Figura 5. Segunda parte del código.

El código define posiciones clave (`robotarget`) que define puntos específicos que nos permite realizar ciertos movimientos tanto en ese punto como en otro lugar con la función offset, que especifican dónde el robot debe moverse para cargar y descargar piezas. Además, se configura la herramienta utilizada por el robot con `tooldata` que en este caso es la ventosa neumática. Las variables como `caja`, `capa` y `altura` determinan la posición y el estado durante el proceso.

El procedimiento `main()` gestiona el flujo del robot, comenzando con un contador de cajas, el cual al pasar por un punto incrementa una unidad; por otro lado contamos con la marcha de cinta que realiza el encendido y movimiento de las piezas al punto de carga. Otras funciones importantes son las de succión donde uno activa las señales digitales para dar energía a la electroválvula y la otra desenergiza el sistema permitiendo a la ventosa actuar de forma eficiente.

Finalizando el desarrollo hemos obtenidos una maqueta que simula un prototipo funcional, programación del robot e integrando el sistema, al mismo tiempo que se desarrolló toda la documentación teórica tanto para el docente como para el alumno. De esta forma, cumpliendo con los objetivos propuestos y motivando al aprendizaje de estas competencias.

Conclusiones

El proyecto se concretó en todas sus etapas incorporando este trabajo práctico dentro de asignaturas de la carrera de ingeniería industrial y electromecánica.

Esto proporciona una valiosa experiencia práctica para los estudiantes, sino que también refuerza la comprensión de los conceptos teóricos de la automatización y la robótica. Promoviendo un aprendizaje más efectivo y aplicado. Este enfoque educativo y práctico contribuye significativamente a la formación de futuros profesionales en el campo de la automatización industrial. Tal como lo citan estos autores en sus respectivas biografías (Martínez & Rodríguez Pesce, 2017) (Santillán Mariño, Montalvo Jaramillo, & López Ortiz, 2017).

La concreción de este trabajo da pie para desarrollar varios proyectos más, los cuales se desarrollan para sumar más trabajos prácticos, donde el brazo manipulador se integra con diferentes actuadores, con el fin de representar, simular la mayor cantidad de alternativas diferentes para situaciones reales de la industria.

Haciendo fuerte hincapié en cumplir con los objetivos propuestos y motivando al aprendizaje de estas competencias.

Bibliografía

Llopis, R. S., Romero Pérez, J. A., & Ariño Latorre, C. V. (2010). *Automatización Industrial*. Castelló de la Plana: Col·lecció Sapientia, 31.

Vargas Guativa, J. A., Guapacho Castro, J. J., & Isaza Domínguez, L. G. (Septiembre - Diciembre de 2017). *Robótica móvil: una estrategia innovadora*. *Revista Virtual - Universidad Católica del Norte*, pág.

<http://revistavirtual.ucn.edu.co>.

AB, A. (2011). *Manual del operador robot studio*. Obtenido de

https://library.e.abb.com/public/6aeb483836740e11c1257b4b0052375b/3HAC032104-005_revE_es.pdf

Martínez, M. C., & Rodríguez Pesce, E. (02 de 12 de 2017). *Formación Docente en Robótica - Una Experiencia en un Curso Semi Presencial*. *Revista Tecnología y Ciencia*, págs. <https://doi.org/10.33414/rtyc.35.82-93.2019>.

Santillán Mariño, C. J., Montalvo Jaramillo, P. E., & López Ortiz, s. a. (12 de 07 de 2017). *diseño e implementación de un modelo de estación de paletizado para baldosas con el robot industrial kawasaki rs003n para el laboratorio de automatización de la facultad de mecánica*. *trabajo de titulación*, pág.

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/7555/1/15T00668.pdf>.

Limitaciones en la modularidad de instalaciones fotovoltaicas de baja potencia

Limitations in the modularity of low-power photovoltaic installations

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Esteban Ceré

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, San Francisco, Córdoba, Argentina
esteban.cere@gmail.com

Gerardo D. Szwarc

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, San Francisco, Córdoba, Argentina
gszwarc@facultad.sanfrancisco.utn.edu.ar

Diego M. Ferreyra

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, San Francisco, Córdoba, Argentina
dferreyra@sanfrancisco.utn.edu.ar

Resumen

En el mercado de la energía solar, una ventaja atribuida a los sistemas fotovoltaicos es su capacidad de expandir la potencia instalada, lo que permite gradualidad en la inversión inicial relacionada. Este trabajo aporta consideraciones acerca de la modularidad de instalaciones fotovoltaicas de baja potencia conectadas a red. Se encuentra basado en estudios de los tres primeros años de funcionamiento de una instalación de 2800 W con doce paneles solares policristalinos de 235 W, emplazada en la UTN Facultad Regional San Francisco. Se analizó la generación de energía considerando el mismo inversor, pero reduciendo la cantidad de paneles. Si la tensión del arreglo de paneles se encuentra cerca del límite de corte inferior del inversor, ya sea por menor cantidad de paneles, el envejecimiento de estos o ambos factores, la producción de energía disminuirá. Se concluyó que la modularidad es limitada y deben tomarse recaudos para evitar reducciones excesivas en la generación.

Palabras clave: generación distribuida, energía solar fotovoltaica, paneles solares.

Abstract

In the solar energy market, an advantage attributed to photovoltaic systems is their ability to expand the installed power, which allows graduality in the related initial investment. This work provides considerations on the modularity of low-power grid-connected photovoltaic installations. It is based on studies of the first three years of operation of a 2800 W installation with twelve 235 W polycrystalline solar panels, located at the UTN San Francisco Regional Faculty. Energy generation was analyzed considering the same inverter but reducing the number of panels. If the voltage of the panel array is close to the lower cut-off limit of the inverter, either due to a smaller number of panels, the aging of these or both factors, energy production will decrease. It was concluded that modularity is limited, and precautions must be taken to avoid excessive reductions in generation.

Keywords: distributed generation, photovoltaic solar energy, solar panels.

Introducción

En términos generales, puede afirmarse que los sistemas de energía solar tienen la propiedad de ser modulares o escalables. Esto implica que su capacidad puede expandirse para atender incrementos de demanda sin comprometer la eficiencia ni la eficacia del sistema (Jingsun, 2024). En el mercado, se sabe que la posibilidad de expandir los sistemas fotovoltaicos debe preverse desde el diseño y son conocidas las ventajas financieras relacionadas con una mayor gradualidad en la inversión inicial (Lighthouse Solar, 2024). Se suelen enumerar otras ventajas sobre los módulos fotovoltaicos, como la simplicidad de su mantenimiento y recambio, la flexibilidad para disponerlos de diferentes maneras, y su facilidad para integrarse arquitectónicamente; sin embargo, la modularidad o escalabilidad está clara para sistemas de tamaños considerables, pero poco se dice sobre instalaciones de bajas potencias (Tongwei, 2024). En el presente trabajo, se pretende aportar consideraciones realistas sobre la modularidad de sistemas fotovoltaicos de potencias reducidas, aptas para usuarios monofásicos residenciales o comerciales que implementan generación distribuida.

La energía de corriente continua (DC, por sus siglas en inglés) de los paneles solares fotovoltaicos se convierte a corriente alterna (AC, por sus siglas en inglés) por medio de un inversor electrónico, salvo en aquellas aplicaciones en que se utiliza directamente la energía DC. Los inversores utilizados en aplicaciones solares pueden o no ser con conexión a red y, a medida que incrementan su potencia, incorporan múltiples entradas para adicionar series de paneles dispuestas de manera prácticamente independiente. En la entrada DC de los inversores, se requiere superar una tensión mínima de funcionamiento para comenzar a inyectar energía a la red. A su vez, tienen una tensión máxima de entrada, que limita la cantidad de paneles conectados en serie para alimentar esa entrada y que se verifica con los paneles en vacío, a la menor temperatura posible en el sitio de instalación. La normativa aplicable de conexión a red para generación distribuida impone otros requerimientos, como el funcionamiento antiisla, que exceden el alcance del presente trabajo (Tumino, 2020), (Boscaino et ál., 2023), (Ley 27424, 2017).

Este trabajo se centra en inversores con conexión a red con una única entrada DC, que es el caso típico de los monofásicos que pueden implementar usuarios residenciales o comerciales pequeños.

Desarrollo

Muchas veces, para los usuarios residenciales, afrontar el costo de una instalación solar representa un gran desafío, ante el cual la modularidad de estas instalaciones suele ser una buena alternativa. Sin embargo, en muchos casos, esta posibilidad se convierte en una desventaja. Al hablar de modularidad, en una primera etapa queda sobredimensionado el inversor fotovoltaico, que se encarga de transformar y adecuar la energía DC de los paneles a AC de la red a la cual se conecta. El valor de potencia nominal del inversor se fija al inicio en la instalación y, por su amplio rango de funcionamiento, admite posteriores ampliaciones en lo que respecta a la cantidad de paneles. Cuando un equipo inversor se conecta a una serie de paneles, para poder inyectar energía a la red, la tensión DC de entrada debe ser superior a un umbral fijado por el fabricante. En el caso de que la cantidad de paneles sea reducida y, si la tensión de la serie conformada por ellos es cercana al mínimo valor de entrada, se puede dar el caso de que no sea suficiente para comenzar la generación, aun habiendo radiación. Por lo tanto, se deja de generar la energía que se podría haber producido si se hubiera alcanzado la tensión mínima.

Metodología

Para este estudio, se tomaron datos del primer año de funcionamiento de la instalación solar fotovoltaica (FV) emplazada en la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) Facultad Regional San Francisco. Se cuenta con un inversor de conexión a red que se muestra en la Fig. 1, de 2800 W de potencia nominal y una tensión DC máxima de entrada de 500 V.

Según su configuración de fábrica (no accesible al usuario), entra en modo de espera (“*stand-by*”) cuando la tensión DC a la entrada supera los 100 V (20 % de la máxima) y comienza a inyectar energía cuando se alcanzan los 150 V (30 % de la tensión máxima). En la desconexión, el inversor deja de inyectar energía cuando la tensión cae por debajo de los 120 V (24 % de la máxima) (AEG, 2012).



Figura 1. Inversor fotovoltaico AEG Protect PV 2800 (AEG, 2012).

Este inversor está conectado a un arreglo en serie de doce paneles solares, marca Brandoni Solare SPA® (Brandoni Solare SPA, 2012), de 235 W, silicio policristalino y 60 células. La tensión de vacío de cada uno es de 37,18 V y su tensión de trabajo es de 29,78 V. Además de realizar la conversión DC-AC, el inversor registra diferentes datos, como se muestra en la Fig. 2 y en la Fig. 3. Los de mayor interés para este caso son la fecha y la hora, la tensión DC de entrada, y la potencia AC inyectada a la red.

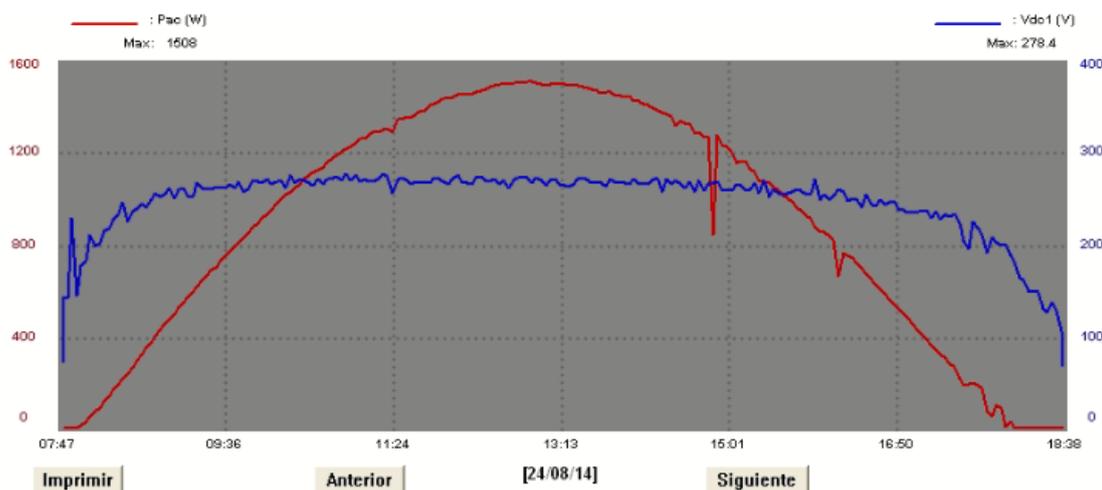


Figura 2. Algunos de los datos registrados por el inversor: tensión DC (azul) y potencia AC (rojo).

	A	B	C	D	E	F	G
1	Time	Temp(°C)	Vpv(V)	Iac(A)	Vac(V)	Fac(Hz)	Pac(W)
2	2024/03/01 07:05:07	32.2	83.0	0.1	232.8	50.08	0
3	2024/03/01 07:08:08	32.3	143.9	0.1	232.8	50.03	0
4	2024/03/01 07:11:38	32.4	150.1	0.1	233.8	50.01	0
5	2024/03/01 07:15:07	32.5	140.4	0.1	232.8	50.08	0
6	2024/03/01 07:18:08	32.5	142.2	0.1	233.8	50.06	0
7	2024/03/01 07:21:37	32.6	193.6	0.1	233.8	50.08	0
8	2024/03/01 07:24:38	32.6	193.7	0.1	233.8	50.08	0
9	2024/03/01 07:28:07	32.6	141.2	0.1	233.8	50.06	0

Figura 3. Muestra de los datos registrados por el inversor.

El periodo de integración para estos registros está fijado por defecto en 3 minutos para el inversor, es decir que los valores indicados de tensión y potencia son los promedios para cada periodo de esa duración.

Resultados

En este estudio, se analizó lo que ocurriría si, con el mismo inversor, se redujera la cantidad de paneles de doce a; cuatro, cinco, seis y ocho paneles, a fin de evaluar el efecto de la modularidad. Para esto, simplemente se consideró el hecho de que la tensión DC de entrada al inversor varía linealmente con la cantidad de paneles instalados, y se adaptaron los registros reales obtenidos originalmente con doce paneles. Una vez analizada la

generación con diferente cantidad de paneles en un mismo año, se estudió la misma situación para cuando la instalación transcurría su tercer año de funcionamiento.

En la Tabla 1, se muestran los resultados para cada período y cantidad de paneles. A modo de ejemplo, el valor 32,94 % para 6 paneles en abril del tercer año de funcionamiento indica que se dejaría de generar el 32,94 % de la energía que se produciría con esos 6 paneles, debido a que la tensión DC en muchas ocasiones no superaría la mínima requerida por el inversor para inyectar energía a la red. Para interpretar estos resultados, también puede decirse que, si se redujera la cantidad de paneles de doce a seis, en principio se podría afirmar que la energía generada se reduciría un 50 % pero, debido al efecto que aquí se trata de destacar, la reducción de generación sería aun mayor, en el porcentaje adicional que se expresa en la Tabla 1.

Tabla 1: Porcentajes adicionales de reducción de generación por modularidad en el primer y tercer año

	Porcentaje de reducción, primer año (%)				Porcentaje de reducción, tercer año (%)			
	Cantidad de paneles				Cantidad de paneles			
	4	5	6	8	4	5	6	8
Enero	100,00	86,90	0,09	0,00	100,00	99,85	23,92	0,08
Febrero	100,00	85,78	0,36	0,00	100,00	100,00	17,96	0,05
Marzo	100,00	74,32	0,37	0,00	100,00	99,98	12,07	0,04
Abril	100,00	92,87	2,08	0,00	100,00	99,48	32,94	0,15
Mayo	100,00	86,31	0,83	0,00	100,00	100,00	35,78	0,40
Junio	100,00	71,47	1,35	0,01	100,00	94,69	10,68	0,03
Julio	100,00	72,14	0,68	0,00	100,00	99,82	34,61	0,13
Agosto	100,00	82,48	0,23	0,00	100,00	94,09	7,30	0,03
Septiembre	100,00	71,69	0,14	0,00	100,00	100,00	22,19	0,03
Octubre	100,00	81,04	0,49	0,00	100,00	99,99	16,23	0,12
Noviembre	100,00	99,04	1,60	0,00	100,00	100,00	44,24	0,37
Diciembre	100,00	98,02	2,42	0,00	100,00	100,00	60,97	0,23
Promedio anual	100,00	83,50	0,89	0,00	100,00	98,99	26,58	0,14

Considerando el primer año de funcionamiento de la instalación, se puede observar que, con cuatro y cinco paneles, la energía generada se reduce un 100 % y un 83,5 % respectivamente; sin embargo, se aprecia un porcentaje de reducción relativamente bajo para seis paneles. Para el tercer año de funcionamiento, teniendo en cuenta el envejecimiento, se observa que, si bien la reducción para cuatro y cinco paneles sigue siendo total o casi total, la reducción de generación para seis es considerablemente mayor, con un mínimo de 7,30 % en agosto y un máximo de 60,97 % en diciembre. Con ocho paneles, y para ambos períodos, la reducción de generación es casi nula o muy baja. También se observa que, en los meses de verano, la reducción es mayor, pudiendo ser la temperatura uno de los causantes.

Discusión

Los resultados obtenidos permiten cuantificar las limitaciones de la modularidad en la cantidad de paneles conectados en serie para un inversor como el descripto.

Se advierte que el envejecimiento de los módulos solares puede ser uno de los factores de importancia ya que, además de la potencia generada, la tensión de los paneles solares se reduce con el deterioro normal debido al uso (Solair World, 2024). No es fácil replicar el efecto de las condiciones reales de campo en los ensayos de envejecimiento acelerado de celdas y módulos solares, pero, en relevamientos realizados sobre diferentes paneles solares, incluso se encontró un caso en que, al cabo de 22 años, la tensión a potencia nominal se redujo un 17,8 % (Dunlop, 2006).

En la industria, se sabe que es factible conectar en serie o en paralelo paneles solares de diferente potencia nominal a condición de que su corriente o tensión a potencia nominal, respectivamente, sea lo más similar posible. Sin embargo, aunque se cumpla esa condición, se recomienda evitar tales combinaciones porque los mecanismos de envejecimiento no se desarrollan siempre de manera uniforme, por lo cual algunos paneles podrían deteriorarse más rápidamente que otros. Esto podría producir una diferencia gradualmente creciente

entre paneles ya que, a su vez, aquellos cuya operación se degrade antes envejecerían más rápidamente. Esto constituiría un bucle cerrado que se realimentaría en perjuicio del desempeño del conjunto de paneles (Energy Connections, 2024; Manganiello et ál., 2015).

En este sentido, también es conocido para las instalaciones fotovoltaicas que el sombreado que puedan recibir algunos paneles afecta el desempeño de todos los demás conectados en serie, incluso de los que no estén sujetos a sombreado (Niazi et ál., 2019)

Por todas estas consideraciones, cabe afirmar que, si se quiere implementar una instalación fotovoltaica con una cantidad parcial de paneles para luego ampliarla a una cantidad mayor unos años más tarde, deben tomarse diversos recaudos. En primer lugar, si se conectaran en serie los paneles iniciales, ya algo envejecidos, con otros nuevos, de desempeño algo diferente, aunque fueran de la misma marca y modelo, se estaría incurriendo en algunas de las limitaciones aquí explicadas. Por lo tanto, lo más conveniente sería retirar todos los paneles iniciales e implementar con paneles nuevos, idénticos entre sí, la cantidad final requerida, típicamente la total definitiva acorde a la potencia nominal del inversor y a su tensión DC máxima de entrada. Así, se minimizarían los inconvenientes aquí enumerados.

Por otra parte, el hecho de demorar demasiado en el tiempo esta ampliación podría llevar a que, por la caída de tensión propia del envejecimiento de los paneles iniciales, se generen reducciones considerables en la energía generada hasta el momento de la ampliación prevista.

Naturalmente, la reventa de los primeros paneles como usados para que se implementen en una segunda vida debería contribuir a amortiguar este nuevo escalón de inversión para el usuario.

Más allá de esta discusión válida, se debe mencionar que hay inversores disponibles en el mercado que pueden comenzar a inyectar con tensiones de, por ejemplo, solo 80 V, un 13,33 % de una tensión máxima de 600 V (SolaX Power, 2019), lo cual naturalmente contribuye a mitigar los inconvenientes aquí detallados.

Conclusiones

En este trabajo, se analizaron los valores de tensión DC y potencia AC de tres años de operación continua de una instalación solar fotovoltaica piloto, con conexión a red de 2800 W de potencia nominal y doce paneles en serie. Se evaluaron las situaciones supuestas de reducción de generación para cuatro, cinco, seis y ocho paneles, considerando la posibilidad de una primera instalación con una cantidad parcial. Los resultados permiten afirmar que, si bien la modularidad en las instalaciones solares fotovoltaicas es una de sus características distintivas, es necesario calcularlas con la previsión de que la tensión generada por la serie de paneles no esté tan cerca del límite de corte del equipo inversor, a fin de minimizar las interrupciones en la generación por falta de tensión. Vista la evolución de los valores relevados en el tiempo, y según lo confirmado con la literatura, el envejecimiento, la temperatura y el sombreado diferenciado entre diferentes paneles de la serie, pueden ser factores que afecten de manera considerable la generación total anual, más allá de la cantidad de paneles instalada inicialmente. Se advierte que, antes de realizar la ampliación de la instalación, el envejecimiento normal de los paneles instalados inicialmente podría hacer que la tensión quede frecuentemente debajo de la mínima requerida por el inversor para inyectar energía a la red, lo cual implicaría una reducción en la generación que podría comenzar a ser notoria. Estas afirmaciones proporcionan recomendaciones novedosas aplicables a las limitaciones de la modularidad en instalaciones fotovoltaicas de potencias reducidas, típicamente para usuarios monofásicos.

Agradecimientos

A la UTN, por su financiamiento con el PID ENTCSF0010250 (periodo 2024-2027) homologado por Rectorado; con un módulo de la convocatoria 2022 de las Becas Doctorales para Docentes de la UTN; y con un módulo de la convocatoria 2024 de las Becas para la Iniciación en la I+D (BINID) para graduados, así como con proyectos y becas anteriores en la misma línea de trabajo.

Referencias

AEG Power Solutions GmbH (2012). *Protect PV 2000 & 2800 On-Grid Solar Inverter. Operating Instructions*, Warstein-Belecke (Germany): AEG Power Solutions GmbH.

Boscaino, V., Ditta, V., Marsala, G., Panzavecchia N., Tinè G., Cosentino V., Cataliotti A., Di Cara, D. (2023). "Grid-connected photovoltaic inverters: Grid codes, topologies and control techniques." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 189(A), 1-23.

Brandoni Solare SPA (2012), módulo fotovoltaico BRP6360064-XXX. Recuperado de <http://www.brandonisolare.com/en/pdf/catalogo-prodotti.pdf>.

Dunlop, E. D., & Halton, D. (2006). The performance of crystalline silicon photovoltaic solar modules after 22 years of continuous outdoor exposure. *Progress in photovoltaics: Research and Applications*, 14(1), 53-64.

Energy Connections Pty., Ltd (2024). Can I Mix Different Solar Panels? Recuperado de <https://energyconnections.net.au/pages/can-i-mix-different-solar-panels>.

Jingsun New Energy and Technology Co., Ltd. (2024). Scaling Up Your Solar Energy System: Tips and Considerations. Recuperado de <https://www.jingsun-power.com/info/scaling-up-your-solar-energy-system-tips-and-90454713.html>.

Ley 27424 de 2017. Régimen de fomento a la generación distribuida de energía renovable integrada a la red eléctrica pública. 27 de diciembre de 2017. Boletín Oficial nro. 33779, Argentina.

Lighthouse Solar (2024). Future-Proofing Your Business: The Scalability of Commercial Solar Installations. Recuperado de <https://www.lighthousesolarny.com/blog/2024/february/future-proofing-your-business-the-scalability-of/>.

Manganiello, P., Balato, M., & Vitelli, M. (2015). A survey on mismatching and aging of PV modules: The closed loop. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62(11), 7276-7286.

Niazi, K. A. K., Yang, Y., & Sera, D. (2019). Review of mismatch mitigation techniques for PV modules. *IET Renewable Power Generation*, 13(12), 2035-2050.

Solair World (2024). Does Solar Panel Voltage Fluctuate? Recuperado de <https://solairworld.com/does-solar-panel-voltage-fluctuate/>.

SolaX Power (2019). Single Phase String Inverter X1-Air. Recuperado de <https://solax.com.ar/producto/x1-air/>

Tongwei Co., Ltd. (2024). How can modular solar panels benefit large-scale solar installations? Recuperado de <https://en.tongwei.com.cn/news/190.html>.

Tumino P. (2020). An Introduction to Inverters for Photovoltaic (PV) Applications. Recuperado de <https://eepower.com/technical-articles/an-introduction-to-inverters-for-photovoltaic-pv-applications>.

Correlación del RMB y el ciclo de histéresis en aceros al Si

Correlation of the MBN and the hysteresis cycle in Si steels

Presentación: 23 y 24 de Octubre de 2024

M. R. Neyra Astudillo

Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Delta, San Martín 1171, Campana, Buenos Aires, Argentina.
Dpto. Coordinación Proyecto ICES, Desarrollo Tecnológico y Proyectos Especiales, Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), Buenos Aires, Argentina.
neyra@cnea.gov.ar

A. Melini

Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Delta, San Martín 1171, Campana, Buenos Aires, Argentina.
amellini@frd.utn.edu.ar

M. Gómez

Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Delta, San Martín 1171, Campana, Buenos Aires, Argentina.
Dpto. Coordinación Proyecto ICES, Desarrollo Tecnológico y Proyectos Especiales, CNEA, Buenos Aires, Argentina.
mpgomez@cnea.gov.ar

Resumen

En la actualidad los aceros al Si también llamados aceros eléctricos, son usados por ejemplo en motores y transformadores, de forma de aprovechar su calidad magnética, manufacturabilidad y bajo costo. En particular, la denominada “calidad magnética” está referida a las propiedades magnéticas que se demandan de dichos materiales, tales como una alta permeabilidad y una baja histéresis magnética. En este trabajo se estudió la correlación de la técnica del ruido magnético Barkhausen (RMB) y el ciclo de histéresis en aceros eléctricos. Para ello, se ensayaron tres chapas de aceros al Si de grano orientado (M4, M5 y M6, según el sistema europeo EN). Se encontró la respuesta del valor RMS es inversa al campo coercitivo. Cuando aumenta el espesor de la muestra aumenta las pérdidas de energía y disminuye el valor RMS del RMB.

Palabras clave: RMB, acero eléctrico, ciclo de histéresis.

Abstract

Currently, Si steels, also called electrical steels, are used, for example, in motors and transformers, in order to take advantage of their magnetic quality, manufacturing capacity and low cost. In particular, the so-called “magnetic quality” refers to the magnetic properties that are demanded from said materials, such as high permeability and low magnetic hysteresis. In this work, the correlation of the magnetic Barkhausen noise (MBN) technique and the hysteresis cycle in electrical steels was studied. For this, three grain-oriented Si steel sheets were tested (M4, M5 and M6, according to the European EN system). The response of the RMS value was found to be inverse to the coercive field. When the thickness of the sample increases, the losses increase. Of energy and decreases the RMS value of the MBN

Keywords: MBN, electrical steel, hysteresis loop.

Introducción

El Ruido Magnético Barkhausen (RMB) es una técnica no destructiva para el ensayo de materiales ferromagnéticos. Es una técnica muy sensible a la microestructura, impurezas y otros defectos de los aceros, lo que permite investigar el estado de los mismos, incluyendo su orientación cristalográfica. Esta técnica ocurre cuando las paredes del dominio interactúan con heterogeneidades microestructurales como los bordes de grano, inclusiones, precipitados, etc. Los llamados “saltos de Barkhausen” en materiales magnéticos pueden deberse a efectos microscópicos debido al movimiento irregular de paredes de dominio bien definidas o a escala fina debido al movimiento microscópico estocástico de segmentos de paredes, aunque ambos son estrechamente dependientes (Cullity and Graham, 2009; Stefanita, 2008).

Las pérdidas magnéticas se dividen tradicionalmente en componentes de histéresis, corrientes parásitas y exceso de pérdidas. La pérdida de histéresis se genera cuando las paredes del dominio se fijan y liberan debido a faltas de homogeneidad en un material (Cullity and Graham, 2009; Stefanita, 2008). Generalmente se cree que la pérdida de histéresis por ciclo es independiente de la frecuencia de magnetización, aunque los primeros trabajos todavía arrojan dudas sobre esta suposición. Sin embargo, se supone ampliamente que existe una estrecha correlación entre RMB y el fenómeno de histéresis, aunque el exceso de pérdidas también está relacionado con los saltos de Barkhausen (Dlala, et al., 2010).

En este trabajo se estudió la correlación de la técnica del RMB y el ciclo de histéresis en aceros eléctricos de grano orientado (GO). Para ello, se ensayaron tres chapas de aceros al Si de GO (M4, M5 y M6, según el sistema europeo). Para las muestras menores de 0.35mm de espesor, se encontró una relación inversa entre el valor cuadrático medio (RMS) y campo coercitivo.

Desarrollo

Materiales

Se estudiaron placas de acero al Si, proporcionadas por la Empresa Electropart Córdoba S.A. En la Figura 1 se muestra una de las fotografías de las placas estudiadas, con una flecha la dirección de laminación (DL) indicada por el fabricante. Las dimensiones de las probetas para la placa de GO son 25.5 cm x 17 cm x 0.23 cm. En la Tabla 1 se indica Estándares de rendimiento electromagnético.

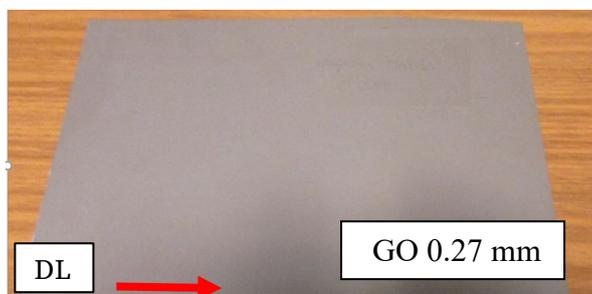


Figura 1. Fotografía de la placa de acero al Si de GO

Calidad	Espesor (mm)	Pérdidas 1.7 T, 50 Hz (W/kg)
M4	0,27	1,24
M5	0,30	1,4
M6	0,35	1,5

Tabla 1. Estándares de rendimiento electromagnético, Electropart Córdoba S.A.

Medición del RMB

Para estudiar la correlación entre los parámetros del RMB y el ciclo de histéresis, en aceros al Si se generó el campo de excitación del yugo con una tensión sinusoidal de 10 Hz y una amplitud de 1 V, producida por un generador, que luego era amplificada. La bobina sensora del RMB estaba colocada en el centro del yugo. El amplificador de esta bobina sensora tiene una banda de paso de 5 kHz a 200 kHz. El yugo fue ubicado sobre la dirección 0°-180° de una circunferencia dibujada sobre la probeta, de modo que la dirección de laminación y las líneas del campo coincidieran con la dirección 0°-180°. Luego se variaba la dirección del campo girando el yugo a 0°, 45° y 90°. Se midieron 10 repeticiones por cada ángulo. Todas las señales fueron registradas en un osciloscopio digital PicoScope 5000 Series. En la Figura 2 se muestra la fotografía del sistema de medición del RMB.

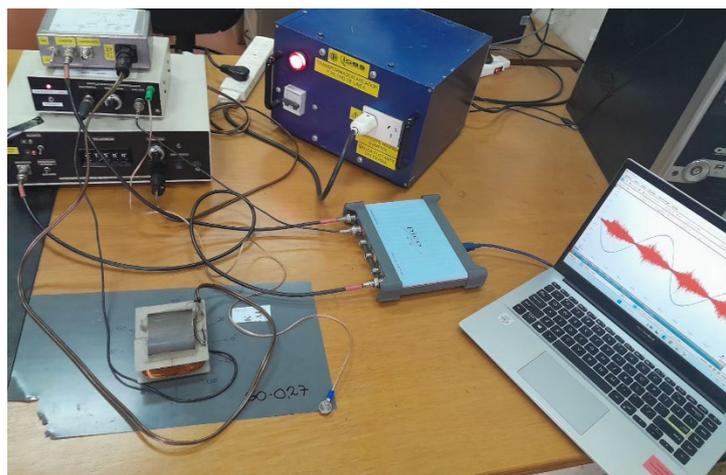


Figura 2. Fotografía del Sistema Experimental del RMB.

Medición del ciclo de histéresis

Para medir el ciclo de histéresis se usaron las mismas condiciones del RMB. El campo de excitación se generó mediante una bobina colocada en una de las patas del yugo, con una frecuencia de 10 Hz y una amplitud de 1 V. La bobina sensora se ubicó en la otra pata del yugo. El yugo fue orientado inicialmente sobre la dirección 0°-180° de una circunferencia dibujada sobre la probeta, respecto de la dirección de laminación, tal como se midió el RMB. Luego se rotó el yugo en los mismos ángulos que en el RMB: 0°, 45° y 90°. Todas las señales fueron registradas en un osciloscopio digital PicoScope 5000 Series. En la Figura 3 se muestra la fotografía del sistema de medición del ciclo de histéresis.



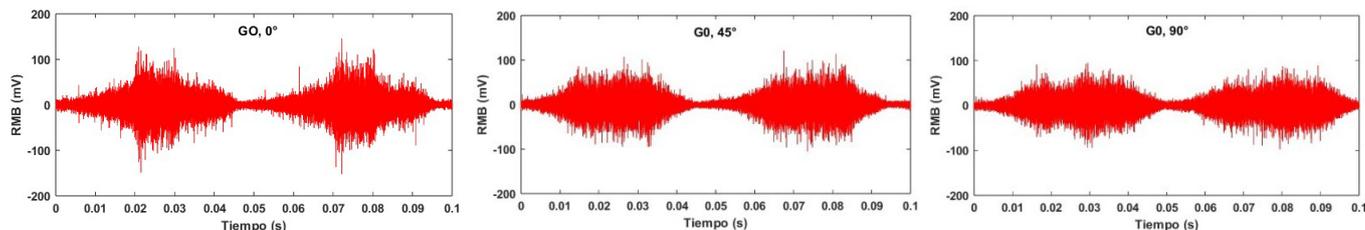
Figura 3. Fotografía del Sistema Experimental del ciclo de histéresis.

Resultados y discusión

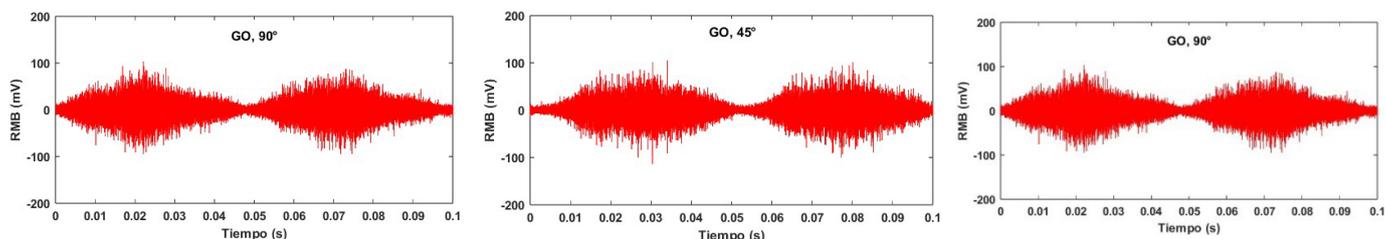
Análisis del RMB

Se llevaron a cabo mediciones en los 3 aceros M4, M5 y M6, en 3 orientaciones diferentes: 0°, 45° y 90°. Por cada orientación se midieron 10 repeticiones. La frecuencia de muestreo de la señal fue de 500 kHz/s. En la Figura 4, se muestran las señales de RMB de los 3 aceros medidos y para las diferentes orientaciones. Se observa que la forma de la señal de RMB cambia según el tipo de acero y el ángulo medido. Además, se ve que la amplitud del RMB disminuye con el aumento del espesor. La mayor amplitud en los 3 aceros es para el ángulo de 0° coincidiendo con la DL.

M4



M5



M6

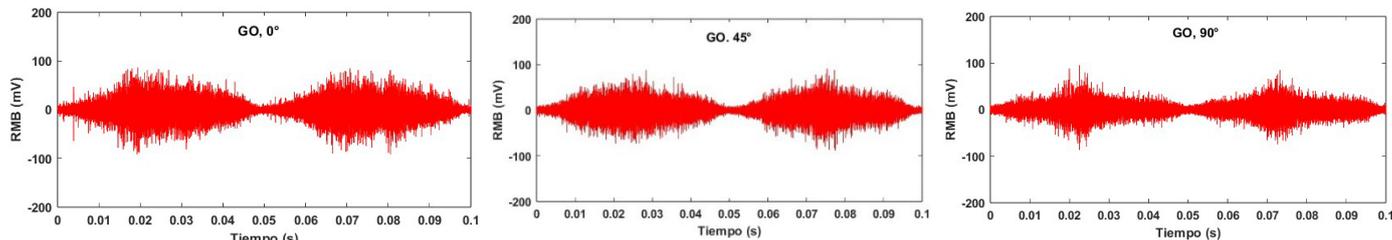


Figura 3. Señales de RMB a) M4, b) M5 y c) M6, para los ángulos: 0°, 45° y 90°

En la Figura 4 se muestra el valor RMS del RMB de M4, M5 y M6 vs. los ángulos: 0°, 45° y 90°. La señal de RMB mostró ser mayor en la dirección de laminación (DL), coincidiendo con la dirección del eje de fácil magnetización. (Campos et. al, 2011). Además, se ve que para el acero M6 de mayor espesor el valor RMS es menor.

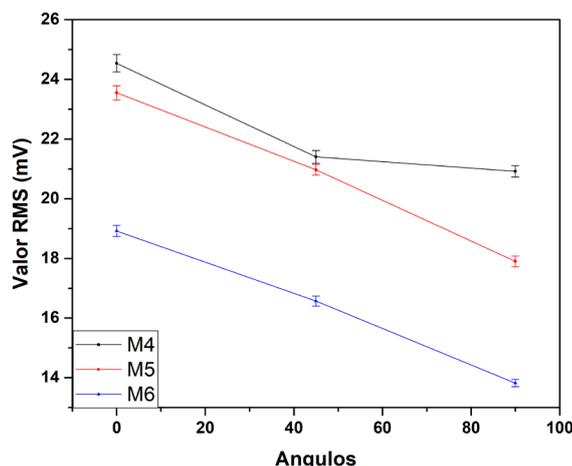


Figura 4. Valor RMS del RMB de M4, M5 y M6 vs. ángulos: 0°, 45° y 90°.

Análisis del ciclo de histéresis

Para correlacionar con la respuesta del RMB se midió el ciclo de histéresis con las mismas condiciones de excitación. En la Figura 5 se muestra la superposición de los ciclos de histéresis del acero al Si con GO: M4, M5 y M6. Se observa que a medida que aumenta el espesor de la muestra aumenta la saturación de magnetización, se produce una rotación del ciclo de histéresis en el sentido anti horario. Desde la muestra de menor espesor M4 (0.27 mm), M5 (0.30 mm) y M6 (0.35 mm)

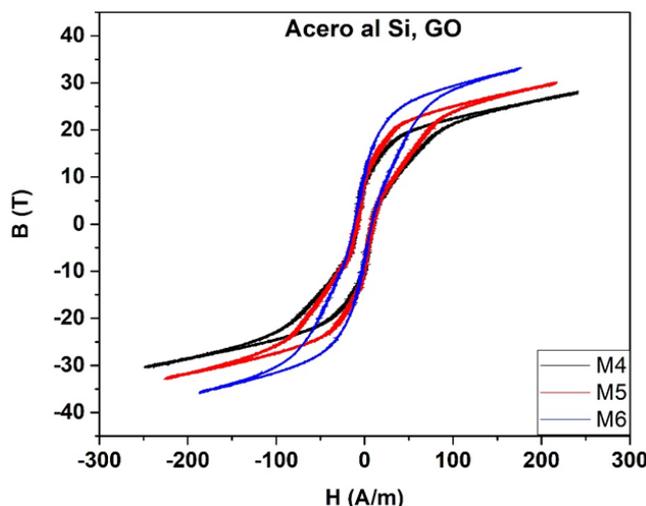


Figura 5. Superposición de las curvas del ciclo de histéresis para los aceros al Si de GO: M4, M5 y M6.

En la Figura 6 a) se muestra una ampliación del ciclo de histéresis y b) campo coercitivo en función de sus ángulos: 0°, 45° y 90°, para los aceros M4, M5 y M6. Para los aceros al Si de GO mencionados anteriormente, se observa que el campo coercitivo aumenta para los ángulos de 45° y 90°. Además, se ve que para el acero M6 de mayor espesor el campo coercitivo es mayor por lo consiguiente tiene mayores pérdidas de energía, tal como se observa en la Tabla 1.

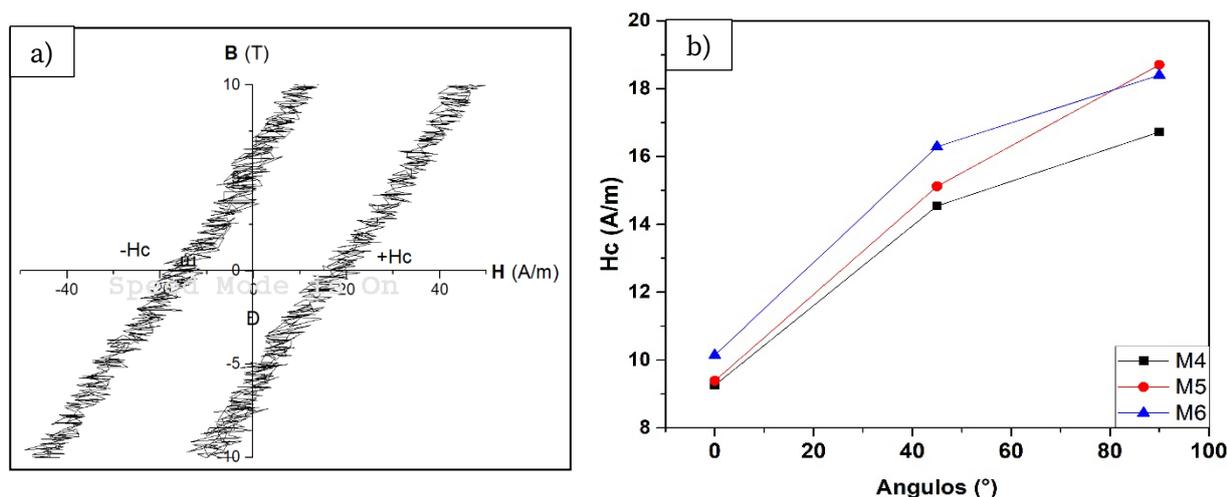


Figura 6. a) Ampliación del ciclo de histéresis y b) Campo coercitivo vs. ángulos: 0°, 45° y 90°, para los aceros estudiados.

En la Figura 7 se muestra el valor RMS del RMB, el campo coercitivo para cada placa de acero al Si. Se observa que el valor RMS tiene un comportamiento inverso con el campo coercitivo. A medida que aumenta el espesor de la muestra aumenta el campo coercitivo por lo tanto aumenta las pérdidas de energía (Ver Tabla 1) y el valor RMS del RMB disminuye. Esto se podría deber a los efectos de amortiguación de las corrientes parásitas que afectan a muestras menores de 0.35mm (Birsan et al., 1996; Chukwuchekwa, 2011).

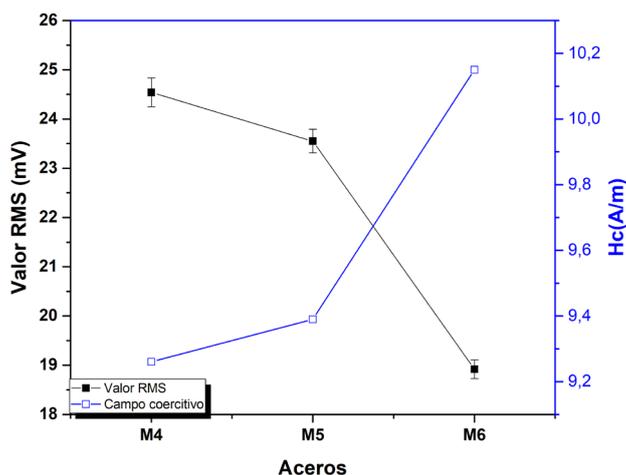


Figura 7. Valor RMS del RMB, y el campo coercitivo vs. aceros estudiados.

Conclusiones

Se ensayaron tres chapas de aceros al Si de GO (M4, M5 y M6, según el sistema europeo EN). Se estudió la correlación entre los parámetros magnéticos del ciclo de histéresis y el RMB.

Se observa que para las muestras con un espesor menor que 0.35mm, existe correlación inversa entre la amplitud, el valor RMS del RMB y campo coercitivo del ciclo de histéresis.

Mediante los valores RMS del RMB en función del ángulo de medición sobre la placa, se pudo revelar la existencia de una anisotropía magnética en el acero de GO. La señal de RMB mostro ser mayor en la dirección de laminación (DL), coincidiendo con la dirección del eje de fácil magnetización.

Las mediciones de RMB permitirían comparar fácilmente las pérdidas de energía de aceros al Si de grano orientado diferente y así conocer la calidad del acero.

Referencias

Birsan M., Szpunar J. A., Krause T. W., and Atherton D. L. (1996), Correlation between the Barkhausen noise power and the total power losses in 3% Si- Fe, *Journal of Applied Physics* 79, 6042 (1996); doi: 10.1063/1.362084.

Campos, M. F., Campos, M. A., Landgraf, F. J. G., and Padovese L. R. (2011), "Anisotropy study of grain oriented steels with Magnetic Barkhausen Noise", *Journal of Physics: Conference Series*, 303, 1-6.

Cullity B. D, Graham C. D. (2009), *Introduction to Magnetic Materials*, 2da Edition, Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, United States, 164-165.

Dlala, E., Belahcen A., Pippuri J., and Arkkio A., Interdependence of Hysteresis and Eddy-Current Losses in Laminated

Magnetic Cores of Electrical Machines, *IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS*, VOL. 46, NO. 2, FEBRUARY 2010.

Stupakov O, Perevertov O., Stoyka V. and Wood R. (2010), "Correlation Between Hysteresis and Barkhausen Noise Parameters of Electrical Steels," in *IEEE Transactions on Magnetics*, 46, , 517-520,

Stefanita C. G. (2008), "From Bulk to Nano. The Many Sides of Magnetism, *Springer Series in Materials Science*, 19-38.

Nkwachukwu Chukwuchekwa, (2011), Investigation of magnetic properties and Barkhausen noise of electrical steel, A thesis submitted to the Cardiff University in candidature for the degree of Doctor of Philosophy Wolfson Centre for Magnetism Cardiff School of Engineering Cardiff University, United Kingdom.

Tipos y consecuencias de los horarios de trabajo en la vida laboral y extralaboral. (Industrias de San Francisco).

Types and consequences of work schedules in work and extra- work life. (San Francisco Industries).

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Germán Yennerich

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Argentina.

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina.

Instituto Académico Pedagógico de Ciencias Básicas (Universidad Nacional de Villa María)

yennerich_grillo@yahoo.com.ar

Vanina G. Fraire

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina.

vafraire@yahoo.com

Nicolás Beltramino

Instituto Académico Pedagógico de Ciencias Sociales (Universidad Nacional de Villa María)

nico_beltra@hotmail.com

Marcelo Ingaramo

Instituto Académico Pedagógico de Ciencias Sociales (Universidad Nacional de Villa María)

iscecontabilidad@hotmail.com

Carina Gazzaniga

Facultad de Ciencias Económicas (Universidad Nacional de Córdoba)

carinagazzaniga@hotmail.com

Resumen

Se presenta un avance de un Proyecto de Investigación y Desarrollo de la Universidad Tecnológica Nacional. En el mismo se trata de realizar un censo de los horarios laborales de las industrias de la ciudad de San Francisco, y cuáles son sus consecuencias en el rendimiento y bienestar de los empleados. Los objetivos son describir los diversos horarios vigentes, establecer cómo interactúan con el tiempo y actividades fuera del trabajo, para determinar buenas prácticas que estimulen la satisfacción laboral. Para ello se encuestan empleados y directivos de las empresas estudiadas. En este artículo se realiza una comparación entre tres empresas industriales con diferentes horarios, cultura y producción, que representan características típicas de las empresas de la ciudad.

Palabras clave: Jornada laboral, Rendimiento, Satisfacción, Industria

Abstract

A preview of a Research and Development Project of the National Technological University is presented. It tries to carry out a census of the working hours of the industries of the city of San Francisco, and what are their consequences on the performance and well-being of employees. The objectives are to describe the various current schedules, establish how they interact with time and activities outside of work, to determine good practices that stimulate job satisfaction. To do this, employees and managers of the companies studied are surveyed. In this article, a comparison is made between three industrial companies with different schedules, culture and production, which represent typical characteristics of companies in the city

Keywords: Working hours, Performance, Satisfaction, Industry

Introducción

La correcta organización del tiempo de trabajo y de sus descansos es esencial para trabajadores y empleadores. En un artículo conjunto de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) del 17 de mayo de 2021, titulado "Las largas jornadas de trabajo pueden aumentar las muertes por enfermedades cardíacas y accidentes cerebrovasculares" (OMS, 2021), se estima que en 2016 murieron 398 000 personas por ictus y 347 000 por cardiopatías atribuibles a haber trabajado por lo menos 55 horas semanales. Lo preocupante de estos datos es que estos números significan un aumento del 42 % en el caso de las cardiopatías y del 16 % en el caso de ictus, en relación con el año 2000. Este aumento va en correspondencia con el alargamiento de la jornada laboral, que afecta a unos 480 millones de personas que son el 9 % de la población mundial, jornada que ha sido también alterada por la pandemia. La tecnología tiene su papel en la extensión de la jornada debido a que el teletrabajo favorece el difuso límite entre el tiempo de trabajo y el tiempo de descanso. En la Argentina existe un marco legal a través de la Ley de Jornada Laboral, Ley 11 544, y a través de la Ley de Contrato de Trabajo, mediante las cuales se prohíben horarios que acumulen 55 horas semanales. Desde 1929 en la Argentina se establece las 48 horas máximas semanales, en acuerdo con el Convenio Número 1 de la OIT de 1919, sobre horas máximas en la industria. Es importante resaltar que la jornada laboral, en Argentina, no se define por la actividad que hace el trabajador, sino por el tiempo que el trabajador pone a disposición del empleador. Legalmente en Argentina existen cinco jornadas de trabajo:

- Horario normal diurno, de las 6 a las 21 horas, con un máximo de 8 horas diarias o 48 semanales.
 - Horario nocturno, de las 21 a las 6 horas, con un máximo de 7 horas diarias o 42 semanales.
 - Horario de trabajo insalubre: máximo de 6 horas semanales o 36 semanales.
 - Horario de trabajo mixto diurno-nocturno: cada hora nocturna se computa 1 hora con 8 minutos, por ejemplo, 3 horas nocturnas son 3 horas 24 minutos, se deben trabajar 4 horas 36 minutos para llegar al máximo de 8 horas diarias
 - Horario de trabajo mixto salubre-insalubre: cada hora insalubre se computará como 1 hora 20 minutos.
- El empleador puede distribuir los horarios diarios, agregando hasta 1 hora diaria, que deberá restar de otra jornada, respetando los máximos semanales. Si se agregan más horas deberán ser pagadas como "horas extra" o "suplementarias", que se corresponde con un 50 % más por cada hora extra, o un 100 % más desde el sábado a las 13 horas y hasta el domingo a las 24 horas. Se establece un máximo legal de 30 horas extra al año y 200 anuales, por lo que, por encima de estos números deben ser autorizadas.

Sobre la base de esta legislación, cada empresa organiza sus jornadas laborales experimentando horarios que les sean redituables desde el punto de vista del negocio y de la satisfacción de sus empleados. Es por ello que existe una amplia diversidad de horarios, incluso dentro de una misma empresa, que obedecen a una o varias de las siguientes variables:

- Tipo de producción.
- Época del año.
- Características de los empleados, como son su género, edad, carga familiar y nivel educativo.
- Tamaño de la empresa y cantidad de personal.
- Tipo de gestión de los Recursos Humanos.

Se carece de un estudio local acerca de las estrategias implementadas a nivel empresarial sobre las jornadas laborales, y es por eso que la presente investigación trata de subsanar esta carencia. En este trabajo se han tomado empresas metalúrgicas muy diversas entre sí, con el fin de señalar el diverso uso de los horarios y su diverso efecto en los trabajadores. Se ha estudiado una microempresa de fabricación e instalación de tinglados

y galpones, una pequeña empresa de fabricación de equipos eléctricos y electrónicos para maquinaria industrial y agrícola, y una mediana empresa de fabricación de cocinas a gas, anafes y hornos de empotrar.

Desarrollo

“Una lejana sirena, penetrante y prolongada, les hizo ponerse en marcha. La madre contempló el reloj que había en la repisa de la chimenea. Las manecillas señalaban las cinco y media. El resto de personal de la fábrica comenzaba entonces a despertarse. La madre se echó un chal sobre los hombros y se puso un sombrero viejo, deformado y sucio.

—Hay que darse prisa —dijo apagando la luz y el fogón” (London, 1906: 2)

El párrafo anterior es una parte del cuento “El apóstata” escrito por Jack London, en base a sus propias experiencias. El protagonista es un joven de 16 años, Johnny, empleado en una fábrica textil, donde debe agilizar sus movimientos para acelerar el ritmo de la producción, hasta trabajar como un autómata en lo que fue el taylorismo, oficialmente llamado Organización Científica del Trabajo. También en el cine, existe una película que muestra el taylorismo, en este caso unido al fordismo, con el uso de la cinta transportadora, dicho film es “Tiempos modernos” (1936), dirigida y protagonizada por Charles Chaplin, esta película comienza con la imagen de un reloj que muestra el horario de entrada a la fábrica, las seis de la mañana.

Un reloj es un mecanismo que mide el tiempo, y puede medir la jornada laboral cuyos máximos legales han sido descriptos en la Introducción, y también mide el tiempo laboral, esta distinción es válida porque la jornada implica la actividad desarrollada dentro de la empresa, pero el tiempo laboral la excede y son las acciones mentales o físicas que se relacionan con el trabajo, ya sean dentro o fuera de la jornada laboral. (Grané, 2021: 3-5). La conectividad digital favorece el aumento del tiempo laboral, ya que los empleados están accesibles fuera de su jornada a través de los medios digitales.

En relación a la extensión de los horarios de trabajo, históricamente tienden a reducirse desde la Primera Revolución Industrial (Fernández Franco y Lo Vuolo, 2022: 8), salvo los casos nombrados en la Introducción, pero a partir de la Segunda Revolución Industrial, con la introducción de la luz eléctrica, se abre la posibilidad de extender la jornada laboral a las 24 horas del día. Para ello aparece el trabajo a turnos, que es una manera de organizar el tiempo de trabajo, donde el lugar de trabajo es ocupado sucesivamente por diversas personas, los turnos pueden ser fijos o rotativos, en este último caso, si abarca el horario nocturno, se altera el reloj biológico que activa los ritmos biológicos, como es el ritmo circadiano o ritmo del sueño-vigilia, que establece el sueño a la noche y la vigilia en el día. La luz inhibe la secreción de melatonina, una hormona que facilita el sueño, de esta manera los turnos rotativos con horario nocturno o el trabajo nocturno fijo, se relacionan con problemas de salud, como son los trastornos del sueño, enfermedades cardiovasculares, modificaciones del sistema inmunitario y algunos cánceres. (Superintendencia de Riesgos del Trabajo, 2023: 9).

En el trabajo rotativo o nocturno fijo, el tiempo laboral abarca mucho más que la jornada laboral, debido a que el empleado debe usar su tiempo fuera de la jornada para recuperarse, si puede, de una jornada que altera su ritmo biológico. Legalmente esto está de alguna manera contemplado en la legislación, al establecerse que una hora de trabajo nocturno equivale a una hora con ocho minutos del trabajo diurno.

El trabajo de campo consistió en encuestar empleados y directivos de empresas de la ciudad de San Francisco y región. La misma fue realizada en las mismas empresas interrogando a los empleados y directivos en su lugar de trabajo, se les preguntó edad, antigüedad, nivel educativo, composición familiar, si padecían dolores durante y luego del trabajo, si tenían dificultades para dormir, qué actividades les agradaban y desagradaban, en qué momentos eran más y menos productivos, qué actividades realizaban en su horario extralaboral, su horario de trabajo, si les gustaría un horario nocturno y si les gustaría realizar pausas activas.

Se comparan los resultados de tres empresas industriales:

I -Microempresa metalúrgica de seis empleados, fabricante de tinglados y galpones, con puestos de trabajo con mucha exigencia física, como soldar, levantar vigas, e instalar estructuras al aire libre en zonas rurales, lo que justifica mano de obra joven y dolores principalmente de cintura, con horarios fijos estacionales, en este caso se ha encuestado a todo el personal.

II -Pequeña empresa de insumos electrónicos de diecinueve empleados, fabricante de tableros para maquinaria agrícola, con puestos de trabajo de diseño y fabricación de productos eléctricos y electrónicos, que exige mano de obra muy capacitada, con horarios fijos diversificados, se ha encuestado al 42% del personal de manera aleatoria, lo que representa a todo el personal.

III -Mediana empresa metalúrgica de doscientos veinte empleados, fabricante de cocinas a gas, con puestos de trabajo especializados sobre cinta transportadora, con horarios a turnos rotativos semanales abarcando una hora de trabajo nocturno, se ha encuestado al 4 % de los empleados, lo que no representa al universo de los empleados de la empresa.

Tabla 1. Comparación de resultados de encuesta por empresa

Empresas:	I	II	III
Horas semanales:	44	34	42,30
Edad promedio (años):	29	32	37
Antigüedad promedio (años):	4	7,6	11
Nivel educativo máximo:	17% Secundario	25% Superior	12,5% Superior
Otra actividad:	60% Otro trabajo	75% Estudia	50% Otro trabajo
Molestia:	33% Calor y altura	14% Interrupciones	25% Horarios
Dolores principales:	50% Cintura	13% Ojos	38% Extremidades
Problemas para dormir:	0%	37%	12,5%
Actividad física:	33%	62%	75%
Dolores entre los que realizan actividad física:	0%	40%	0%
Problemas de sueño en los que realizan actividad física:	0%	0%	0%

-En la microempresa (I), se puede ver que tiene el horario más extendido, se ha dicho que es un horario fijo estacional porque en invierno es de 8 a 17 horas, pero en verano es 6 a 15 horas, de lunes a jueves, el viernes es una hora menos, las nueve horas diarias de lunes a jueves incorporan las 4 horas que corresponderían al sábado, de forma que el horario del sábado se reparte entre lunes y jueves. Esta modalidad se usa en las tres empresas estudiadas, ninguna trabaja el sábado. El cambio estacional en la microempresa se justifica porque la instalación de tinglados y galpones en el campo se hace al aire libre bajo la inclemencia del calor, por lo que se empieza la jornada más temprano. El trabajar agachados para soldar, junto a levantar y arrastrar carga causa el dolor de cintura que manifiestan los empleados. Es un trabajo de poca capacitación lo que se ve en el nivel educativo de los empleados. No obstante el esfuerzo físico, de las tres empresas, ésta es la única que no presenta alteraciones del sueño.

-La pequeña empresa (II) tiene cuatro horarios de trabajo fijos diversos según los puestos: 46,30; 41; 30 y 20 horas. Esta empresa tiene puestos que exigen un alto nivel de capacitación, y si bien ninguno tiene otro trabajo, el 75 % de los encuestados estudia aparte de trabajar, el estudio y el puesto de trabajo en electrónica, son actividades de esfuerzo visual, lo que explica que es la única empresa donde los trabajadores manifiestan dolor en los ojos.

-La mediana empresa (III) es la única con turnos rotativos, con dos turnos, uno matutino de 6 a 14:30 horas y uno vespertino de 14:30 a 23:00 horas, cada turno trabaja 8 horas y media de lunes a viernes. También esta empresa tiene un turno fijo para la Administración de 7:15 a 16:15 horas. Se podría pensar que estos empleados con turnos rotativos, con el vespertino que incluye una hora de trabajo nocturno, tendrían más problemas para dormir, y si bien existen, no es la empresa con más problemas, sí hay que señalar que es la única empresa donde los empleados se quejan del horario, específicamente por ser rotativo. Esto es lógico, porque este horario variable altera la vida extralaboral de los empleados, ya que es difícil poder organizar actividades fuera del trabajo con horarios que cambian cada semana.

Acerca de la relación entre rendimiento y horarios de trabajo, la misma se trató de establecer de manera subjetiva a través de la opinión de los directivos de las tres empresas, hubo coincidencia que los días martes y miércoles son más productivos para el personal, esto coincide con un estudio de campo sobre una fábrica textil realizado por uno de los padres de la Sociología, Max Weber. (Weber, 1908: 150-154). Las razones serían que el lunes, implica un descanso de las actividades del fin de semana, y el jueves y el viernes son días donde se nota ya el cansancio de la semana. En cuanto a los horarios, la microempresa y la pequeña empresa coinciden en la

media mañana, como el horario más productivo, lo cual también coincide con el estudio citado. (Weber, 1908: 142).

Conclusiones

Si bien no se ha notado una reducción de la jornada laboral, al menos desde los últimos veinte años, se observa, como en el caso de las las empresas estudiadas, un reacomodamiento de la jornada consistente en trabajar más de lunes a viernes, para evitar trabajar los sábados. Se corrobora que el trabajo a turnos es más común en las empresas grandes y también el malestar que genera esta modalidad, se destaca la nula predisposición de los empleados a trabajar en horario nocturno, ya que todos respondieron en la encuesta que preferirían no hacerlo. Lo que une a las tres empresas estudiadas es que los empleados que realizan alguna actividad física, en su vida extralaboral, no presenta problemas para dormir y casi no se quejan de padecer dolores durante o luego del trabajo. También más del 90 % de los encuestados está de acuerdo con la implementación de pausas activas, por lo que el Proyecto continuaría con una intervención en las empresas para implementar las mismas, con la idea que los empleados puedan por sí mismos realizar ejercicios reconstitutivos cuando lo deseen. La encuesta aquí presentada seguirá usándose para sumar empresas industriales al censo sobre modalidad de horarios y sus efectos.

Agradecimientos

Esta investigación es posible por los empresarios y empleados que permiten ser encuestados y abren sus empresas, alterando momentáneamente el ritmo de producción. También se agradece a la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Facultad Regional San Francisco, por su apoyo constante a los grupos de investigación y a la Universidad Tecnológica Nacional, por el financiamiento del Proyecto del que forma parte este trabajo.

Referencias

- Fernández Franco, F., & Lo Vuolo, R. (2022). "La reducción de los tiempos de trabajo en el empleo. Una política ignorada en la agenda pública." Documento N° 110, Documentos de Trabajo CIEPP. Disponible en: <https://www.ciepp.org.ar/images/ciepp/docstrabajo/Documento_110.pdf>
- Grané, M. (2021). "La Jornada laboral y el tiempo libre a través de las revoluciones". Tesis (Licenciatura en Psicología) Pontificia Universidad Católica Argentina, Disponible en: <https://repositorio.uca.edu.ar/handle/123456789/12399>>
- London, J. (1906). *El apóstata*. Disponible en: <<https://cesarcallejas.wordpress.com/wp-content/uploads/2020/02/el-apostata.pdf>>
- Organización Mundial de la Salud. (2021) "Las largas jornadas de trabajo pueden aumentar las muertes por enfermedades cardíacas y accidentes cerebrovasculares." Disponible en: <<https://www.who.int/es/news/item/17-05-2021-long-working-hours-increasing-deaths-from-heart-disease-and-stroke-who>>
ilo#:~:text=El%20estudio%20concluye%20que%20trabajar%2055%20horas%20o,la%20poblaci%C3%
%B3n%20mundial%20trabaja%20muchas%20horas%20al%20d%C3%ADa.>
- Weber, M. (1908) "Psicofísica del trabajo industrial". En: *Sociología del Trabajo Industrial*. Madrid: Editorial Trotta, 225.

Análisis de la emisión acústica producida en probetas de material compuesto reforzado con fibras de vidrio

Analysis of the acoustic emission produced in glass-fibre-reinforced composite specimens

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Ernesto Gallo

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Delta, Departamento de Mecánica, Argentina.
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Delta, Grupo de Emisión Acústica y Departamento de Ingeniería Mecánica, Argentina.
egallo@frd.utn.edu.ar

Guido Ferrari

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Delta, Departamento de Mecánica, Argentina.
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Delta, Grupo de Emisión Acústica y Departamento de Ingeniería Mecánica, Argentina.
gferrari@frd.utn.edu.ar

Martín Pedro Gómez

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Delta, Departamento de Mecánica, Argentina.
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Delta, Grupo de Emisión Acústica y Departamento de Ingeniería Mecánica, Argentina.
Dpto. ICES, GDTyPE, GAIDI, CAC, Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina.
mgomez@frd.utn.edu.ar

Resumen

La Emisión Acústica (EA) es un método de Ensayo no-destructivo (END) basado en la medición de ondas elásticas emitidas por fuentes intrínsecas al material cuando este es sometido a una sollicitación, lo que permite utilizarla para el análisis de componentes mecánicos.

En este trabajo se ensayaron probetas de resina polimérica reforzadas con fibra de vidrio. Así, se estudió la emisión EA generada por eventos que se producen por un deterioro dentro del material durante la aplicación de una carga, en este caso de manera secuencial. Las señales de EA medidas fueron parametrizadas y filtradas para identificar la información perteneciente a los diferentes procesos internos, y nivel de carga.

Se analizaron parámetros vinculados con la tasa de EA, correlacionados con los niveles carga mecánica. Los resultados muestran una diferencia en la tasa de emisión en niveles altos de carga, lo que indica la posibilidad de utilizar la metodología de END de EA en componentes de materiales compuestos para indicar su estado estructural en función de la carga.

Palabras clave: Materiales compuestos, Emisión acústica, Ensayos no destructivos

Abstract

Acoustic Emission (AE) is a non-destructive testing (NDT) method based on the measurement of elastic waves emitted by intrinsic sources within the material when it is subjected to a load, allowing it to be used for the analysis of mechanical components. In this work, polymer resin specimens reinforced with fiberglass were tested. Thus, the AE emission generated by events that cause deterioration within the material during the sequential application of a load was studied. The AE signals were parameterized and filtered to identify the

information pertaining to the different internal processes and load levels. Parameters related to the AE rate, correlated with mechanical load levels, were analyzed. The results show a difference in the emission rate at high load levels, suggesting the use of the AE NDT methodology in composite material components to indicate their structural state as a function of the load.

Keywords: Composite materials, Acoustic emission, Non-destructive testing

Introducción

Los materiales compuestos contienen múltiples factores que determinan su capacidad resistente como material estructural. Adicionalmente a las características de los componentes (matriz y refuerzo), las características morfológicas como la proporción de la mezcla, orientación de las láminas y su compactación son determinantes de las características mecánicas (Barbero, 2017: 108-146). Un material compuesto, sometido a algún tipo de sollicitación mecánica (tracción, compresión, corte, etc.) produce una diversidad de eventos mecánicos internos que generan ondas elásticas ultrasónicas y que pueden ser registradas por un sistema de Emisión Acústica (Gómez, 2012).

La Emisión Acústica (EA) es un método de Ensayo No Destructivo (END) que ha demostrado importante utilidad en el análisis de procesos de degradación y de validación del estado estructural de componentes fabricados con materiales compuestos (ASTM E 1067, E 1118, F 1430/F1430M, STP 1139). Estas normas aplican al control y a la generación de criterios de aceptación y rechazo, en tanques, tuberías y pértigas de material compuesto. La EA se entiende físicamente como la liberación de energía elástica en un corto intervalo de tiempo debido a una redistribución de tensiones dentro del material. Las fuentes de EA dentro de un material compuesto con fibra y matriz polimérica pueden ser la microfRACTURA de la matriz, la delaminación de la fibra respecto de la matriz, el corte de fibra y otros procesos de degradación definidos en bibliografía para de este tipo de material (Barbero, 2017: 230-273). La energía elástica liberada por la fuente puede ser captada por sensores piezoeléctricos que transducen las ondas elásticas en señales eléctricas. A su vez estas señales pueden ser amplificadas y posteriormente digitalizadas, procesadas y almacenadas para su estudio. Esto es realizado por el dispositivo denominado sistema de EA. Algunos criterios para evaluar el estado de un componente mediante EA, están basados en los efectos Kaiser y Felicity. Estos efectos relacionan los niveles de carga alcanzada por el material y el comienzo de la EA en esos diferentes niveles de carga, pudiendo dar indicaciones del grado de daño impuesto a un nivel a una carga determinada. Otros criterios están basados en la emisión de EA durante un periodo de carga constante en función del tiempo, debido a que los mecanismos de fractura y degradación en estos materiales no son instantáneos, sino que en general son tiempo dependiente y tienden a silenciarse, si la tensión es distribuida homogéneamente y no se activan más mecanismos de degradación. Mientras que si la EA se mantiene a lo largo del tiempo con carga constante indica que existen fuentes activas de degradación a ese nivel de carga. También existen criterios de selección de señales que se asocian a diferentes mecanismos de rotura en base a sus frecuencias, amplitudes y cantidades de energía emitida. Por ejemplo, el libro ASTM STP 1139 relaciona las emisiones entre 40-60 dB de amplitud máxima, con la fractura de la matriz, mientras que las amplitudes entre 60-80 dB y 80-100 dB están relacionadas con la delaminación y el corte de fibra, respectivamente.

A nivel experimental, dentro del grupo de Grupo de Emisión Acústica de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Delta de Campana, (GEA-UTN-FRD) se trabaja en la aplicación de la metodología de EA para la experimentación en materiales y estructuras, monitoreo de componentes y estructuras de material compuesto, procesamiento y análisis de las señales EA utilizadas para monitoreo (Gallo et.al. 2023). En el presente trabajo se muestran los resultados iniciales de procedimientos propios del GEA para ensayo de materiales compuestos y el análisis de la EA, producto de una sollicitación a flexión. Para esto se construyeron probetas de resina epoxi reforzado con fibra de vidrio. La geometría seleccionada es de placa plana de medidas (60 mm x 300 mm x 3 mm) y se ensayaron en un dispositivo hidráulico que permite realizar un ensayo de flexión en 3 puntos. Este sistema así armado se encontraba instrumentado mediante un equipo de EA que registra las señales pertenecientes al ensayo. Luego de realizar el análisis de la EA durante los pasos incrementales de sollicitación mecánica, se utilizó las cuentas acumuladas y la tasa en función del tiempo como parámetros indicativos a relacionar con el estado del material ensayado, a medida que la tensión se aproxima a la condición de rotura. Los resultados muestran que las cuentas de EA acumuladas en cargas superiores al 90 % de la carga de rotura, se multiplican en un factor de 10 a más veces. A su vez la tasa de EA muestra la actividad de las fuentes durante esos periodos. Esto establece información muy útil para idear procedimientos de ensayo con umbrales

de sollicitación mecánica basados en señales de EA que se puedan relacionar con un estado de integridad estructural del material.

Desarrollo

Materiales

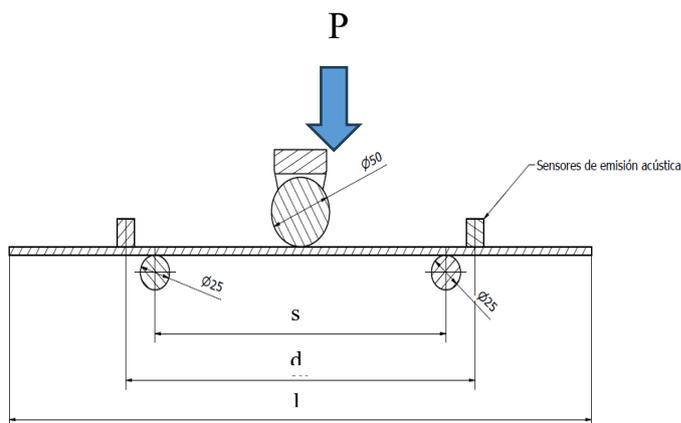
En los laboratorios del GEA, se fabricaron probetas laminadas de resina epoxi laminadas de forma manual, utilizando resina epoxi bicomponente DIPREG75 y fibra de vidrio unidireccional de 460 g/m². Se aplicaron 10 capas de este tejido orientado de forma longitudinal a la probeta. Para obtener una mayor proporción de fibra, una vez laminadas las probetas se colocaron en una prensa previa a la gelificación de la resina y se aplicó presión entre las placas hasta finalizar el curado. Cada una de las probetas se recortó en un pantógrafo, con una fresa a una dimensión definitiva de 300 x 60 mm con espesores de entre 3 a 3,5 mm

Dispositivo de flexión y adquisición de EA

Cada una de las probetas ensayadas fue sometida a ciclos incrementales de tensión aplicados en un sistema de flexión en tres puntos construido para tal fin en el GEA-UTN (Fig.1). Este dispositivo de flexión permite variar la distancia entre apoyos y aplicar la carga en el punto central de la probeta mediante un cilindro hidráulico accionado con una bomba manual. Una celda de carga situada en el émbolo del cilindro permite medir y posteriormente digitalizar la magnitud de la fuerza aplicada en todo momento para poder correlacionarla con las señales de EA.



a. Dispositivo de flexión.



b. Esquema de aplicación de cargas

Figura 1. Ensayo de flexión en 3 puntos.

Las medidas entre apoyos fueron de 150 mm (probeta A) y de 120 mm (probetas B y C). La tensión máxima promedio (1) en función de la sección de la probeta es proporcional a la carga central de tracción/compresión en el punto de aplicación de la carga, suponiendo un material homogéneo e isótropo:

$$\sigma_m = P \frac{3s}{2be^2} \quad (1)$$

La secuencia de carga escalonada, se diseñó para sollicitar al material en niveles de carga incremental respecto de la Carga de Rotura (CR) de la pieza. No todos los ensayos tienen la misma cantidad de secuencias escalonadas. La información de EA utilizada para el análisis corresponde en todos los casos a los intervalos de 10 minutos de duración de los últimos dos ciclos de carga, para cada probeta, antes de llegar a la CR de la misma, como muestra el esquema de la fig. 2. En la tabla 1 se indican las características geométricas de cada una de las probetas, el incremento de la carga central en cada etapa de carga y cuanto incrementa esa carga la tensión en las fibras más sollicitadas (ΔP es el valor de los intervalos de carga y $\Delta \sigma$ variación de la tensión máxima de la tensión en cada incremento).

Sistema de EA

El sistema de EA utilizado fue un equipo de marca PAC (Physical Acoustic Corp.) de 4 canales modelo DISP 4 PCI, con sensores de banda ancha marca modelo WD y preamplificadores mod. 2/4/6 ajustados en 40 dB. La EA se adquirió en ambos modos de parámetros y formas de onda. También se realizó el posicionamiento de las fuentes de EA. Los filtros pasa alto y bajo utilizados fueron de 100 kHz a 1 MHz, respectivamente y los parámetros de EA adquiridos fueron: Amplitud máxima, cuentas, rms, duración, energía MARSE, Rise time además de parámetros de frecuencia y la carga de flexión aplicada a la probeta.



Figura 2. Esquema de la secuencia de carga de las probetas con intervalos de carga constante de 10 minutos de duración.

Tabla 1. Probetas de material compuesto.

Geometría y configuración del ensayo*					
	l x b	e	s	ΔP	$\Delta \sigma$
	mm x mm	mm	mm	N	MPa
A	300x60	3,5	150	400	122,4
B	300x60	3	120	500	166,6
C	300x60	3	120	400	133,3

Análisis de la información

Se procesó la información paramétrica de EA asociada a los periodos de carga constante (10 minutos) durante la flexión aplicada sobre cada probeta. Si bien se analizaron varios de los parámetros de EA, en este trabajo se presenta un análisis de las cuentas de EA acumuladas en el tiempo y su tasa de emisión en función del tiempo. Los datos se filtraron en el rango de amplitudes de 40 a 60 dB. Con el objetivo de establecer un parámetro que permitiese cuantificar en el tiempo la variación de la actividad de las fuentes de emisión acústica. Se realizó la diferenciación numérica del parámetro cuentas de EA en función del tiempo, a fin de obtener la “tasa de emisión”, como el cociente de $\Delta \text{cuentas} / \Delta t$. Por lo tanto, se estableció que los valores de cuentas acumuladas se evalúan en periodos de tiempo constante de 1s, totalizando 600 periodos para los tramos de carga estacionaria de 10 min.

Cada uno de los hits de EA registrados con un número C de cuentas que se producen a un tiempo T se reemplazan por una curva de distribución normal con la forma:

$$dt = C_n \left(\frac{1}{10s \cdot \sqrt{2\pi}} \right) e^{-\frac{(t-T)^2}{(2.10s)^2}} \quad (2)$$

De esta manera un escalón en la curva de cuentas acumuladas se traduce en la curva de cuentas acumuladas equivalentes en la integral de una distribución normal centrada en el instante en que se registra el Hit de EA con una varianza de 10 s modulada para que, al avanzar el registro, su contribución sea igual a la cantidad de cuentas de evento. Esta función permite identificar los perfiles de la emisividad de la EA y correlacionarlo los mecanismos de degradación en estos materiales que son dependientes del tiempo y del grado de daño.

Resultados

En la figura 3 se muestran las gráficas de los resultados del parámetro cuentas acumuladas de EA para las probetas A, B y C, para las dos últimas secuencias de carga antes de llegar a la CR.

Para la probeta A, se observa un perfil de cuentas acumuladas de EA ya obtenido en trabajos anteriores (Gallo et al. 2024). Para las probetas B y C, la instancia de carga del 95% y 98% de CR respectivamente causan incrementos con pendiente positiva de emisión, lo que indica la acción de mecanismos de redistribución de tensiones que no se están estabilizando y decayendo en función del tiempo.

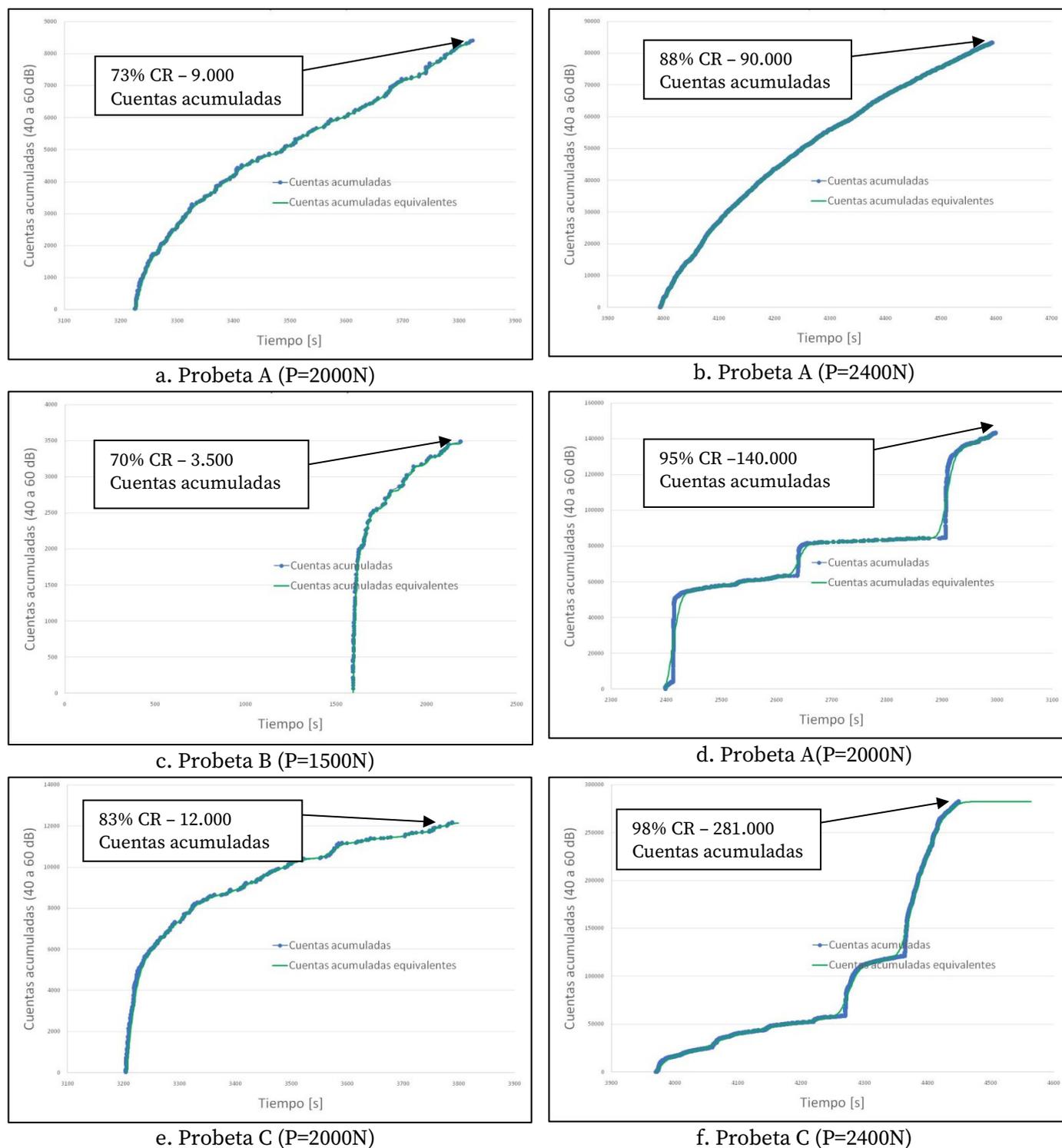


Figura 3. Cuentas acumuladas de EA para las probetas A, B y C evaluados en dos niveles de carga respecto de la CR.

En los tres casos A, B y C el periodo de carga del 88 al 98% de CR muestra un incremento en factores de 10 a 20 veces de emisión acumulada que para los periodos de carga del 70% al 83% de CR. En la Figura 4, se muestra la función de la tasa de emisión del parámetro de cuentas de AE para el estadio de carga más próximo a la CR. Estos perfiles muestran que durante los 600 s de esta secuencia de carga las probetas B y C desarrollaron instantes donde los mecanismos de degradación se replican de forma precipitada. La probeta A mostró una tasa de emisión estable.

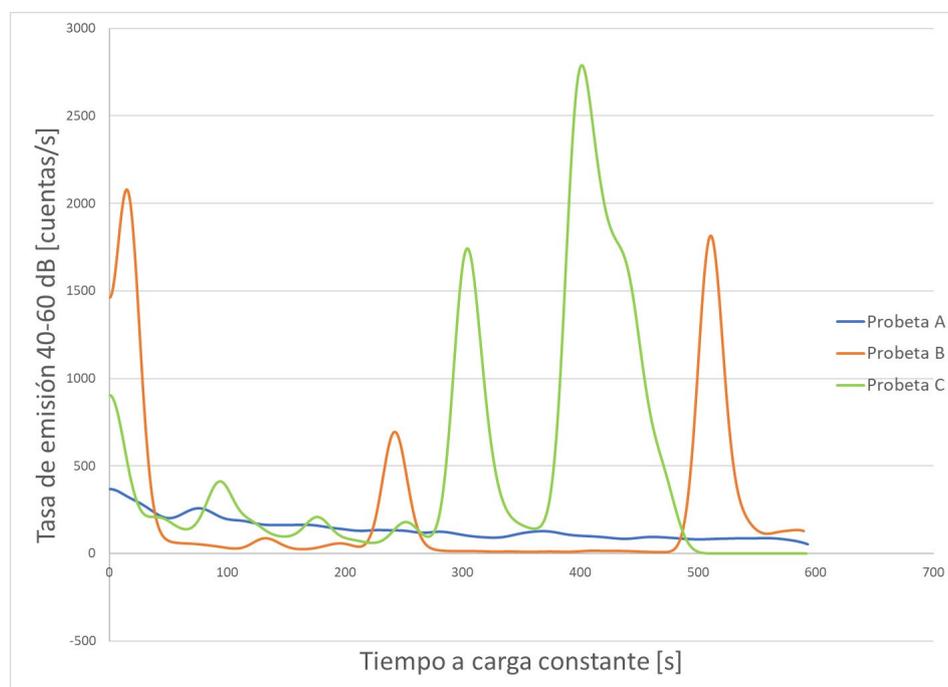


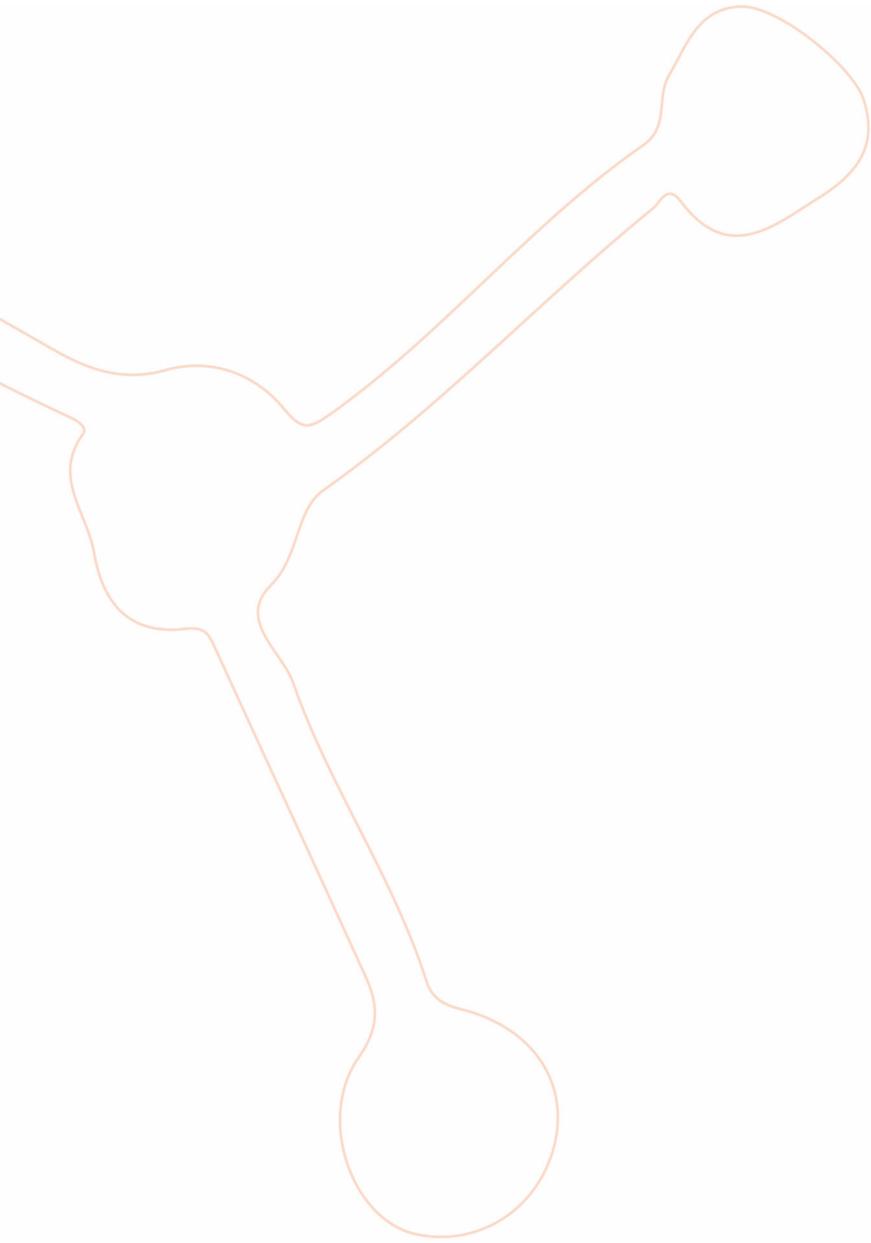
Figura 4. Tasa de Emisión de cuentas de EA para probetas A, B y C en estadio de carga más próximo a la CR.

Conclusiones

Los niveles de señales de EA pertenecientes a mecanismos de deterioro del material en el rango de 40 a 60 dB se incrementan en factores de 10 a 20 veces para una sollicitación mecánica del 88% al 98% de la CR, respecto de la emisión para cargas en el rango entre 70% y 83% de la CR. Esto indica la aparición de significativos mecanismos de degradación asociados a un nivel de carga cercano a la CR. Los perfiles del cálculo de tasa de emisión del parámetro cuentas de EA muestran en algunos casos repentinos momentos de emisión, careciendo de una clara atenuación de la EA para los niveles más altos de carga. Este comportamiento diferente entre las probetas A respecto de B y C se puede atribuir al cambio de configuración de ensayo correspondiente a los puntos de apoyo de las probetas.

Referencias

- ASTM E 1067 – 01 “Standard Practice for Acoustic Emission examination of Fiberglass Reinforced Plastic Resin (FRP) Tanks/Vessels”.
- ASTM E 1118 – 00 “Standard Practice for Acoustic Emission examination of Reinforced Thermosetting Resin Pipe”.
- ASTM F1430/F1430M – 15 “Standard Test Method for Acoustic Emission Testing of Insulated and Non-Insulated Aerial Personnel Devices with Supplemental Load Handling Attachments”.
- ASTM STP 1139 “Acoustic Emission Testing of Aerial Devices and Associated equipment Used in the Utility Industries”.
- M.P. Gómez. (2012) “Fundamentos de la Emisión Acústica”. CNEA – UTN FRD- UNSAM.
- Ever J. Barbero (2017), “Introduction to composite materials” CRC Press, Boca Raton.
- Gallo, E.A., Ferrari, G.C. , Gomez, M.P., (2023) “Caracterización por emisión acústica de materiales compuestos PRFV sometidos a flexión”. CORENDE XIV



Ingeniería Electrónica



Dispositivo indicador de limpieza de paneles fotovoltaicos por medición de deposición de partículas.

Device for Indicating Photovoltaic Panel Cleaning by Measuring Particle Deposition.

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

José Giménez

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Reconquista, Argentina.
gimenezjoseignacio@hotmail.com

Lucas Snaider

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Reconquista, Argentina.
lucassnaider96@gmail.com

Mario Ros

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Reconquista, Argentina.
marirossolar@gmail.com

Resumen

Este trabajo trata sobre la pérdida de potencia instantánea que entrega un panel FV ante la presencia de deposición de partículas ambientales en su superficie y en un dispositivo capaz de censar la suciedad mediante un sensor óptico diseñado para detectar dichas partículas de polvo y así emitir una señal programada de aviso para su limpieza. El dispositivo propuesto consta de un diodo emisor de infrarrojos con un fototransistor, que se encuentran dispuestos diagonalmente, para que pueda detectar la luz reflejada del polvo en el aire. El sensor posee una salida analógica de voltaje lineal y proporcional a la cantidad de polvo detectado (densidad de polvo mg/m^3). La sensibilidad del sensor es de 0.5V por cada 0.1mg de polvo por metro cúbico.

Palabras clave: Irradiancia solar, Limpieza de paneles fotovoltaicos.

Abstract

This work deals with the instantaneous power loss delivered by a PV panel in the presence of environmental particle deposition on its surface and a device capable of sensing dirt through an optical sensor designed to detect such dust particles and thus emit a programmed alert signal for cleaning. The proposed device consists of an infrared emitting diode with a phototransistor, which are arranged diagonally, so it can detect the light reflected from the dust in the air. The sensor has an analog voltage output that is linear and proportional to the amount of dust detected (dust density mg/m^3). The sensor's sensitivity is 0.5V for every 0.1mg of dust per cubic meter.

Keywords: Irradiance solar, Photovoltaic Panel Cleaning.

Introducción

La célula fotovoltaica tradicional de silicio genera energía eléctrica a partir de la irradiancia captada, la cual se manifiesta a través del valor de corriente generada y presente esta como variable en el valor de potencia que entrega un panel fotovoltaico (Aparicio, 2015). Debido a una capa uniforme depositada en toda la superficie del panel, como ser una capa de polvo, disminuye la irradiancia que llega a la celda fotovoltaica y por consiguiente también disminuye la potencia instantánea generada.

Por tal motivo se plantea un dispositivo que sea capaz de censar la suciedad de los paneles y calcular la pérdida de energía que se produce, de esta manera se podrá monitorear la suciedad que poseen los paneles solares y tomar acciones correspondientes al nivel de mugre que se presente.

Desarrollo

Unos de los elementos principales de una instalación fotovoltaica es el panel fotovoltaico, este se compone de células o celdas fotovoltaicas de silicio dopado (células tradicionales) tipo N y tipo P, comportándose como un diodo (figura 1). La parte o cara expuesta al Sol es la Tipo N, que es la que posee exceso de electrones libres y que son los que circulan para generar la corriente eléctrica cuando interaccionan con los fotones de la luz solar.

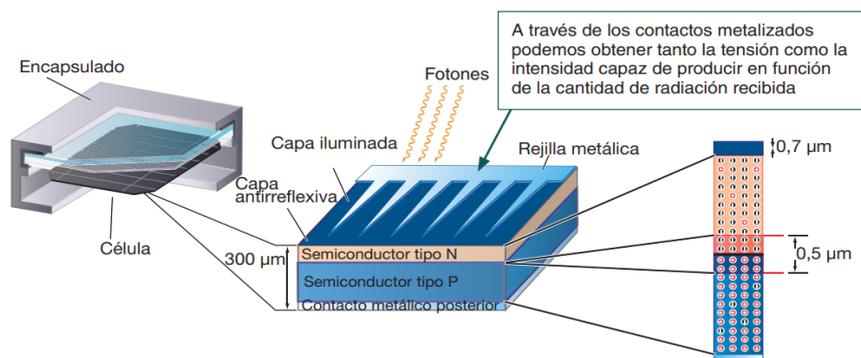


Figura 1, estructura de una célula fotovoltaica.

La célula fotovoltaica tradicional trabaja en el espectro de la luz visible más una porción del rango del ultravioleta (Meinel, A.B. y Meinel M.P., 1982), es decir, solamente capta la radiación que se encuentra en entre los 300nm y 700nm de longitud de onda. El funcionamiento de la célula fotovoltaica se caracteriza mediante la curva I-V (Corriente - Voltaje) en función de la irradiancia que recibe la célula (Alvarez, 2019), como se observa en la figura 2 siguiente:

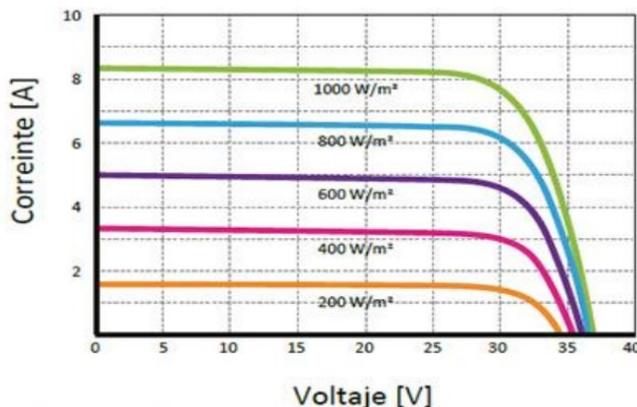


Figura 2, curvas características de los módulos FV en función a distintos valores de irradiancia y a una temperatura de 25°C.

De las curvas representadas en la figura 2 se aprecia como el valor de la corriente generada por un módulo fotovoltaico de 72 celdas depende del nivel de irradiancia recibida, donde se define a la irradiancia como la cantidad de energía radiante que llega a una superficie en un período de tiempo específico, es decir que la magnitud de la irradiancia depende de hora del día, del día en el año y de las condiciones climáticas locales.

En función a lo descripto, si un panel fotovoltaico posee una capa de suciedad, a la misma se la puede interpretar como una resistencia al paso de la radiación solar (Cepeda, J. y Sierra, A., 2017) y en base a la figura anterior si el valor de irradiancia se ve disminuido lo hará también el valor de corriente y por ende de la potencia instantánea generada. Para corroborar la hipótesis propuesta se tomó en estudio una instalación fotovoltaica fija conformada por 4 paneles de 270Wp de marca Jinko 260-280 Eagle 60 de celdas policristalinas, donde se observa dos paneles FV limpios y dos con dicha capa de suciedad para apreciar la diferencia en ambos estados, ver la figura 3 siguiente.



Figura 3, Instalación fotovoltaica con dos paneles limpios (izquierda) y dos con una capa de polvo (derecha).

En la imagen fotográfica de la figura 4 siguiente se observa el frente del inversor On-grid empleado para la instalación fotovoltaica fija en estudio:



Figura 4, Imagen del inversor correspondiente a la instalación FV.

Se ha efectuado a registrar el valor de potencia instantánea entregada por la instalación a las 12hs, antes de efectuar la limpieza, donde se aprecia que el valor de la potencia instantánea de entrada al inversor es de 826 [W], ver la imagen fotográfica de la figura 5 siguiente:



Figura 5 y 6, Imagen del valor de potencia instantánea de entrada del inversor correspondiente a la instalación con una capa de polvos y la otra en estado limpio respectivamente.

Luego se pasó a registrar el valor de potencia instantánea entregada por la instalación minutos después de efectuar la limpieza, cuyo valor fue de 871 [W], se aprecia dicho valor en la imagen fotográfica de la figura 6 anterior.

Lo que se propone es medir la suciedad es mediante un sensor de polvo compatible con la programación en C. El sensor por el que se optó es el Sharp's GP2Y1010AU0F, es un sensor óptico de calidad del aire diseñado para detectar partículas de polvo. Un diodo emisor de infrarrojos con un fototransistor están dispuestos diagonalmente en este dispositivo, para que pueda de esta manera detectar la luz reflejada del polvo en el aire.



Figura 7, sensor Sharp's GP2Y1010AU0F.

Especificaciones técnicas:

- Voltaje de Operación: 5V DC
- Consumo de energía: 11 mA (máx. 20 mA)
- Salida de voltaje analógico proporcional a la concentración de polvo
- Rango de detección (densidad de polvo: $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (typ.): 0-600
- Sensibilidad: 0.5V / ($0.1\text{mg}/\text{m}^3$)
- Tensión de salida sin polvo: típica 0,9 V
- Temperatura de funcionamiento: -10 a +65 ° C
- Dimensiones (mm): 46x30x17.6 mm
- Peso: 16 gramos

La señal medida por este sensor es procesada por una estación meteorológica fabricada en el Grupo de Diseño mecánico de FRRQ-UTN, en base a ESP32 la cual funciona también como controlador central, figura 8.

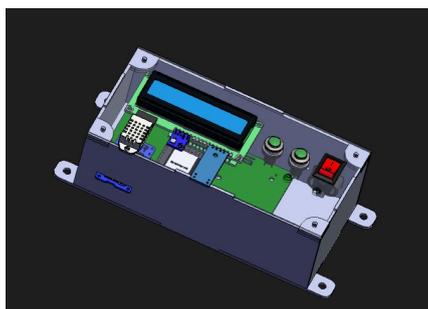


Figura 8, modelo de prototipo de estación meteorológica para paneles.

Con el sensor propuesto se realizaron las siguientes pruebas:

1. El sensor se testea en un ambiente controlado como en una oficina (interior):

Se puede apreciar, en la figura 9, que la densidad de partículas en el interior con luz de oficina fue de un promedio de $0,03 \text{ mg}/\text{m}^3$.

```

- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 43774.87
Raw Signal Value (0-1023): 79.00 - Voltage: 0.39 - Dust Density(mg/m3): -0.03
- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 42017.06
Raw Signal Value (0-1023): 62.00 - Voltage: 0.30 - Dust Density(mg/m3): -0.05
- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 32056.13
Raw Signal Value (0-1023): 86.00 - Voltage: 0.42 - Dust Density(mg/m3): -0.03
- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 46118.62
Raw Signal Value (0-1023): 85.00 - Voltage: 0.42 - Dust Density(mg/m3): -0.03
- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 45532.69
Raw Signal Value (0-1023): 68.00 - Voltage: 0.33 - Dust Density(mg/m3): -0.04
- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 35571.75
Raw Signal Value (0-1023): 73.00 - Voltage: 0.36 - Dust Density(mg/m3): -0.04
- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 38501.44
Raw Signal Value (0-1023): 71.00 - Voltage: 0.35 - Dust Density(mg/m3): -0.04
- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 37329.56
    
```

Figura 9, medición de la densidad de tierra captada por el sensor cuando está limpio en el interior en mg/m³.

2. Luego se procedió a realizar las mediciones en campo (exterior) a las 2hs p.m. en invierno en un día despejado o claro, dando los siguientes resultados mostrados en la figura 10 siguiente:

Se puede apreciar que la variación de las mediciones en campo (exterior) no fue significativa respecto a la prueba en el interior.

```

- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 37915.50
Raw Signal Value (0-1023): 77.00 - Voltage: 0.38 - Dust Density(mg/m3): -0.04
- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 40845.19
Raw Signal Value (0-1023): 79.00 - Voltage: 0.39 - Dust Density(mg/m3): -0.03
- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 42017.06
Raw Signal Value (0-1023): 75.00 - Voltage: 0.37 - Dust Density(mg/m3): -0.04
- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 39673.31
Raw Signal Value (0-1023): 66.00 - Voltage: 0.32 - Dust Density(mg/m3): -0.05
- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 34399.87
Raw Signal Value (0-1023): 65.00 - Voltage: 0.32 - Dust Density(mg/m3): -0.05
- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 33813.94
Raw Signal Value (0-1023): 72.00 - Voltage: 0.35 - Dust Density(mg/m3): -0.04
- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 37915.50
Raw Signal Value (0-1023): 67.00 - Voltage: 0.33 - Dust Density(mg/m3): -0.04
- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 34885.81
    
```

Figura 10, medición de la densidad de tierra captada por el sensor cuando está limpio en el exterior en mg/m³.

3. Se procedió luego a dejar el sensor en el exterior y ensuciarlo de manera manual a un nivel parecido al de los paneles FV en campo y se observaron las siguientes lecturas mostradas en la figura 11 siguiente:

4.

```

Raw Signal Value (0-1023): 758.00 - Voltage: 3.70 - Dust Density(mg/m3) 0.53
- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 439868.62
Raw Signal Value (0-1023): 758.00 - Voltage: 3.70 - Dust Density(mg/m3) 0.53
- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 439868.62
Raw Signal Value (0-1023): 758.00 - Voltage: 3.70 - Dust Density(mg/m3) 0.53
- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 439868.62
Raw Signal Value (0-1023): 758.00 - Voltage: 3.70 - Dust Density(mg/m3) 0.53
- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 439868.62
Raw Signal Value (0-1023): 758.00 - Voltage: 3.70 - Dust Density(mg/m3) 0.53
- PM 0.5(particulas/0.01 pie3): 439868.62
    
```

Figura 11, medición de la densidad de tierra captada por el sensor cuando está sucio en mg/m³.

Como condición de acción se tomaría un aumento por encima de 0,5mg/m³ de partículas medidas por el sensor, en horario del mediodía como condición, para dar acción de limpieza.

Conclusiones

De esta manera se puede concluir que cuando el sensor capta una densidad de polvo de $0,5 \text{ mg/m}^3$ la pérdida de potencia instantánea entregada por los paneles FV se reduce aproximadamente en un 5%. Este valor de densidad de polvo sería la condición necesaria para generar un aviso de ejecución de limpieza, donde esta puede ser realizada por un sistema automático.

Referencias

- Alvarez, M. (2019). Estudio de las células y paneles de una instalación fotovoltaica. *Estudio de las células y paneles de una instalación fotovoltaica*. Valladolid, Valladolid, España: Universidad de Valladolid.
- Aparicio, M. P. (2015). *Energía solar fotovoltaica: cálculo de una instalación aislada*. Madrid: Editorial Marcombo.
- Cepeda, J. y Sierra, A. (2017). Aspectos que afectan la eficiencia en los paneles fotovoltaicos y sus potenciales soluciones. *Trabajo final de grado*. Santo Tomás, Jaen, España: Universidad Santo Tomás.
- Meinel, A.B. y Meinel M.P. (1982). *Aplicaciones de la energía solar*. Editorial Reverté S.A.

Diseño de C.I. neuronal híbrido para robot de enjambre en exploración espacial

I.C. Design hybrid neural for swarm robot in space exploration

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Rubén Roberto Navarro

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Tucumán, Argentina
rubenrobertonavarro@gmail.com

Juan Carlos Colombo

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Tucumán, Argentina
colombojcc@gmail.com

Rubén Egea

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Tucumán, Argentina
rubenegea@hotmail.com

Resumen

En este trabajo se plantea el diseño de un C.I con red neuronal híbrida para su utilización en robots de enjambre que realizan misiones de exploración espacial. Siendo una aplicación de los trabajos realizados en el proyecto de investigación “optimización de sistemas de inteligencia artificial basados en deep learning con dispositivos nanoelectrónicos híbridos, analógicos y digitales”.

Este circuito integrado presenta una serie de ventajas con respecto a la implementación de las redes neuronales con computación digital exclusivamente ya que se disminuye drásticamente el número de componentes necesarios para su fabricación con la consiguiente disminución del área de silicio utilizada en el circuito integrado, disipación de potencia y consumo de corriente.

Estas mejoras permitirían la posibilidad de que se realicen tareas tales como el entrenamiento in situ de la red neuronal, mejorando de esta manera el comportamiento emergente del enjambre de forma tal de tener una adaptación más rápida e inteligente de los robots al entorno.

Palabras clave: Inteligencia Artificial, SoC, Robótica Enjambre, Exploración Espacial, Comportamiento emergente

Abstract

In this work, the design of a C.I with a hybrid neural network is proposed for use in swarm robots that carry out space exploration missions. Being an application of the work carried out in the research project “optimization of artificial intelligence systems based on deep learning with hybrid, analog and digital nanoelectronic devices”.

This integrated circuit presents a series of advantages with respect to the implementation of neural networks with digital computing exclusively since the number of components necessary for its manufacture is drastically reduced with the consequent decrease in the silicon area used in the integrated circuit, heat dissipation. power and current consumption.

These improvements would allow the possibility of carrying out tasks such as in situ training of the neural network, thus improving the emergent behavior of the swarm in such a way as to have a faster and more intelligent adaptation of the robots to the environment.

Keywords: Artificial Intelligence, SoC, Swarm Robotics, Space Exploration, Emergent Behavior

Introducción

En los últimos años se puede observar que se ha producido un resurgimiento de la investigación aeroespacial por múltiples factores siendo uno de los más importantes el resurgimiento de la rivalidad entre occidente

compuesto por EE. UU y la unión europea y por el otro lado Rusia y China. Además, la cada vez mayor escasez de recursos naturales también se está convirtiendo en un potente motor que impulsa la búsqueda de valiosos recursos en el espacio.

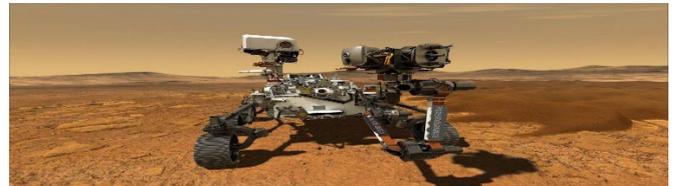
Sin embargo la exploración espacial presenta numerosos riesgos y desafíos por lo que las misiones de exploración robótica se están haciendo más frecuentes ya que estas no implican el riesgo de pérdida de vidas humanas con el respectivo impacto negativo para la correspondiente agencia espacial.

Estas misiones presentan muchos inconvenientes por un lado los robots deben operar en forma autónoma sin la intervención constante de un control en tierra, dado que por ejemplo cualquier orden enviada desde la tierra a un robot en Marte tiene un retardo de 4,5 minutos con lo que si consideramos el tiempo de retorno el centro de control tendrá un tiempo ciego de 9 minutos.

Por el otro tenemos condiciones ambientales extremas que incluyen un alto vacío, radiación electromagnética, altas temperaturas (450 grados en Venus), temperaturas extremadamente bajas (- 270 grados en el vacío), ambientes corrosivos como por ejemplo Venus con sus lluvias de ácido sulfúrico, etc. Finalmente, el robot no dispone de apoyo en el caso de una falla o accidente, por lo que hasta una falla menor puede poner en riesgo la misión y los miles de millones de dólares que se han invertido en ella.



a. Robot Lunokov I URSS.



b. Robot rover perseverance.

Figura 1. Robots de exploración espacial.

Uno de los países pioneros en la utilización de robots para exploración espacial fue Rusia comenzando su uso en la exploración de la Luna con el robot Lunokov I que se muestra en la imagen 1a, este era un vehículo lunar con ocho ruedas motrices independientes, formado por un compartimento en forma de bañera coronado con una gran tapa convexa.

Estaba equipado con una antena en forma de cono, una antena helicoidal altamente direccional, cuatro cámaras de televisión, y dispositivos extensibles especiales para realizar ensayos de densidad. De este modelo hasta la actualidad se ha producido un enorme desarrollo en la complejidad y funciones de los robots. El rover Perseverance que se usará en la próxima misión en Marte se muestra en la figura 1b, mide 3 metros de largo, 2,7 metros de ancho y pesa 1.043 kilos. Tiene un sistema de visión de 23 cámaras, dos micrófonos de alta sensibilidad para escuchar los sonidos de Marte, un complejo laboratorio con 7 instrumentos científicos y un brazo robótico de dos metros. A pesar de los grandes avances producidos en las misiones de exploración espacial de robot único estas presentan una serie de limitaciones entre las que podemos citar:

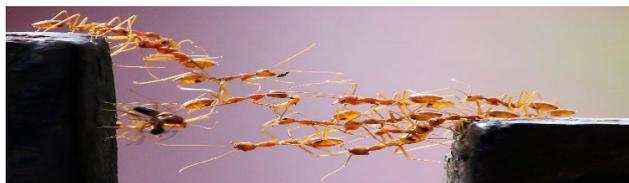
- **Poca Autonomía:** Estos robots tienen una alta dependencia del centro de control limitando sus prestaciones.
- **Tiempo Ciegos:** El tiempo de retardo de la información desde y hasta el centro de control puede ser catastrófico ya que en el mismo se pueden producir eventos que afecten la misión.
- **Bajo rendimiento:** Dado los tiempos ciegos se debe limitar las operaciones realizadas a un mínimo de forma tal de no arriesgar la misión.
- **Condiciones dinámicas:** dado que el clima puede variar en forma imprevista y en segundos a lo largo de la misión se constituye en un riesgo permanente para la misma.
- **Alta vulnerabilidad:** La falla de cualquier elemento o sistema del robot puede implicar el fracaso de la misión.

Es por ello que se están realizando diversas investigaciones para solucionar estas deficiencias siendo uno de los campos más prometedores la utilización de la robótica de enjambre.

Desarrollo

La robótica de enjambre es un campo de investigación dentro de la inteligencia artificial. Esta rama de investigación estudia el desarrollo de nuevos mecanismos de organización y coordinación descentralizados y distribuidos de múltiples entidades robóticas. Basándose en los comportamientos que se observan en la naturaleza sobre todo con los insectos tales como hormigas o abejas. Estas entidades robóticas son relativamente

simples y tienen capacidades de comunicación entre si donde se busca que el comportamiento del conjunto produzca un comportamiento emergente es decir un comportamiento superior que el que se puede obtener con cada uno de los individuos.



a. Hormigas formando un puente.



b. Hormigas formando una balsa.

Figura 2. Ejemplos de comportamiento emergente en la naturaleza.

Por ejemplo, una hormiga sola no puede cruzar un río, pero un conjunto de ellas puede formar un puente como se muestra en la figura 2a o incluso armar una balsa con sus propios cuerpos para cruzar el mismo como se ve en la figura 2b. De esta manera se obtienen comportamientos colectivos inteligentes a través de la interacción de cada uno de los individuos del enjambre y con el entorno. Por otro lado, la robótica de enjambre presenta una serie de ventajas frente al concepto de robot único que son:

- **Escalabilidad:** Si se sustraen o se aumentan entidades robóticas al enjambre este no pierde su capacidad de actuación
- **Inteligencia colectiva:** El enjambre presenta en su conjunto un comportamiento más inteligente que las capacidades de cada una de las entidades robóticas aisladas.
- **Autoorganización:** Las entidades robóticas del enjambre se organizan entre sí para poder llevar a cabo las tareas colectivas asignadas.
- **Resiliencia:** La pérdida de individuos del enjambre no implica que el mismo deje de efectuar la tarea colectiva asignada

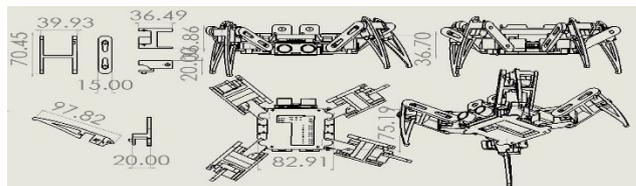
La exploración espacial con robótica de enjambre hace uso de las capacidades de los enjambres de robots anteriormente citadas para planificar, coordinar y ejecutar misiones en las superficies de diferentes planetas, lunas y cuerpos celestes. Las propiedades del enjambre garantizan la exploración con niveles de resiliencia, magnitud y alcance totalmente nuevos. También plantea grandes desafíos sobre todo en el manejo de los altos niveles de complejidad que implica su programación.

Diseño del robot de enjambre

El robot que se utilizara para la implementación del enjambre, debe ser un robot simple con una capacidad de procesamiento y consumo de energía mínimo además de poseer funciones de comunicación. Por eso se ha tomado como base un SoC ESP32 para controlar un robot araña de 4 patas que se fabricara con una impresora 3D como se muestra en la fig. 3.



a. Modelo 3D robot.



b. Planos de fabricación.

Figura 3. Diseño del robot araña.

Cada pata tendrá tres servomotores para el control de su movimiento, estos servomotores serán del tipo SG90 los cuales tienen una capacidad de 1.5 Kg de torque para que pueda desplazarse en diferentes ambientes.

Dispone además de tres emisores de ultrasonido para determinar los obstáculos del entorno. Donde para la comunicación entre los individuos del enjambre se utiliza el protocolo ESP NOW y para el envío de la información de estado de cada uno de los individuos del enjambre se utiliza la red wifi.

C.I. Neuronal Hibrido

El ESP32 se comunica mediante un puerto I2C con el circuito integrado neuronal hibrido como se ve en la fig. 4 enviando la información obtenida de los sensores y recibiendo como respuesta las correspondientes acciones a realizar. En una primera etapa para las pruebas de robótica de enjambre se va a realizar un modelado de tarea

de agregación. Esta tarea consiste en la agregación de un enjambre de robots dispersos en el entorno utilizando la información de sus sensores locales.

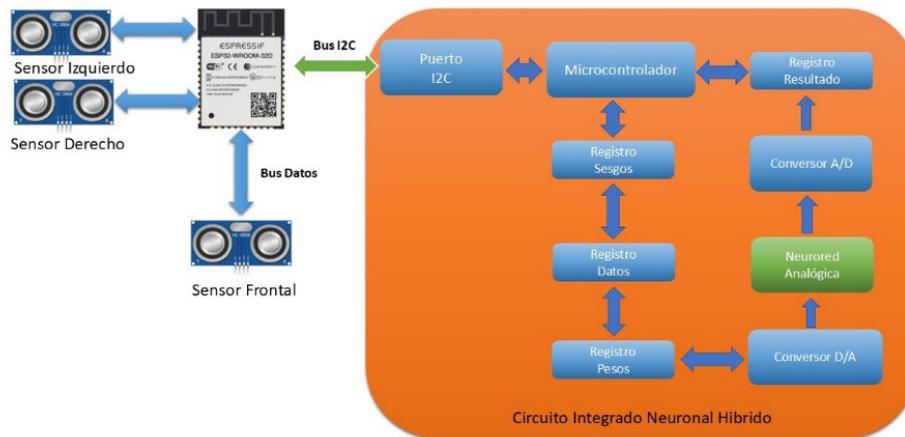


Figura 4. Diagrama en bloques unidad de control robot araña.

Este tipo de tareas se considera un requisito previo para abordar otras tareas como el movimiento coordinado, el autoensamblaje, la formación de patrones o el transporte colectivo de objetos. Siendo el objetivo de estos ensayos comparar los resultados de las diferentes estrategias evolutivas en varios enjambres de diferente tamaño. Analizando cuál aprende más rápido y genera políticas de mayor calidad, teniendo en cuenta la escalabilidad y su capacidad de generalización.

Para ello se define un entorno sin obstáculos para simplificar el comportamiento de los robots. Los robots son los principales componentes que interactúan con el entorno, que en este caso es desconocido, ya que, cada robot desconoce los movimientos que ejecutará el resto del enjambre. En cada paso, t , cada robot observa su estado, $S(t, u_d, u_i, u_f, v)$. Los posibles estados del problema están determinados por los datos capturados de los sensores ultrasónicos derecho, izquierdo y frontal además del comando de velocidad ejecutado anteriormente.

Una vez que los robots han percibido la información del entorno, se selecciona una acción a realizar para pasar del estado siguiente. La función de fitness que puede verse en la ecuación 1, se basa en la utilizada en la propuesta de ABDOLRASOL, Maher GM. (2021).

$$f(t) = \frac{z(t)}{n} \tag{1}$$

Donde z es el tamaño del clúster más grande que se ha formado y n el número de robots. La función de fitness se ha definido de forma tal que no sea lineal, ponderando las mejores soluciones y penalizando las mediocres como puede verse en la ecuación 2.

$$f(t) = \begin{cases} -10 & \text{si } z(t)/n = 1/n \\ (10 * z(t)/n) - 10 & \text{si } (z(t)/n) < 0.5 \\ 10 * z(t)/n & \text{si } (z(t)/n) \geq 0.5 \end{cases} \tag{2}$$

La política de entrenamiento utiliza una red neuronal de clasificación para mapear la información de las entradas y salidas que se muestra en la Fig. 5. Esta se ha implementado en el circuito neuronal híbrido.

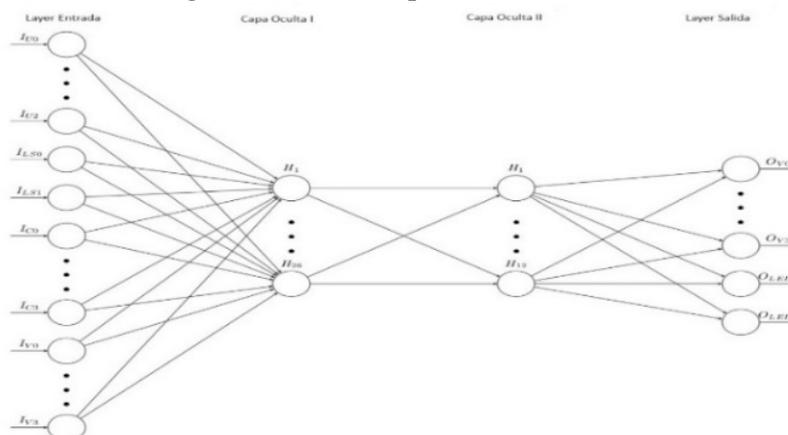


Figura 5. Red neuronal de control del robot de enjambre.

Esta red consta de 2 capas ocultas más las capas de entrada y salida, la función de activación de cada una de sus neuronas es tanh y obtiene la información del entorno discretizada para acelerar el proceso de aprendizaje.

Además, cada robot del enjambre ejecutará la misma red para conseguir un comportamiento colectivo generando los mismos criterios de decisión para las mismas transiciones de estado.

Ensayo y simulación

Cada una de las neuronas ha sido implementada con un circuito analógico que utiliza un total de 16 amplificadores operacionales con 8 transistores cuyo circuito se muestra en la figura 6.

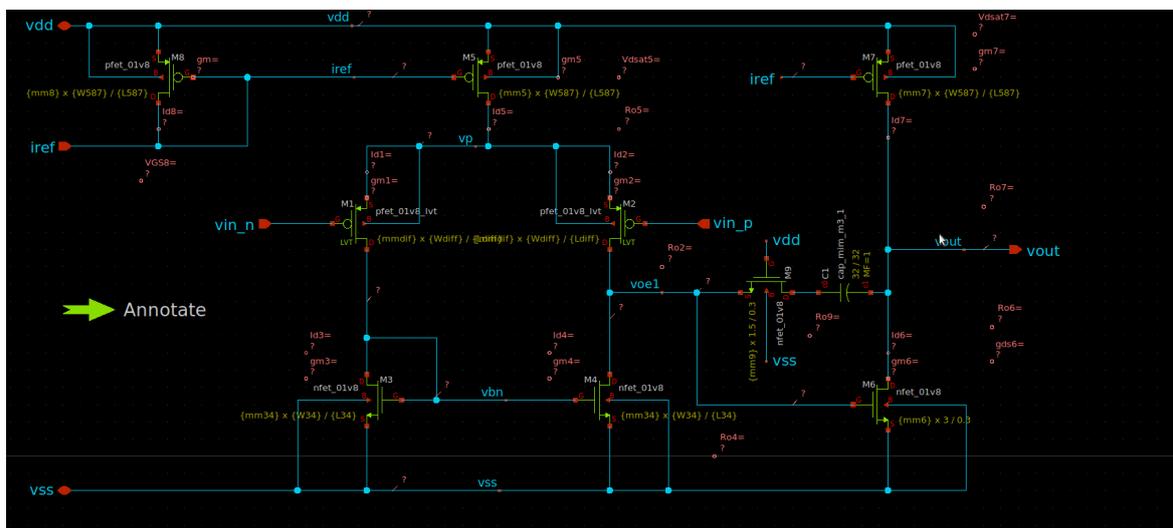


Figura 6. Amplificador operacional en XSCHEM

Se realizaron diferentes simulaciones del C.I. en el entorno del XSCHEM que es el software proporcionado por el fabricante para el diseño de circuitos integrados de 120 nm. Los resultados obtenidos se pueden observar en la tabla I. En la misma se comparan tres tipos de red, la red analógica denominada Analog, una red digital optimizada denominada Dig. I y una red digital sin optimizar denominada Dig. II las cuales han sido implementadas en una FPGA Artix-7 de Xilinx.

Tabla 1. Número de transistores y potencia disipada para red de 64 neuronas

Tipo Red	Numero Transistores	Potencia Consumida
Analog	8192	0.8 μ W
Dig. I	2247400	0,22 mW
Dig. II	2631600	0.43 mW

Al analizar esta tabla debe tenerse en cuenta que al utilizar una fpga comercial, los recursos de hardware no se encuentran optimizados. Por lo que el número de transistores en las redes digitales puede reducirse utilizando un ASIC para su implementación. Sin embargo, la diferencia de componentes utilizados entre ambas tecnologías es notable. Por lo que es posible esperar integrar redes neuronales muy complejas con funciones de entrenamiento en etapas posteriores del proyecto.

Una vez finalizado el diseño del Layaout del circuito integrado este será enviado a una empresa del medio para la fabricación de algunos prototipos, además se están fabricando una decena de robots con el diseño propuesto para que cuando esté disponible el C.I. realizar las pruebas de comportamiento emergente del enjambre pudiendo determinarse cuales son las mejores estrategias de inteligencia artificial para su implementación.

Conclusiones

Se ha realizado el diseño de un circuito integrado híbrido analógico como aplicación de las tecnologías desarrolladas en el proyecto “optimización de sistemas de inteligencia artificial basados en deep learning con dispositivos nanoelectrónicos híbridos, analógicos y digitales”.

Este tiene como objetivo la implementación de una red neuronal para el control del comportamiento emergente de un enjambre de robots para exploración espacial. El C.I. desarrollado presenta ventajas en cuanto al número de componentes, potencia disipada y consumo de corriente como se observa en las simulaciones realizadas con respecto a las soluciones basadas en computación digital exclusivamente. Encontrándose en este momento en la etapa de diseño del layout para su posterior fabricación y prueba.

Referencias

Zhou, Zhi-Hua. *Machine learning*. Springer nature, 2021.

SHINDE, Pramila P.; SHAH, Seema. *A review of machine learning and deep learning applications*. En 2018 Fourth international conference on computing communication control and automation (ICCUBEA). IEEE, 2018. p. 1-6.

ABDOLRASOL, Maher GM, et al. *Artificial neural networks based optimization techniques: A review*. Electronics, 2021, vol. 10, no 21, p. 2689.

WALCZAK, Steven. *Artificial neural networks*. En Advanced methodologies and technologies in artificial intelligence, computer simulation, and human-computer interaction. IGI global, 2019. p. 40-53.

HAENSCH, Wilfried; GOKMEN, Tayfun; PURI, Ruchir. *The next generation of deep learning hardware: Analog computing*. Proceedings of the IEEE, 2018, vol. 107, no 1, p. 108-122.

GARG, Sahaj, et al. *Dynamic precision analog computing for neural networks*. IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 2022, vol. 29, no 2: Optical Computing, p. 1-12.

SCELLIER, Benjamin, et al. *Energy-based learning algorithms for analog computing: a comparative study*. Advances in Neural Information Processing Systems, 2024, vol. 36.

DORIGO, Marco; THERAULAZ, Guy; TRIANNI, Vito. *Swarm robotics: Past, present, and future [point of view]*. Proceedings of the IEEE, 2021, vol. 109, no 7, p. 1152-1165.

DIAS, Pollyanna G. Faria, et al. *Swarm robotics: A perspective on the latest reviewed concepts and applications*. Sensors, 2021, vol. 21, no 6, p. 2062.

MAJID, M. H. A.; ARSHAD, M. R.; MOKHTAR, R. M. *Swarm robotics behaviors and tasks: a technical review*. Control engineering in robotics and industrial automation: Malaysian society for automatic control engineers (MACE) technical series 2018, 2022, p. 99-167.

Laboratorios Remotos, caso de uso en Sistemas de Control Digital

Remote Laboratories, use case in Digital Control Systems

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Ibrahim Jaime

Applied Control & Embedded Systems - Research Group
ibrahimjaime@gmail.com

Santiago Previotto

Applied Control & Embedded Systems - Research Group
santiagopreviotto@gmail.com

Marco Miretti

Applied Control & Embedded Systems - Research Group
marcomiretti@gmail.com

Emanuel Bernardi

Applied Control & Embedded Systems - Research Group
bernardiemanuel@gmail.com

Resumen

La experimentación como herramienta de aprendizaje, es en sí un método sumamente enriquecedor, que al ser complementada con conceptos teóricos posibilita la generación de resultados sobresalientes. Este aspecto es particularmente relevante en áreas de formación ingenieril, donde realizar ensayos prácticos constituye una parte íntegra del estudio.

En base a lo previamente mencionado, a través de este trabajo se presenta el resultado de una actividad práctica destinada a estudiantes avanzados de Ingeniería Electrónica, con el fin de ilustrar los aspectos centrales del uso de laboratorios remotos en la cátedra sistemas de control digital. Para la implementación de dicha actividad, se recurre al modelado e identificación de sistemas dinámicos, la síntesis e implementación de controladores discretos, y la evaluación de los mismos. En particular se presentan dos casos de sistemas dinámicos con acceso remoto sobre los cuales se ensayan y evalúan diversas técnicas, las más convenientes para cada aplicación.

Palabras clave: educación en ingeniería, identificación de sistemas, controlador discreto.

Abstract

Experimentation as a learning tool is itself an extremely enriching method, which when complemented with theoretical concepts allows to generate outstanding results. This aspect is particularly relevant in engineering areas, where carrying out practical experiments is an integral part of the study.

Based on that, through this work the result of a practical activity designed for advanced students of Electronic Engineering is presented, in order to illustrate the central aspects of the use of remote laboratories in the digital control subject. For the implementation of this activity, the modeling and identification of dynamic systems, the synthesis and implementation of discrete controllers, and their evaluation are presented. In particular, two cases of dynamic systems with remote access are shown on which various techniques are tested and evaluated, the most convenient for each application.

Keywords: engineering education, system identification, digital controller.

Introducción

Los laboratorios remotos no son nuevos, desde la invención de internet en los 70' se han propuesto y desarrollado incontables soluciones, con una gran variedad de enfoques. Así también, trabajos como los de Gomes L. & Bogosyan S. (2009) y Sáenz J. et al. (2021) han relevado el estado del arte de dichas tecnologías, además de analizar sus puntos comunes, y diferencias más notables. Dichos estudios sirven como un punto de referencia para este análisis. Es de destacar, que los laboratorios encontrados con mayor frecuencia, corresponden a competencias relevantes a la Ingeniería Electrónica, siendo éstas: microelectrónica, robótica, control, sistemas embebidos (Gravier C. et al., 2008). La arquitectura comúnmente hallada en estos trabajos se basa en el paradigma cliente-servidor, con un laboratorio actuando como servidor en el extremo remoto, y una aplicación cliente en el extremo del usuario.

En base a lo mencionado, desde el grupo de investigación AC&ES-RG, se ha desarrollado la infraestructura de laboratorios remotos (Miretti M. & Bernardi E., 2022), para su aplicación en la enseñanza de sistemas de control. Así, el propósito de esta metodología de enseñanza es permitir que el estudiante se instruya de forma autónoma y descentralizada, posibilitando el acceso a los experimentos de forma remota e ininterrumpida. Particularmente, con la implementación de este sistema el estudiante tiene a su alcance la capacidad de aplicar múltiples técnicas de control (Ogata K., 2005; Kuo B. & Golnaraghi M., 2009; Adam E., 2020), siendo prescindible la experiencia en la programación de bajo nivel, i.e. programación de sistemas embebidos, configuración de las comunicaciones, etc. Para ello, el desarrollo contempla el diseño de librerías intuitivas y simples de utilizar, implementadas en los lenguajes GNU Octave y Python, de modo que para su utilización sólo serán necesarios conocimientos mínimos de programación. Se eligieron estos lenguajes debido a que los mismos poseen extensos paquetes dedicados al control de procesos.

En la Fig. 1 se plasma la infraestructura básica planteada, como así también su alcance. La misma demuestra cómo los estudiantes acceden a experimentos de forma remota, a través de internet, utilizando como intermediario un servidor remoto, en este caso implementado sobre una *Raspberry Pi* (aunque funciona en cualquier computador que ofrezca una interfaz WiFi y un sistema operativo basado en GNU/Linux). Los experimentos remotos se comunican con dicho servidor mediante plataformas embebidas *ESP8266*, permitiendo el comando de actuadores y la lectura de sensores.

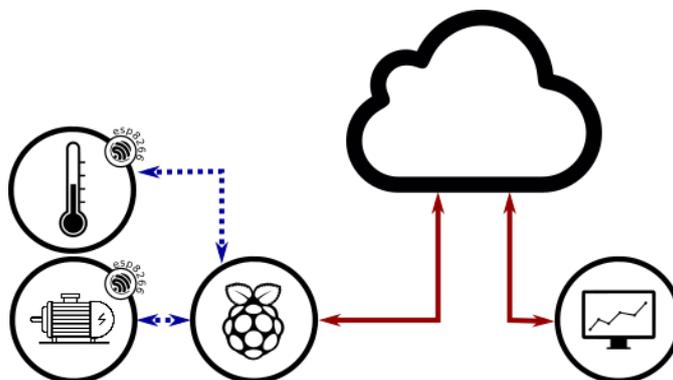


Figura 1. Diagrama de bloques de los sistemas implementados.

De esta forma sus usuarios, los estudiantes, tienen acceso continuo a la experimentación, sobre fenómenos físicos auténticos. Permitiéndoles aplicar sus conocimientos sobre infinidad de sistemas.

Desarrollo

Durante el dictado del primer semestre del ciclo lectivo 2023, en la cátedra sistemas de control digital, se abordaron un gran número de contenidos. Por un lado se presentaron, discutieron y analizaron diversas técnicas de modelado e identificación de sistemas. Por otro lado, se estudió el diseño e implementación de controladores en sistemas embebidos. Es por ello que, con el objetivo de afianzar los conceptos teóricos impartidos, se optó por la utilización de los sistemas dinámicos disponibles en el laboratorio remoto desarrollado por el grupo AC&ES-RG. En particular, se emplearon dos experimentos: un sistema electromecánico, y un sistema térmico.

El sistema electromecánico consiste en un motor de corriente continua, con su respectivo encoder en cuadratura adosado al eje. Dicho motor, está conectado a una placa controladora que posee la capacidad de excitar las bobinas del mismo y de acondicionar las señales del encoder.

Por otro lado, con respecto al sistema térmico, éste se compone de una resistencia calefactora adosada a un sensor de temperatura. La resistencia calefactora está conectada a una placa controladora que la energiza y, además, acondiciona la señal del sensor de temperatura.

Como consecuencia, en la Fig. 2 se bosqueja ambos lazos de control.

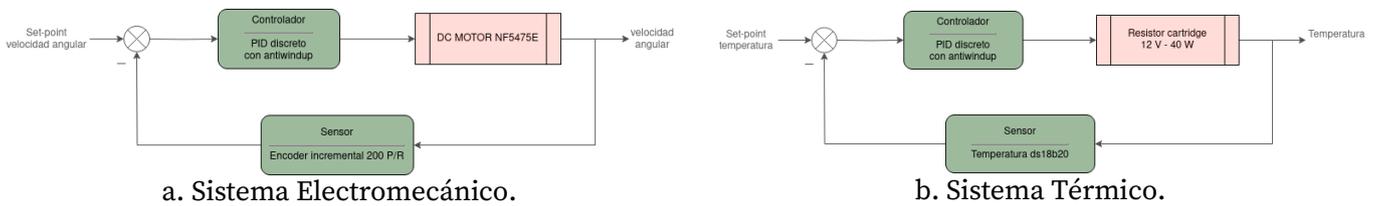


Figura 2. Diagrama de bloques de los sistemas implementados.

En ambos casos se ha optado por la implementación de un controlador discreto Proporcional, Integral, Derivativo (PID). Así, uno de los principales enfoques, comúnmente empleado, para la sintonización de controladores PID es la selección de sus parámetros empleando un modelo matemático de la planta, o sistema (Ogata K., 2005; Adam E., 2020; entre otros). Para que eso sea posible existen al menos dos caminos: modelado matemático empleando propiedades y características específicas de la naturaleza del sistema, y/o identificación del modelo en base a los datos de entrada/salida del sistema.

Debido a la complejidad involucrada en la obtención de propiedades específicas de cada uno de los sistemas (conductividad térmica, coeficientes de fricción, densidad de los materiales, etc.) se ha optado por la identificación de un modelo discreto que describa la dinámica del sistema, en base a la información disponible de entrada/salida.

Para ello, en ambos sistemas se emplearon distintos tipos de señales de excitación. Esto es, dado que se sabe a priori que el sistema electromecánico es de dinámica alta, se ha suministrado al mismo una señal de entrada persistente por medio de lo que se conoce como Señal Pseudo-Random Binaria (PRBS). En cambio, siendo que el sistema térmico es de dinámica lenta, se ha utilizado una señal de entrada del tipo escalón. Ambos conjuntos de señales de entrada/salida se muestran en la Fig. 3. Es de destacar que los períodos de muestreo son 10 ms para el sistema electromecánico y 800 ms para el sistema térmico.

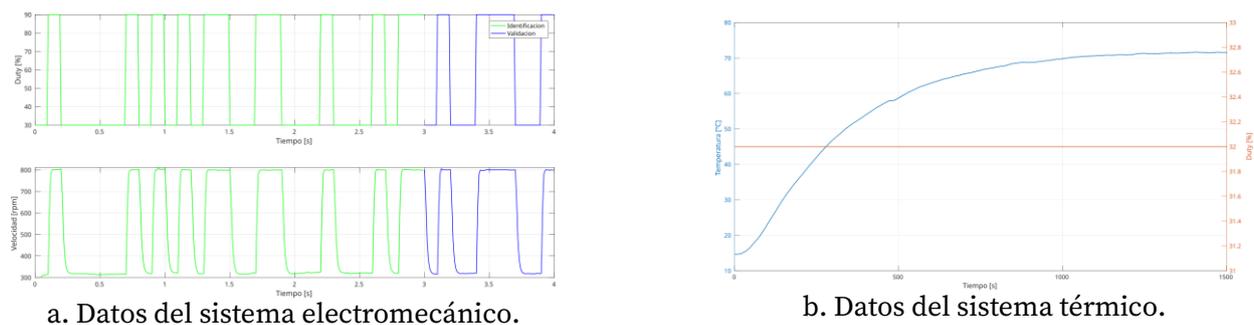


Figura 3. Datos obtenidos para la identificación de los sistemas.

Seguidamente, obtenidos los datos de entrada/salida, se procedió a identificar los sistemas bajo estudio. Para ello se utilizó la herramienta *System identification* de *Matlab*, obteniendo las funciones de transferencia correspondientes. Esto es, la función de transferencia que describe la dinámica del sistema térmico es:

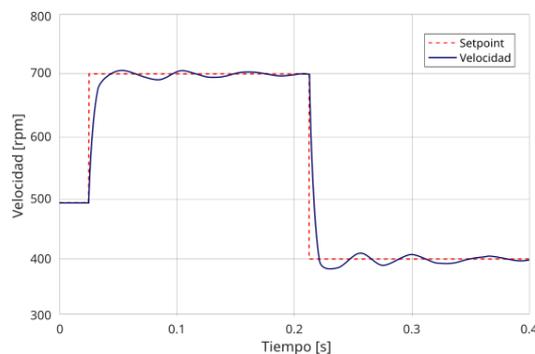
$$H[z] = \frac{0.0001205 z^{-1}}{1 - 1.977z^{-1} + 0.9775z^{-2}} \quad (1)$$

y la función de transferencia que describe la dinámica del sistema electromecánico es:

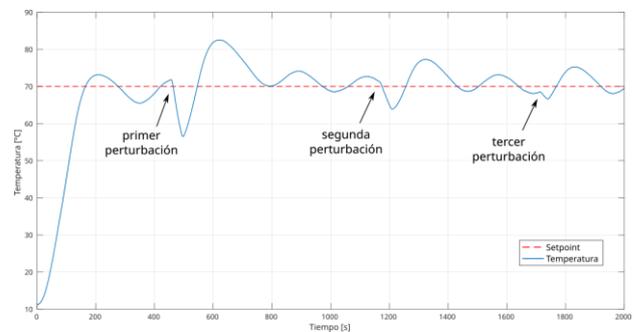
$$H[z] = \frac{0.1213 z^{-1}}{1 - 0.7178z^{-1} + 0.1414z^{-2}} \quad (2)$$

Luego, tomando como base los modelos de las Ecs. 1 y 2 se procedió a obtener los parámetros de los controladores PID, empleando la regla de Ziegler-Nichols (Adam E., 2020). Resultando estos: $K_p = 3.2$; $K_i = 31$; $K_d = 0.008$ para el sistema electromecánico y $K_p = 2.91$; $K_i = 0.016$; $K_d = 0.020$ para el sistema térmico.

A continuación, en la Fig. 4, se observa el adecuado comportamiento de los sistemas físicos. Específicamente, la Fig. 4a muestra cómo se comporta el sistema electromecánico frente a cambios de consigna y la Fig. 4b bosqueja el comportamiento del sistema térmico frente al ingreso de perturbaciones.



a. Desempeño del sistema electromecánico.



b. Datos del sistema térmico.

Figura 4. Datos obtenidos para la identificación de los sistemas.

Conclusiones

El presente trabajo, expone casos de uso de laboratorios remotos en la cátedra sistemas de control digital. La instancia práctica aquí detallada se desarrolla como actividad integradora a los contenidos de la asignatura. Se considera de gran valor esta experiencia a fin de ilustrar y potenciar la teoría de sendas asignaturas con una aplicación ingenieril concreta. Además, se destaca que resultó de gran utilidad el acceso remoto a los sistemas.

Como futura mejora, se propone sistematizar un método de evaluación y diagnóstico de la actividad propuesta, a fin de cuantificar su impacto académico y comprobar el grado de asimilación de los contenidos.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Universidad Tecnológica Nacional por el financiamiento del Proyecto de Investigación y Desarrollo “Laboratorio remoto para la experimentación en sistemas de control, fundamentado en la democratización de la tecnología”, Código: CCPBSF0008347.

Referencias

- Adam, E. J. (2020). *Instrumentación y control de procesos*. Notas de clase. Ediciones UNL.
- Gravier, C., Fayolle, J., Bayard, B., Ates, M., & Lardon, J. (2008). State of the art about remote laboratories paradigms-foundations of ongoing mutations. *International Journal of Online Engineering*, 4(1).
- Gomes, L., & Bogosyan, S. (2009). Current trends in remote laboratories. *IEEE Transactions on industrial electronics*, 56(12), 4744-4756.
- Kuo, B. C., & Golnaraghi, M. F. (2009). *Automatic control systems*. Prentice hall.
- Miretti, M. L., & Bernardi, E. (2022). *Infraestructura para el desarrollo de laboratorios remotos*. *Elektron*, 6(1), 8-19.
- Ogata, K. (2005). *Discrete-time control systems*. Prentice-Hall.
- Sáenz, J., de la Torre, L., Chacón, J., & Dormido, S. (2021). A study of strategies for developing online laboratories. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 14(6), 777-787.

Desarrollo de una red IIoT LoRaWAN para obtener y almacenar datos de máquinas y equipos industriales a través de la interfaz MODBUS TCP.

IIoT LoRaWAN Network Development to collect and store data from industrial machines and equipment through the MODBUS interface.

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Sergio Felissia

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San, Departamento de Ingeniería Electrónica, Grupo de Investigación y Desarrollo en Electrónica (GIDE), Argentina.
sfelissia@facultad.sanfrancisco.utn.edu.ar

Gastón Peretti

Grupo de Investigación y Desarrollo en Electrónica (GIDE), Departamento de Ingeniería Electrónica, Facultad Regional San Francisco, Universidad Tecnológica Nacional
gperetti@facultad.sanfrancisco.utn.edu.ar

Jorge Bossio

Grupo de Investigación y Desarrollo en Electrónica (GIDE), Departamento de Ingeniería Electrónica, Facultad Regional San Francisco, Universidad Tecnológica Nacional
jbossio@facultad.sanfrancisco.utn.edu.ar

Diego Iguri

Grupo de Investigación y Desarrollo en Electrónica (GIDE), Departamento de Ingeniería Electrónica, Facultad Regional San Francisco, Universidad Tecnológica Nacional
diguri@claro.com.ar

Daniel Musso

Grupo de Investigación y Desarrollo en Electrónica (GIDE), Departamento de Ingeniería Electrónica, Facultad Regional San Francisco, Universidad Tecnológica Nacional
ingdanielmusso@gmail.com

Resumen

El presente trabajo describe el desarrollo de nodos para enviar información de procesos, equipos o máquinas industriales, a través de una plataforma local IIoT (*Industrial Internet of Things*), basada en el protocolo LoRaWAN (*Long Range Wide Area Network*). En este caso se implementó un servidor MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) en una máquina virtual dedicada al sistema, creada dentro de un servidor local. Se utilizaron herramientas de software GNU, como el entorno de programación “low code” denominado Node-RED y base de datos de series temporales como InfluxDB.

Se presenta la solución implementada, tomando como ejemplo dos controladores Lógicos Programables (PLC) de una marca reconocida con interfaz MODBUS TCP (*Transmission Control Protocol*), conectados al nodo IIoT desarrollado. El firmware del nodo utiliza como base el código y librerías para implementar el protocolo LoRaWAN denominado LMIC (*LoRaWAN MAC in C*), desarrollado por IBM. Se describe brevemente el despliegue

de la plataforma IIoT para la recolección y almacenamiento de la información enviada por los nodos, que incluye un único Gateway LoRaWAN.

Palabras clave: redes IIoT, protocolo Modbus, modulación LoRa, LoRaWAN.

Abstract

This work describes the development of nodes to send information from industrial processes, equipment, or machines through a local IIoT (*Industrial Internet of Things*) platform based on the LoRaWAN (*Long Range Wide Area Network*) protocol. In this case, an MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) server was implemented on a virtual machine dedicated to the system, created within a local server. GNU software tools were used, such as the “low code” programming environment called Node-RED and time series databases such as InfluxDB.

The implemented solution is presented, using as an example two Programmable Logic Controllers (PLCs) from a well-known brand with MODBUS TCP interface, connected to the developed IIoT node. The node's firmware is based on the code and libraries for implementing the LoRaWAN protocol, known as LMIC (*LoRaWAN MAC in C*), developed by IBM. A brief description of the deployment of the IIoT platform for the collection and storage of information sent by the nodes is provided, which includes a single LoRaWAN Gateway.

Keywords: IIoT networks, Modbus protocol, LoRa modulation, LoRaWAN.

Introducción

Las tecnologías LPWAN (*Low Power Wide Area Network*) se encuentran muy desarrolladas en el mundo e Internet de las Cosas se nutre de estas herramientas de conectividad inalámbrica para llevar adelante los aspectos que tienen que ver con la capa física del modelo y que buscan obtener datos del mundo físico. LoRaWAN forma parte de este conjunto de recursos de hardware y software que resuelven las necesidades de comunicación de baja potencia, bajos requerimientos de velocidad de transmisión y amplio alcance.

LoRa (*Long Range*)(capa física de LoRaWAN) utiliza una técnica de modulación de espectro ensanchado derivada de la tecnología CSS (*Chirp Spread Spectrum*), que ofrece un compromiso entre sensibilidad y velocidad de datos, mientras opera en un canal de ancho de banda fijo de 125 kHz o 500 kHz (para canales de enlace ascendente), y 500 kHz (para canales de enlace descendente). Además, utiliza factores de dispersión (SF) ortogonales.

Un gateway LoRaWAN recibe mensajes modulados en *LoRa* desde cualquier dispositivo final en la distancia de audición y reenvía estos mensajes de datos al *Network Server* (NS), que está conectado a través de una red troncal IP. No existe una asociación fija entre un dispositivo final y *gateway* específico. En cambio, el mismo sensor puede ser atendido por múltiples *gateways* en el área. Con LoRaWAN, cada paquete de enlace ascendente enviado

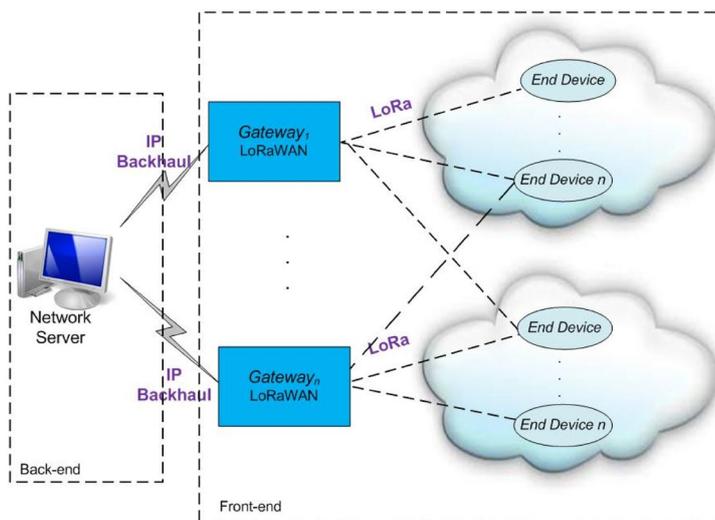


Figura 1. Topología básica de LoRaWAN. (Lavric A. et al., 2017)

por el dispositivo final será recibido por todas las puertas de enlace a su alcance, como se ilustra en la Figura 1.

Esta disposición reduce significativamente la tasa de errores de paquetes (ya que las posibilidades de que al menos una puerta de enlace reciba el mensaje son muy altas), reduce significativamente la sobrecarga de la batería para sensores móviles y permite la geolocalización de bajo costo (suponiendo que las puertas de enlace en cuestión tengan capacidad de geolocalización) (Lavric A. et al., 2017).

Si bien LoRaWAN está orientada a redes de área extendida, como por ejemplo aplicaciones de Smart City, sus características de robustez y seguridad lo hacen particularmente interesante para implementaciones industriales de IIoT. En este caso, la modulación de espectro expandido LoRa se adapta perfectamente a ambientes con alta presencia de ruido eléctrico.

A raíz del crecimiento del campo de investigación de IoT en años recientes, diversas bibliotecas de LoRaWAN han sido creados para plataformas de desarrollo como Arduino. Entre estas bibliotecas, una de las más destacadas y utilizadas es LMIC de IBM lanzada en 2016. Esta biblioteca es compatible con el entorno de Arduino y soporta las especificaciones 1.0.2 y 1.0.3 (Terry M.,2021).

Para cumplir con el estándar, en los nodos implementados con sistemas embebidos compatibles con Arduino se instaló la biblioteca LMIC para Arduino. La biblioteca LMIC proporciona una implementación bastante completa de LoRaWAN de clase A y clase B, compatible con las bandas EU-868, US-915, AU-915, AS-923 e IN-866.

Protocolo MODBUS TCP

Modbus TCP es una comunicación de tipo cliente/servidor a través de una red Ethernet TCP/IP (Liu Q; Li Y, 2006: 432-435). Modbus TCP es equivalente a Modbus RTU, que se ejecuta a través de una interfaz Ethernet.

El ciclo de mensajería de Modbus TCP consta de cuatro pasos. En el primer paso, el cliente envía una consulta (solicitud de conexión) al servidor; en el segundo paso, el servidor reconoce o acepta esta consulta; en el tercer paso, el servidor envía respuestas para el código de función y, en el cuarto paso, el cliente envía una señal de confirmación al servidor que puede desconectar la conexión TCP. El formato de mensaje de Modbus TCP se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Formato de mensajes de Modbus TCP

Este formato de mensaje consta de MBAP (*ModBus Application Protocol*), de siete bytes que incluye el identificador de transacción, el identificador de protocolo, la longitud del mensaje y el identificador de cliente. En Modbus TCP, para que el servidor se conecte, se requiere el identificador de conexión y el número de puerto del servidor para establecer la comunicación y, para un cliente, se requiere una dirección IP del servidor, el identificador de cliente y el número de puerto en el formato del mensaje.

El código de función es un campo de dirección de 1 byte. El código de función en cuestión le dice al dispositivo esclavo qué tipo de acción ejecutar (Xiong P et al., 2003: 586-590). El código de función es un dato de 1 byte. Algunos códigos de función que se usaron con frecuencia en el momento de la comunicación se muestran en la TABLA 1 (MODBUS.ORG, Página web).

TABLA 1. Códigos de función.

Function Code	Action
01	Read discrete output coils
02	Read discrete input contacts
03	Read analog output holding registers
04	Read analog input registers
05	Write single discrete output coils
06	Write single analog output holding registers
15	Write multiple discrete output coils
16	Write multiple analog output holding registers

Desarrollo

Se dispuso de un *gateway* marca Milesight, modelo UG65, para interiores de 8 canales. Este dispositivo adopta el chip SX1302 LoRa de Semtech con una CPU de cuatro núcleos de alto rendimiento, admite la conexión con más

de 2000 nodos. El modelo UG65, que disponemos, admite dos sistemas de conectividad *back-haul* con Ethernet y WiFi. Tiene un *Network Server* (NS) incorporado, así como también puede ser integrado a NS en plataformas en la nube (como *The Things Network*, *ChirpStack*, *Milesight IoT Cloud* y otras).

Se configuró el *gateway* para utilizar el *Network Server* integrado. Se seleccionó el protocolo MQTT como el modo de transmisión de *backhaul* hacia la nube de la información recibida desde los nodos. Los datos son enviados en un formato de texto tipo JSON (JSON.ORG, Página web: “Introducing JSON”). La clave “data” contiene el dato enviado por el nodo identificado a través de las claves “devEUI” y “deviceName”. El dato es codificado por el *gateway* en Base64. Además del dato enviado por el nodo, el *gateway* envía otra información relacionada con parámetros de recepción de la radio LoRa, como nivel de señal (RSSI), relación señal ruido (LoRaSNR), frecuencia (frequency) y factor de expansión (spreadFactor).

Se dispuso de una máquina virtual instalada en la nube a través de los servidores de la Institución, donde fue instalado un servidor de protocolo MQTT.

Los paquetes de software instalados en la máquina virtual son: EMQX (Servidor de MQTT), Node-RED (Entorno de programación basado en el framework de Node.JS) para realizar aplicaciones ejecutables en navegador (Node-RED, Página web: “Node-RED Cookbook”, 2022); InfluxDB es una base de datos de series temporales (TSDB) de código abierto desarrollada por la empresa InfluxData. Se utiliza para el almacenamiento y la recuperación de datos de series temporales en campos como la monitorización de operaciones, las métricas de aplicaciones, los datos de sensores de Internet de las cosas y el análisis en tiempo real (Turnbull J.: 206-, 2014).

Nodo MODBUS

Se implementó un hardware compuesto por una placa controladora ESP32 a la cual se conectó a través de sendos puertos SPI (*Serial Peripheral Interface*) identificados como VSPI y HSPI, el módulo de radio LoRa y el módulo Ethernet W5500 (Figura 3). Se observa una foto del prototipo implementado en la Figura 4, donde se puede conectar al puerto Ethernet cualquier equipo con comunicación compatible con MODBUS TCP.

Se incluyen en el software de la placa ESP32, la librería LMIC para la comunicación LoRaWAN, la librería para administrar la comunicación Ethernet y librería MODBUS para Arduino.

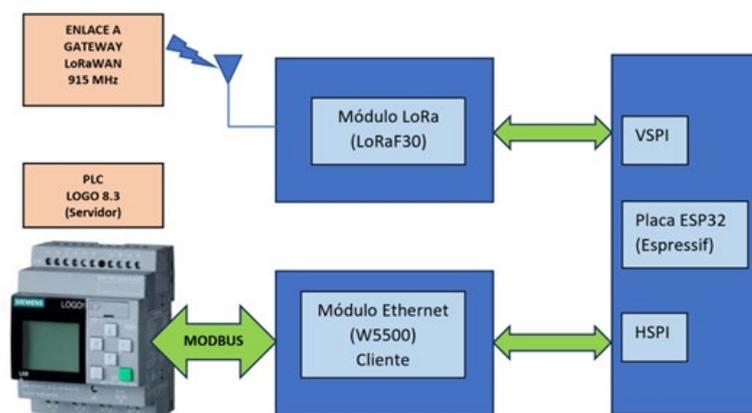


Figura 3: Diagrama en bloques del nodo LoRaWAN MODBUS conectado a un PLC Siemens LOGO.

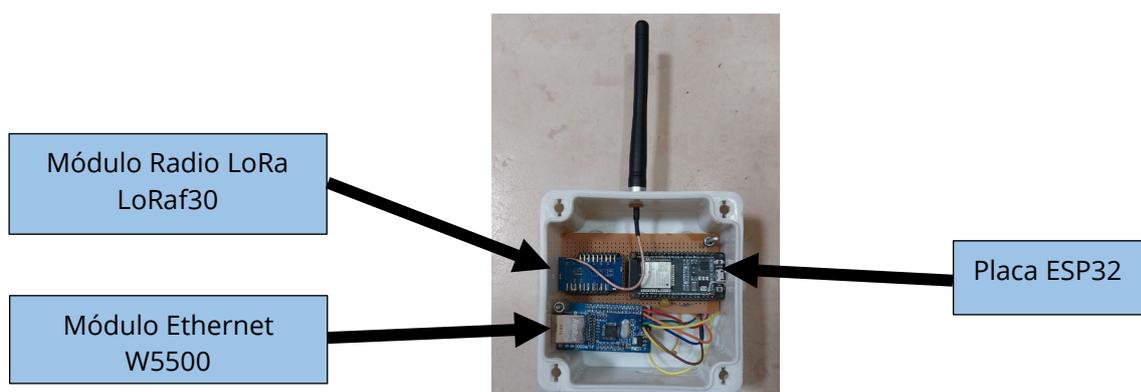


Figura 4: Prototipo del nodo LoRaWAN MODBUS.

Esta biblioteca implementa el protocolo Modbus sobre dos tipos de transporte diferentes: comunicación serial sobre RS485 con RTU (*Remote Terminal Unit*) o comunicación Ethernet y WiFi con protocolo TCP. Existen algunas diferencias en las API según el transporte, pero la mayoría de las funciones son las mismas para ambos. Modbus también es un protocolo cliente-servidor donde Cliente = maestro y Servidor = esclavo en la terminología Modbus (Página web, Librería MODBUS para Arduino en www.arduino.cc).

Como regla general, la comunicación RTU es multipunto y, por lo tanto, se debe especificar el ID de la unidad involucrada en la comunicación. TCP es punto a punto utilizando la dirección IP y, por lo tanto, no es necesario un ID en los parámetros.

En este proyecto se utilizó el transporte TCP utilizando la interfaz Ethernet. Se conectó a través de esta interfaz, un PLC de la empresa Siemens, modelo LOGO 8.3, el cuál puede ser configurado como Servidor.

La API de la librería suministra funciones para lectura y escritura de entradas, salidas, marcas y registros.

Se programó para enviar a través de LoRaWAN el estado binario de ocho entradas, ocho salidas y 8 marcas, un total de 24 bits (3 bytes) para estos campos. La trama se inicia con un byte ID del dispositivo, luego otro byte para el tipo de dispositivo, continúa con los tres bytes que contienen el estado de entradas, salidas y marcas, finalmente, ocho bytes para valores analógicos, registros, contadores y valores de timers. En la TABLA 2 se puede apreciar la distribución de los distintos campos en el payload.

TABLA 2: Distribución de los campos en el payload enviado por los nodos. En total 13 bytes.

ID del equipo (1byte)	Tipo de Equipo (1 byte)	Entradas (1 byte)	Salidas (1 byte)	Marcas (1 byte)	Registros, Contadores, Timers, Valores analógicos (8 bytes)
Número asignado al nodo	0-Otros 1-PLC 2-Drive	I1 a I8 en PLC LOGO	Q1 a Q8 en PLC LOGO	M1 a M8 en PLC LOGO	Para usos múltiples.

Se programó para que la trama de 13 bytes binarios se transforme en un string de 13 caracteres realizando una codificación en Base64. Base64 es un grupo de esquemas de codificación de binario a texto que transforman datos binarios en una secuencia de caracteres imprimibles, limitada a un conjunto de 64 caracteres únicos. Más específicamente, los datos binarios de origen se toman de a 6 bits por vez, luego este grupo de 6 bits se asigna a uno de los 64 caracteres únicos. Esquemas de codificación Base64 son frecuentemente utilizados cuando se necesita codificar datos binarios sobre todo cuando hay que almacenarlos y transferirlos a través de medios diseñados para tratar textos. Esta forma de codificación puede asegurar que los datos permanezcan intactos sin modificaciones durante el transporte. Se usa Base64 frecuentemente en varias aplicaciones incluso el correo electrónico a través de MIME, así como el almacenamiento de datos complejos en XML o JSON. (Página web, base64decode.org)

En el software del nodo se realiza la lectura del estado de las variables del PLC, de forma periódica, cada 100 milisegundos. El envío de información puede ser realizada de 2 maneras:

- 1) Forma periódica.
- 2) Por eventos.

En el primer caso, se programa un período de tiempo entre cada envío, que puede ser 10 segundos, 1 minuto, 5 minutos o 10 minutos.

En el segundo caso, se puede configurar uno o varios bits del campo de entradas, salidas y marcas como disparo del envío cuando se produce un cambio de estado. En el caso de varios bits, se realiza una operación EXOR con los todos los bits seleccionados para detectar un cambio de estado en alguno de los mismos.

Se creó en la máquina virtual un flujo en el entorno de programación “*low code*” denominado Node-RED (Figura 5), para recibir el *payload* desde el *gateway*, a través de la suscripción al tópico correspondiente en el protocolo MQTT, extraer los distintos campos del objeto JSON recibido e insertar información en la base de datos creada en InfluxDB.

Conclusiones

Se han realizado las pruebas con el nodo descripto y un Gateway instalado en el exterior de la institución. Los nodos disponen de una antena externa. Los resultados han mostrado que el *gateway* recibe datos de los nodos hasta con niveles de recepción de hasta -120 dBm. Con este límite, se ha observado que el nodo pudo realizar sus

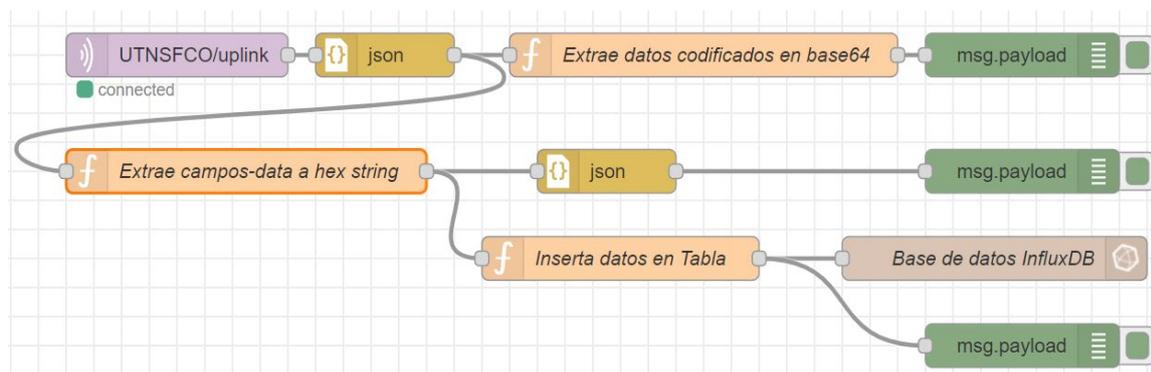


Figura 5. Flujos Node-RED para recibir el payload MQTT desde el gateway, separar e insertar datos en la base de datos InfluxDB.

envíos con éxito, es decir recibido por el Gateway y procesados por la aplicación Node-RED instalada en la máquina virtual, en un entorno con muchos obstáculos como paredes, techos de chapas metálicas y hormigón, aproximadamente en un radio de cobertura de 80 metros del Gateway. Resultaría ventajoso aumentar la cantidad de Gateways.

Los objetivos planteados al inicio de este trabajo, que prioritariamente eran los de construir una plataforma IIoT basada en LoRaWAN y un protocolo de gran uso en los equipos industriales como MODBUS, que nos permitiera la posibilidad de conectar equipos como PLCs, variadores de velocidad de motores, servocontroladores, para obtener y registrar información valiosa para el análisis de los procesos industriales como una herramienta más del paradigma de Industria 4.0.

Este trabajo sentará las bases para otros trabajos futuros, analizando el desempeño de la red en muchos escenarios distintos. Se pudo implementar una plataforma propia en la nube, de bajo costo, sin necesidad de recurrir a servicios de terceros. Aspectos como respuesta del sistema ante multiplicidad de nodos, pérdidas de paquetes, tiempo en el aire y consumo de energía de los nodos, funcionamiento en las distintas clases de dispositivos LoRaWAN, interferencias, colisiones, son alguno de los temas a considerar para posteriores investigaciones.

Referencias

ARDUINO.CC, Librería MODBUS para Arduino. Página web. Disponible en:

<https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/arduinomodbus/>

BASE64DECODE.ORG, Página web. Disponible en: <https://www.base64decode.org/es/>

JSON.ORG, Página web: "Introducing JSON". Disponible en: <https://www.json.org/json-en.html>

Lavric, A; Popa, V. "Internet of Things and LoRa Low-Power Wide Area Networks Challenges", 2017.

Liu Q; Li Y, "Modbus/tcp based network control system for water process in the firepower plant." In Intelligent Control and Automation, 2006. WCICA 2006. The Sixth World Congress on vol. 1 2006, pp 432-435.

MODBUS.ORG, Página web. Disponible en:

https://www.modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b3.pdf

Node-RED, Página web: "Node-Red Cookbook". Disponible en: <https://cookbook.nodered.org/#mqtt>

Terry M., ""MCCI LoRaWAN LMIC Library", v4.1.1, 2021. GitHub. [online] Available: <https://github.com/mcci-catena/arduino-lmic>.

Turnbull J., "The Art of Monitoring", 2014. pp. 206-. ISBN 978-0-9888202-4-1.

Xiong P.; Huang S; Yi K; Zhu K, "Design of communication port between dcs and computers of rtu" in Machine Learning and Cybernetics, 2003 International Conference on, vol. 1, Nov 2003, pp. 586-590 Vol. 1.

Seguidor de Línea con control PID

(PID: Proporcional Integral Derivativo)

Line Follower with PID control (PID: Proportional Integral Derivative)

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Bruno Julián Chiabrando

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina.

bchiabrando@facultad.sanfrancisco.utn.edu.ar

Angel Aguilar

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina.

aaguilar@facultad.sanfrancisco.utn.edu.ar

Rodolfo Podadera

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina.

rpodadera@facultad.sanfrancisco.utn.edu.ar

Resumen

Se desarrolla un robot seguidor de línea controlado por un sistema proporcional-integral-derivativo conocido como PID, cuyos parámetros de sistema se pueden configurar en cualquier momento a través de una interfaz de usuario (UI) simple, también se traza en tiempo real el error obtenido por la matriz de sensores TCRT5000.

El microcontrolador identificado como ESP32 cuenta con FreeRTOS es utilizado para poder realizar múltiples tareas simultáneamente, controla sensores, actuadores y la comunicación con el servidor web a través de HTTP Request/Response. El dispositivo final tiene un correcto funcionamiento y una alta fidelidad a la hora de estabilizarse en los cambios del circuito a seguir, de esta forma cumple con los objetivos principales, alcanzando una mayor eficiencia que los robots de velocidad convencionales.

Palabras clave: PID, Robot, Seguidor de línea, FreeRTOS, HTTP.

Abstract

Line Follower Robot is controlled by a proportional-integral-derivative system known as PID is developed, the parameters of this system can be configured at any time through a simple user interface (UI), also the error obtained by the TCRT5000 sensor array is plotted in real time.

The ESP32 microcontroller with FreeRTOS is used to be able to perform multiple tasks simultaneously, it controls sensors, actuators and the communication with the web server through HTTP Request/Response. The final device has a correct operation and high fidelity when it comes to stabilizing in the changes of the circuit to follow, in this way it meets the main objectives, reaching greater efficiency than conventional speed robots.

Keywords: PID, Robot, Line Follower, FreeRTOS, HTTP.

Introducción

El presente trabajo busca realizar un robot que sea capaz de recorrer cualquier circuito que posea una línea central continua de manera autónoma. El dispositivo cuenta con un microcontrolador, encargado de controlar a través de un sistema proporcional - derivativo - integral (PID) la velocidad de los motores lo cual nos permite alcanzar una mayor eficiencia y velocidad a la hora de seguir la línea.

Los parámetros de dicho controlador PID pueden ser monitoreados y modificados desde una interfaz de usuario (UI) la cual se puede acceder de manera local a través de un servidor web creado por el microcontrolador ESP32. Para alcanzar una mayor eficiencia tanto en el funcionamiento como en la comunicación con el usuario se hace uso de FreeRTOS que nos permite ejecutar las distintas tareas necesarias en simultaneo, optimizando los recursos brindados por el microcontrolador seleccionado.

Objetivos

- Elaborar un control PID para el manejo de velocidades de los motores que permita el seguimiento de una línea.
- Programar la comunicación entre cualquier dispositivo con conexión a la red local y el microcontrolador ESP32 para la calibración inalámbrica del controlador del robot seguidor de línea.
- Alcanzar luego de pruebas y calibraciones una mayor eficiencia que robots velocistas convencionales.

Desarrollo

Los robots seguidores de línea son capaces de seguir un camino trazado por una línea central continua. La cual es de un color que contrasta con el del piso, por lo general la línea es blanca y el resto del suelo es negro. Una de las virtudes de esta configuración es que se puede realizar de múltiples maneras y pueden ser tan complejos como la persona que lo realice quiera. Año tras año las tecnologías utilizadas para desarrollarlos evolucionan y uno de los motivos principales son las distintas competencias que se realizan. El robot desarrollado cumple con las reglas explícitas por la Liga Nacional de Robótica de Argentina por lo que se encuentra apto para competir en las próximas ediciones.

Cuenta con actuadores, (figura 1.a) elementos principales del robot velocista, del cual depende el desempeño que se pueda alcanzar, aquí se utiliza un motoreductor pololu HP, 6V de corriente continua. El término reducción refiere a cuantas vueltas dará el motor para que los engranajes produzcan una vuelta a la salida del eje, de esta manera se incrementará el torque a costas de una reducción de velocidad.

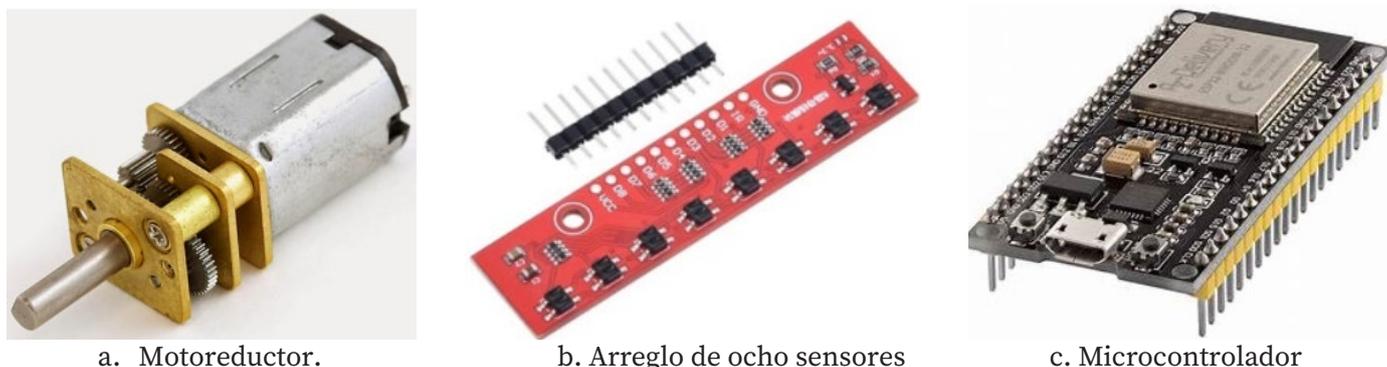


Figura 1. Partes constitutivas de hardware.

(Las imágenes de la figura, fueron extraídas de datasheet de fabricantes de tecnología, accesibles en la red)

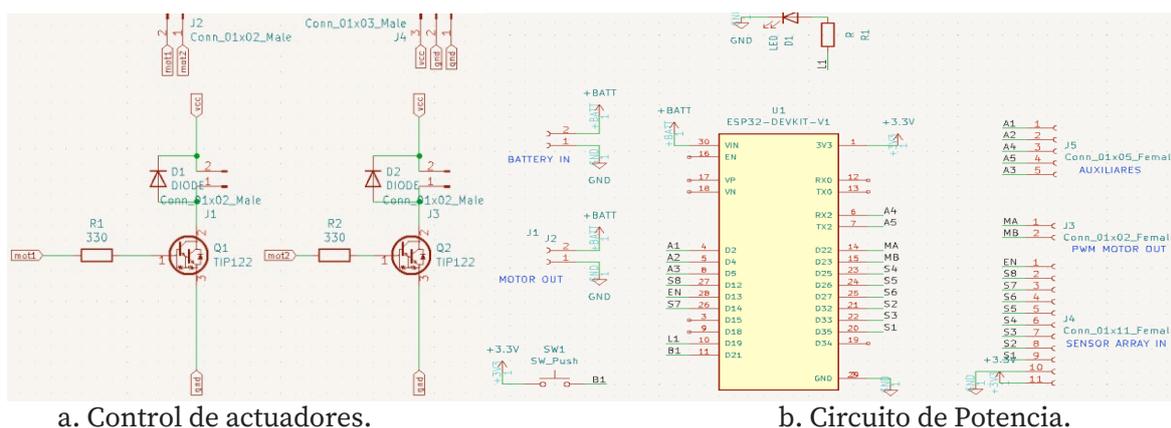
El enfoque de seguimiento de líneas en robótica ha sido extensamente explorado (Martínez Ortiz, 2015-2016), respecto a lo cual se utilizan de manera inicial, sensores preparados para la detección de línea y ubicación del robot se utilizaron ocho sensores ópticos infrarrojos TCRT5000 dispuestos en un circuito impreso y fueron trabajados de manera digital conectando cada uno de los sensores a una entrada digital y se los alimentó con 3.3 V (figura 1.b).

Para el control del dispositivo se utiliza un microcontrolador de la empresa Espresif ESP32 en formato dev module. El mismo integra Wifi, Bluetooth, los GPIOs necesarios y también brinda la posibilidad de uso de sistema operativo FreeRTOS, que nos permite administrar un sistema multitareas robusto para obtener aprovechar de la manera óptima el algoritmo (figura 1.c).

Los modelos de robots siguen siendo fundamentales en la investigación actual, en su forma de control (Spong, Hutchinson, & Vidyasagar, 2020). Para el dominio de actuadores se diseñó un circuito encargado de recibir una señal de control PWM y alimentar a los motores en mayor o menor medida.

Se aprecia en la (figura 2.a) el TIP122, el cual está formado por un par de transistores NPN en conexión Darlington, su funcionamiento es igual al de un NPN. Excitando la base de este a través de una señal PWM podemos establecer un flujo de corriente entre emisor y colector y así alimentar a los motores. En esta placa podemos encontrar el conexionado de los dos motores como la alimentación y la señal de PWM proveniente de la placa de control.

Para controlar el robot se diseñó una segunda placa en donde va ubicado el módulo ESP32 (figura 2.b) junto con sus periféricos, los distintos pines para conexionado de sensores, motores, y alimentación de la placa de potencia.



a. Control de actuadores.

b. Circuito de Potencia.

Figura 2. Esquemáticos.

El diseño del robot seguidor de línea ha sido estudiado con técnicas de control PID (Parikh, Shah, & Sheth, 2014). El controlador PID procesa los datos del sensor y los utiliza para controlar el ángulo de giro a través de la velocidad enviada a cada motor, para de esta forma mantenerlo en curso.

Consideraciones para simplificar el análisis: el desplazamiento es causado únicamente por la rotación de las ruedas y la superficie en donde se desplaza es totalmente lisa.

El uso de configuraciones diferenciales ha mostrado ser eficaz en robótica (Solaque Guzmán, Molina Villa, & Rodríguez Vásquez, 2014). En estructura diferencial se consideran tres grados de libertad: las distancias x y y de posición y el ángulo ϕ de orientación. Para poder lograr un movimiento controlado, se deben tener dominio sobre “ V_r ” la velocidad de la rueda derecha y “ V_l ” la velocidad de la rueda izquierda. El objetivo de modelar el robot es buscar una relación directa de cómo afectan las entradas “ V_r y V_l ”, a los estados del sistema “ x, y, ϕ ”. Podemos observar los distintos grados de libertad, y se resalta su dependencia de la velocidad de cada motor.

Una vez definidas las entradas y salidas de nuestro sistema, notamos que nuestro robot puede trasladarse con una velocidad lineal “ v ” y rotar con una velocidad angular “ ω ”.

$$v = r (V_r + V_l) / 2 \tag{1}$$

$$\omega = r (V_r - V_l) / b \tag{2}$$

Siendo r = Radio de la rueda. b = distancia entre las ruedas V_r = Velocidad motor-derecha. V_l = Velocidad motor-izquierda. Teniendo las velocidades definidas planteamos las distintas ecuaciones que describen el movimiento del robot.

$$x = v * \cos \phi \tag{3}$$

$$y = v * \sen \phi \tag{4}$$

$$\phi = \omega \tag{5}$$

Trabajando algebraicamente con las ecuaciones alcanzadas llegamos a las ecuaciones 6, 7 y 8 que determinan el movimiento a partir de la tracción diferencial.

$$x = [(V_r + V_l) r \cos \phi] / 2 \tag{6}$$

$$y = [(V_r + V_l) r \sen \phi] / 2 \tag{7}$$

$$\phi = [(V_r - V_l) r] / b \tag{8}$$

Al integrar las ecuaciones (6), (7) y (8) se consigue la posición y orientación en un sistema de referencia absoluto. La modelación de robots móviles con tracción diferencial es una técnica clave para el diseño de robots (Collazo Cuevas et al., 2009). El movimiento de este se realiza con los motoredutores de 6V de corriente continua, cuyas características extraídas de hoja de datos se pueden apreciar en tabla 1:

Parámetro	Símbolo	Valor
Relación	η	30:1
Voltaje nominal	$V_{nominal}$	6V
RPM sin carga	θ_{free}	104.72 rad/s
Corriente máxima	i_{max}	1.6 A
Corriente nominal	i_{free}	100 mA
Torque máximo	T_{max}	0.0557 Nm

Tabla 1. Tabla de valores extraídas de datasheet motor DC

Para obtener el modelo se analiza la velocidad angular de cada rueda a partir del circuito equivalente para un motor de corriente directa, tal como se muestra en la figura 3.

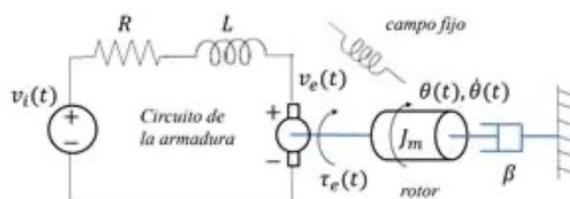


Figura 3. Circuito electromagnético de motor DC

(La imagen de la figura 3, fue extraída del sitio <http://controlautomaticoeducacion.com>)

Diversos autores han investigado las bases de los sistemas de navegación en robots móviles autónomos (Siegwart, Nourbakhsh, & Scaramuzza, 2011; Bhatia & Jain, 2016). Debido a que los parámetros proporcionados por el fabricante pertenecen a la salida del tren de engranes, se reducirá el estudio al considerar solamente un momento de inercia. A continuación, se obtienen las ecuaciones diferenciales de la parte eléctrica por la ley de voltajes de Kirchoff y de la parte mecánica por la ley de Newton.

$$Ri(t) + L di(t)/dt + v_e(t) = v_i(t) \tag{9}$$

Las ecuaciones del subsistema magnético son:

$$T(t) = P(t) / \omega_m(t) = k_t I(t) \tag{10}$$

$$e(t) = k_e \omega_m(t) = k_e d\theta(t)/dt \tag{11}$$

Reemplazando (11) aplicando Laplace a la ecuación (9), obtenemos la ecuación para la parte eléctrica.

$$R I(s) + L s I(s) + k_e s \theta(s) = V_i(s) \tag{12}$$

Por otro lado, para la parte mecánica del motor aplicamos las leyes de Newton para movimientos mecánicos rotacionales y obtenemos la ecuación 13.

$$T(t) = J_m d^2\theta(t)/dt^2 + b d\theta(t)/dt \tag{13}$$

$$\mathcal{L}[T(t)] = T(s) = J_m s^2 \theta(s) + b s \theta(s) \tag{14}$$

Reemplazando 10 en 14 se obtiene:

$$k I(s) = J_m s^2 \theta(s) + b s \theta(s) \therefore k_t I(s) / (J_m s + b) s = \theta(s) \tag{15}$$

Reemplazando 15 en 12 llegamos a:

$$R I(s) + L s I(s) + k_e [k_t I(s) / (J_m s + b)] = V_i(s) \tag{16}$$

Finalmente, para obtener la relación buscada entre la salida del motor y la entrada de voltaje tal como se observa en la ecuación 17.

$$\theta(s)/V_i(s) = k_t / [(R + Ls)(J_m s + b) + k_e k_t] = k_t / [J_m L s^2 + (J_m R + b L) s + R b + k_e k_t] \tag{17}$$

Las características eléctricas de Resistencia e Inductancia de armadura se obtienen a través de la medición del dispositivo físico, mientras que el voltaje de entrada será el valor nominal que especifica el fabricante. $R = 31,3 \Omega$ $L = 5,1 \text{ mH}$ $v_i(t) = 6V$. Los valores de las constantes eléctricas y magnéticas los calculamos con los datos presentados en la tabla 1 correspondientes a los actuadores utilizados.

$$k_e = v_{\text{nominal}} / \theta_{\text{free}} = 0.0573 \text{ v / (rad/seg)} \tag{18}$$

$$k_t = T_{\text{max}} / I_{\text{max}} = 0.034 \text{ N m / A} \tag{19}$$

Los fundamentos de robótica de (Schilling 1990) siguen siendo una referencia esencial en el análisis de parámetros, mecánicos de momento de inercia y la constante de fricción al ser más difíciles de cuantificar, se hicieron de uso de unos valores pequeños obtenidos por un motor similar al utilizado para este trabajo, los valores son los siguientes:

$$J_m = 1 \times 10^{-5} \text{ kgm}^2 \quad \beta = 1 \times 10^{-7} \text{ Nm/(rad/s)}$$

Una vez obtenidos los modelados de estos bloques que son de vital importancia para nuestro sistema, unimos cada uno de ellos y finalmente obtenemos un diagrama de nuestra función de transferencia final, se aprecia en figura 6.

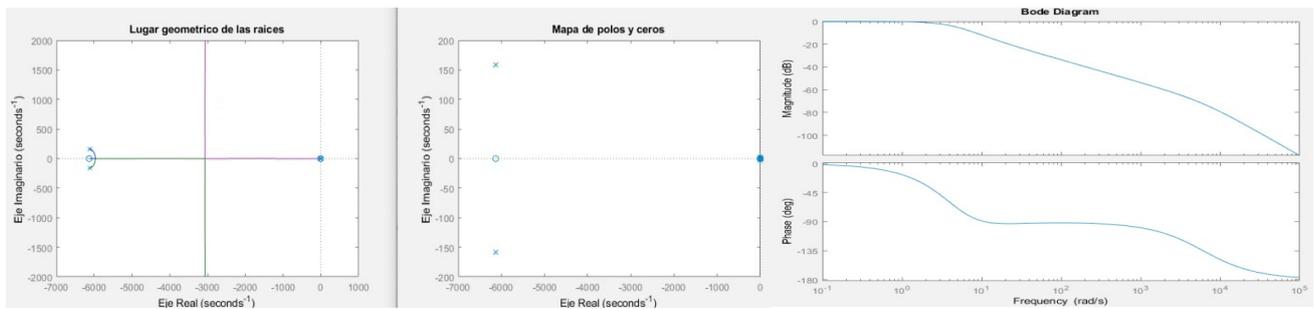
En nuestro diagrama se presenta un voltaje inicial base con el cual ambos motores se ven afectado en un inicio, nuestra retroalimentación va a afectar negativamente al voltaje de entrada del motor izquierdo y positivamente al voltaje de entrada del motor derecho y de esa manera logrará el giro deseado.

Para obtener una única función de transferencia de nuestro sistema se pueden aplicar técnicas de simplificación o software que facilite cálculos, dicha ecuación ya resuelta es la 20.

$$\frac{1.27e07s^2 + 7.814e10 s + 4.872 e 11}{s^5 + 1.227 e04 s^4 + 3.774 e07 s^3 + 4.696e08 s^2 + 1.464e9s} \quad (20)$$

Los robots móviles actuales, evolucionaron a técnicas de control avanzadas (Bhatia & Jain, 2016). Con la respuesta obtenida se calculó el lugar geométrico de las raíces además del mapa de polos y ceros, estos gráficos se pueden observar en la figura 6 (a), la cual nos va a ser útil para realizar algunos análisis.

La función de transferencia ya posee un término integrador 1/s, lo que ocasiona que no sea necesario utilizarlo en el controlador PID. Por otro lado, también se obtuvo el diagrama de bode correspondiente a nuestro Sistema como se aprecia en la figura 4 (b), con el efecto de sus polos y ceros y donde se puede analizar la frecuencia de cambio de set point a la que se ve afectada la fase y la amplitud.



a) diagrama de polos y ceros b. Diagrama de bode del sistema

Figura 4. Diagrama de bode del sistema (Matlab)

Con todos los valores calculados, podemos finalizar la construcción de la simulación en Simulink, uniendo los bloques modelados junto al controlador PID como indica la figura 5. Se puede observar el ángulo de giro y el desplazamiento en el plano de nuestro robot simulado a través de XY ploter.

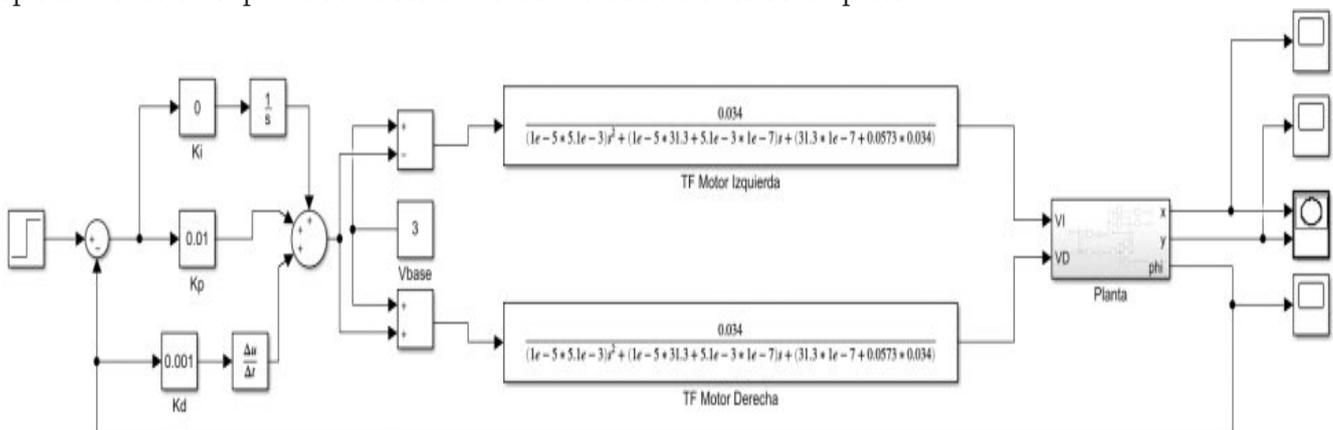


Figura 5. Robot seguidor de línea modelado

El diseño de un robot velocista controlado se pudo implementar (Aucatoma Tiban, 2022). El código se hizo de manera modular, separando las funcionalidades en librerías para un mejor manejo y simpleza a la hora de realizar modificaciones. Para el caso de la lectura de los sensores se hizo una librería utilizando programación orientada a objetos para facilitar la utilización de las distintas funciones a lo largo del código.



Figura 6. Interfaz de usuario

La interfaz de usuario mostrada en la figura 6 se realizó con HTML, estilizándolo con CSS, dándole funcionalidad con JS. Estos tres archivos se encuentran guardados en la memoria flash de la ESP32 a través de SPIFFS que es un sistema de archivos ligero creado para microcontroladores. El ajuste calculado por el PID se aplicará de manera positiva en el canal PWM correspondiente al motor de la derecha y negativamente al motor de la izquierda, debido a la manera en que planteamos el error.

Para el control general de las distintas etapas del robot se programó una máquina de estados encargada de monitorear y comandar al robot, esta es una de las tareas principales y corre en el núcleo 1 del microcontrolador.

Resultados

En el primer encendido del prototipo se debió obtener a prueba y error la velocidad de partida necesaria para que el robot se traslade sobre una línea recta y que dicho valor no sea demasiado alto como para que salga de pista. Una vez configurado el valor de velocidad de partida se calibraron los parámetros del controlador PID, primeramente, la constante del término proporcional K_p , la misma presentó un correcto funcionamiento al valor de 50, en el caso de K_i al no existir error estacionario se dejó en 0, y K_d dio buenos resultados en un valor de 4. Esto se pudo calibrar de una manera sencilla desde la interfaz de usuario.

Conclusiones

La interfaz de usuario permite una configuración inalámbrica y facilita la rapidez y facilidad de la calibración. La posibilidad de monitorear gráficamente el error actual en todo momento brinda facilidad para deducciones y nuevas calibraciones. Tanto el algoritmo del controlador PID como el de FreeRTOS permite una rápida acción de los motoredutores, ya que con cada lectura de los sensores en pista puede predecir los errores y usar los anteriores para mejorar su funcionamiento y, por tanto, la autonomía del movimiento de cada motor sea independiente según lo requiera. Gracias al análisis de los polos y ceros se detectó que el término integrador ya estaba en la función de transferencia que describía al sistema, ya que no existía término independiente en el denominador lo que generaba un polo en el origen. Esto describe un integrador mecánico, que en nuestro sistema se presenta ya que al realizar una corrección tras un error sensado no vuelve al origen si no que se mantiene en esa corrección. Al usar nuestro prototipo por un tiempo prolongado notamos que la respuesta de nuestro sistema varía, exigiendo una nueva calibración para volver a su comportamiento ideal

Referencias

- Parikh, P., Shah, H., & Sheth, S. (2014, June). A Mechatronics design of a line tracker robot using Ziegler Nichols control technique for P, PI and PID controllers. In International Mechanical Engineering Congress (IMEC-2014) (pp. 13-15).
- Martinez Ortiz, David (2015-2016). Robótica para seguimiento de líneas (robotics for line tracking). Escola Tecnica Superior d'Enginyeria de Telecomunicació de Barcelona (pp. 1-106).
- L. E. Solaque Guzmán, M. A. Molina Villa y E. L. Rodríguez Vásquez, «Seguimiento de Trayectorias con un Robot Móvil de Configuración Diferencial,» Ing. USBMed, vol. 5, n° 1, 2014.
- J. I. Collazo Cuevas, E. Gorrostieta Hurtado, J. C. Pedraza Ortega, U. G. Villaseñor Carrillo, R. A. Romero Torres y M. A. González Aguirre, «Modelación de un Robot Móvil de Dos Ruedas con Tracción Diferencial,» 2009.
- Aucatoma Tiban Jairo Patricio (febrero 2022). Diseño E Implementación De Un Robot Velocista Controlado Mediante Wifi Utilizando Una Tarjeta De Desarrollo Esp32- Wroom. Instituto Superior Tecnológico Vida Nueva (pp. 27-40).
- Siegwart, R., Nourbakhsh, I., & Scaramuzza, D. (2011). *Introduction to autonomous mobile robots* (2^a ed.). MIT Press.
- Spong, M. W., Hutchinson, S., & Vidyasagar, M. (2020). *Robot modeling and control* (2^a ed.). Wiley.
- Bhatia, S., & Jain, M. (2016). *Mobile robots: Navigation, control and remote sensing*. Wiley.
- Schilling, R. J. (1990). *Fundamentals of robotics: Analysis and control*. Prentice Hall.

Desarrollo de un Convertidor Matricial desde las fórmulas matemáticas hasta el prototipo físico

Matrix Converter development from the math formulas to the hardware prototype

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Maximiliano Bernardo

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Delta, Argentina
mbernardo@frd.utn.edu.ar

Javier Coky

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Delta, Argentina
jcoky@frd.utn.edu.ar

Luis Perna

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Delta, Argentina
lperna@frd.utn.edu.ar

Eduardo Arostegui

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Delta, Argentina
earostegui@frd.utn.edu.ar

Emiliano Marinucci

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Delta, Argentina
emarinucci@frd.utn.edu.ar

Hernan Martinez Reina

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Delta, Argentina
hmartinezreina@frd.utn.edu.ar

Joel Atia

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Delta, Argentina
jatia@frd.utn.edu.ar

Gabriel Pitter

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Delta, Argentina
gpitter@frd.utn.edu.ar

Resumen

Se presentan aspectos del desarrollo de un Convertidor Matricial con modulación mediante Vector Espacial desde el modelo teórico abstracto representado por expresiones matemáticas hasta la construcción del prototipo. Se presentan las fórmulas básicas, un modelo en Matlab© generado a partir de éstas, que se utilizó para la simulación del proyecto, y la traslación de este modelo de simulación a un programa en C++ que se ejecuta en un microprocesador.

Palabras clave: Convertidor matricial, modulación del vector espacial.

Abstract

This work shows aspects of the development of a Space Vector Modulation Matrix Converter from the theoretical abstract model represented through mathematical formulas up to the construction of a prototype. The basic formulas are shown, a Matlab© model generated from these expressions, which was used for the project simulation, and the translation of this simulation model to a C++ program that is executed in a microprocessor.

Keywords: Matrix converter, space vector modulation.

1-Introducción

El presente trabajo surge como parte de un proyecto en curso en el Grupo de Investigación en Electrónica de Potencia de la Facultad Regional Delta de la Universidad Tecnológica Nacional consistente en el desarrollo de un convertidor matricial de corriente alterna trifásica de frecuencia variable a corriente alterna trifásica de frecuencia fija, con la intención de emplearlo en aerogeneradores eliminando la regulación de velocidad de estos. Al presente el trabajo se encuentra en la fase de construcción de un prototipo, del cual solamente se dispone de los circuitos de control de disparo y las interfases de potencia de excitación de los IGBT's. El desarrollo efectuado hasta el momento ha requerido atravesar distintas etapas, descritas en este trabajo, desde la transformación de conceptos teóricos en programas de simulación y luego la implementación de éstos sobre un microcontrolador. La primera de ellas consistió en partir del modelo matemático de la técnica de Modulación del Vector Espacial, para luego implementarlo en un entorno de Simulación por Software. Se realizó en primer lugar la simulación partiendo de principios totalmente teóricos (modelo de Venturini Alessina) aplicado a un variador de velocidad de un motor asíncrono con carga de ventilador, y luego la misma simulación pero implementando la modulación de vector espacial, ambos presentados oportunamente (Perna et al., 2017, 2022). A partir de este punto se requirió pasar a la etapa siguiente que consiste en transformar este modelo de simulación por software a la implementación en un prototipo funcional que realice la conversión de frecuencias. Como parte del desarrollo se diseñó el circuito de control de conducción de los IGBT y el software de control.

El Convertidor Matricial, si bien es conocido desde hace tiempo, partiendo de los trabajos pioneros de Venturini Alessina (Venturini, Alessina, 1980) pasando por diversos trabajos (Rodríguez et al., 2002, 2012), (Jusilla, 2007), no tiene aún un desarrollo importante en aplicaciones comerciales, destacándose la existencia de variadores de frecuencia Yaskawa basados en este método (Yaskawa Electric Corporation, 2014). También es objeto de tratamiento en libros de texto, aplicados a sistemas de generación eléctrica renovables (Fang, Hong, 2013).

El Convertidor Matricial convierte tensiones y corrientes m -fásicas de entrada a tensiones y corrientes n -fásicas a su salida. Esta facilidad de convertir de m a n fases e incluso variar los niveles de tensión a voluntad mediante la modulación de la conducción de las llaves del convertidor, hace que el Convertidor Matricial sea designado también como "transformador universal".

El funcionamiento del método de Modulación Espacial (SVM) es ampliamente conocido y de aplicación hoy en día prácticamente universal en los variadores de frecuencia comerciales para motores de CA, como por ejemplo en los mandos de Control Digital Directo (DTC) de ABB a partir de rectificación y DC Link. Se lo encuentra desarrollado en la literatura y en textos clásicos desde hace años (Vas, 1998).

La aplicación de un convertidor matricial a un aerogenerador permitiría que, dentro de cierto rango de velocidades del alternador, se pueda convertir directamente de CA trifásica de frecuencia variable a CA trifásica de frecuencia fija. El método tiene la ventaja de eliminar el DC Link, pero tiene también sus inconvenientes, tales como las limitaciones en el rango de tensión en el que es posible la regulación, la imposibilidad de sostener durante un período corto (fracciones de segundos) la tensión de salida ante una desconexión del aerogenerador justamente a causa de la falta del DC link. Esto constituye un inconveniente para la operación en microrredes para cumplir con regulaciones (IEEE Standards Coordinating Committee 21, 2011) tema a estudiar una vez que se tenga un prototipo funcionando.

2-Desarrollo

2-1-Programación

El trabajo que se describe a continuación es la traslación del modelo de simulación del Convertidor matricial realizado con Matlab© Simulink© en un trabajo previo (Perna et al., 2022), a un programa ejecutable en tiempo real sobre un microcontrolador ARM empleando una placa de desarrollo EDU-CIAA-NXP, de la serie Computadora Industrial Abierta Argentina (<https://www.proyecto-ciaa.com.ar/>). Esta placa tiene una gran flexibilidad dado su código y *hardware* abiertos y su velocidad es compatible con la necesaria para poder excitar los elementos de potencia adecuadamente. Posee salidas PWM que son útiles en esta aplicación (Lutenberg et al., 2022) (NXP, 2019).

Esta traslación se realizó empleando el lenguaje de programación C++, que tiene la ventaja de ser de relativamente bajo nivel haciéndolo apto para trabajar en tiempo real, es fácilmente enlazable con lenguaje ensamblador en caso de requerirse altas velocidades de ejecución y existe una amplia cantidad de bibliotecas disponibles para tareas de tiempo real.

El método de modulación por vector espacial (SVM) utiliza la representación de vectores espaciales de las corrientes (tensiones) m-fásicas de entrada y las corrientes (tensiones) n-fásicas de línea de la salida de un Convertidor Matricial (Rodriguez et al., 2012, Jussila, 2007). En nuestro caso el Convertidor a implementar es trifásico a trifásico (3 entradas a 3 salidas).

Se genera un vector espacial de tensión de salida de referencia que idealmente representa las tensiones de línea deseadas. Luego se transforman las tensiones de entrada mediante el convertidor matricial para aproximar la salida real al vector espacial de referencia.

El Vector Espacial para valores instantáneos de variables trifásicas, corriente o tensión, es definido, en forma genérica, por la expresión siguiente:

$$x = \frac{2}{3}(x_a + ax_b + a^2x_c) \tag{1}$$

donde x es el Vector Espacial, x_a , x_b y x_c son los valores instantáneos de las variables trifásicas y $a = e^{j2\pi/3}$.

Esta ecuación se ha modelado para simulación en el trabajo antes citado según se ilustra en la Figura 1

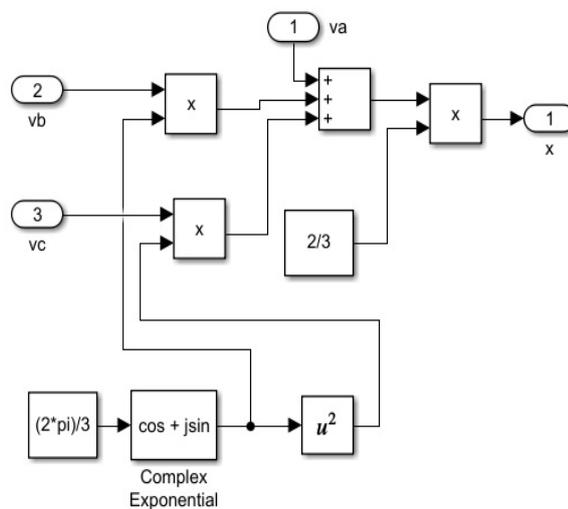
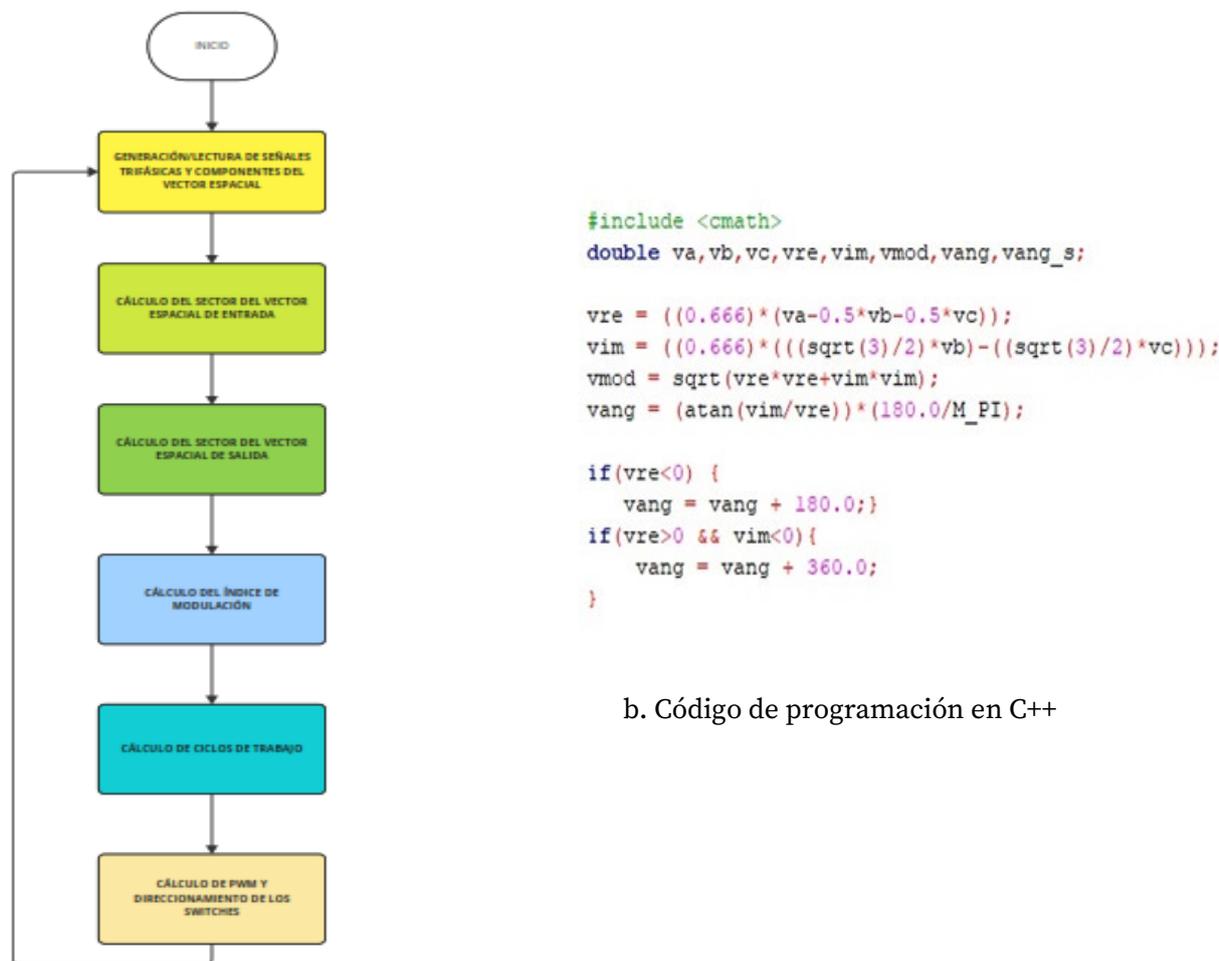


Figura 1. Modelado del Vector Espacial.

En este modelo las entradas v_a , v_b y v_c representan x_a , x_b y x_c de la (1) respectivamente, y la salida x , la variable instantánea x de la (1). El modelo proporciona en cada instante el valor del módulo y el ángulo del Vector Espacial. La Figura 2 presenta el diagrama de flujo simplificado en (a) y el código en (b) implementado con el auxilio de la biblioteca <cmath> que contiene una serie de funciones trigonométricas y exponenciales entre otras.

El ángulo del Vector Espacial entre 0° y 360° se divide en 6 sectores de 60° y se requiere conocer en cada instante el sector donde se encuentra y el ángulo dentro del sector del Vector Espacial de entrada como el de salida. Esta lógica se modeló oportunamente con Matlab© Simulink© como se presenta en la Figura 3 (a) respondiendo al diagrama vectorial de la Figura 3 (b) para luego codificarla en C++ según la Figura 3 (c).

Los 6 vectores que determinan los sectores de entrada y salida del vector espacial son vectores directrices que describen al vector espacial cuando éste tiene el ángulo coincidente con alguno de ellos. Cuando el vector espacial se encuentra entre dos vectores directrices su determinación es a partir de una combinación de los vectores directrices correspondientes aplicando la técnica de modulación por ancho de pulso (PWM) (Rodríguez et al., 2012). De esta manera se requiere un ciclo de trabajo para cada vector dentro de un período de muestreo del vector espacial.



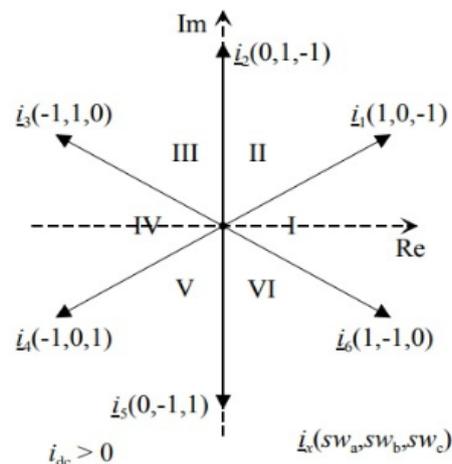
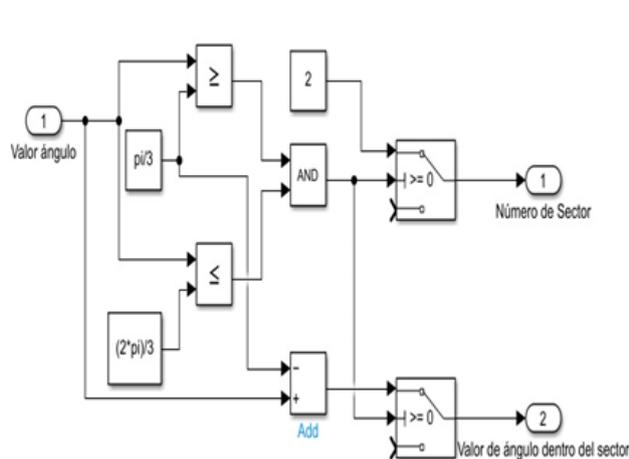
a. Diagrama de flujo simplificado

b. Código de programación en C++

Figura 2. Código C++ para el Vector Espacial

La combinación de los 4 vectores, 2 de salida y 2 de entrada, determina en cada período de muestreo la posición y el ángulo del vector espacial deseado. En algunos períodos es necesario el vector nulo para completar la formación del vector espacial. Los ciclos de trabajo se calculan en la simulación en Matlab© Simulink© y en la programación en C++ utilizando su definición matemática. De acuerdo con el sector donde se encuentra el vector espacial de entrada (I, II, III, IV, V o VI) y al sector donde está el vector espacial de salida (I, II, III, IV, V o VI) queda definida la secuencia de los PWMs y los Transistores Bipolares de Compuerta Aislada (IGBT) que deben ser activados en cada secuencia. Esto nos proporciona cuáles de las 3 fases de entrada se conecta con cada fase de salida y con qué ciclo de trabajo.

El código de control de excitación de las llaves del convertidor se corrió en un simulador Proteus 8 Professional y verificado su correcto funcionamiento se cargó definitivamente en la placa CIAA verificándose el funcionamiento de la secuencia de excitación a los IGBT's, a una frecuencia del PWM de 5 KHz.



a. Modelado con Matlab© Simulink©

b. Diagrama de vectores directrices

```

if (vang >= 330 && vang <= 360) {
    sector_actual = 1;
    ang = vang - 330;
} else if (vang >= 0 && vang < 30) {
    sector_actual = 1;
    ang = vang + 30;
} else if (vang >= 30 && vang < 90) {
    sector_actual = 2;
    ang = vang - 30;
} else if (vang >= 90 && vang < 150) {
    sector_actual = 3;
    ang = vang - 90;
} else if (vang >= 150 && vang < 210) {
    sector_actual = 4;
    ang = vang - 150;
} else if (vang >= 210 && vang < 270) {
    sector_actual = 5;
    ang = vang - 210;
} else {
    sector_actual = 6;
    ang = vang - 270;
}
    
```

c. Código de programación en C++

Figura 3. Determinación de sector y ángulo del Vector Espacial

2-2- Implementación del Hardware

El programa se montó sobre la placa EDU-CIAA-NXP que posee un procesador ARM Dual Core de 32-bit Cortex-M4F / Cortex-M0 LPC 4337 con frecuencia de reloj de 208 MHz, 1 MB flash y 136 kB SRAM. Se diseñó una interfase para la excitación de cada llave de conmutación de la matriz, denominada Unidad Básica de Disparo (UBD). Esta recibe desde la placa de control la orden de disparo para cada elemento de la llave conmutación, conformada por dos IGBT's en serie con diodos *freewheel* conectados en antiparalelo para conducir en ambos sentidos. La UDB provee señales de realimentación a la placa de control sobre detección de fallas y reset. Cada UBD tiene su propia fuente de alimentación independiente de las restantes debido a que cada uno de los IGBTs se encuentran a distinto potencial. El diseño se basó en el circuito integrado *gate driver* UCC21750 de Texas Instruments, el cual provee, además de la correspondiente aislación galvánica entre control y potencia, protección contra cortocircuitos a partir del valor de la dV_{ce}/dt de los transistores de potencia. La placa incluye un sensor de corriente de efecto Hall, ACS758, de modo que la UDB provee

sendas salidas de control indicando presencia de corriente en uno u otro sentido respectivamente, así como una salida analógica proporcional al valor de corriente en el interruptor.

3-Conclusiones

Hasta este momento del desarrollo hemos verificado que las expresiones matemáticas que establecen el comportamiento del Convertidor Matricial con modulación del Vector Espacial, funcionan correctamente implementadas en un hardware real. En este momento hay más trabajo futuro que conclusiones, ya que se deberá continuar con diversas fases que incluyen el análisis del comportamiento de las llaves con cargas inductivas y eventuales modificaciones al software ya desarrollado para lograr el apagado correcto de las llaves, avanzar en el diseño y construcción de prototipos para prueba del convertidor en modo frecuencia fija a variable con un motor real para recién pasar a realizar ensayos con el mismo funcionando como convertidor de frecuencia variable a fija. En este punto se deberán diseñar e implementar algoritmos de control adecuados para mantener frecuencia y tensión de salida.

4-Referencias

- Fang Lin Luo, Hong Ye, (2013) "Renewable Energy Systems, Advanced Conversion Technologies and Applications", CRC Press. Taylor & Francis Group. ISBN: 13: 978-1-4398-9110-0 (eBook - PDF)
- IEEE Standards Coordinating Committee 21 on Fuel Cells, Photovoltaics, Dispersed Generation, and Energy Storage (2011) "IEEE Guide for Design, Operation, and Integration of Distributed Resource Island Systems with Electric Power Systems. IEEE-SA Standards Board
- Jussila, M., (2007). "Comparison of Space-Vector-Modulated Direct and Indirect Matrix Converters in Low Power Applications", Thesis (Doctor of Technology), Tampere University of Technology, Tampere Finlandia, 148.
- Lutenberg, A., Gomez, P., Pernia, E., (2022). "A Beginner's Guide to Designing Embedded System Applications on Arm® Cortex®-M Microcontrollers", Arm Education Media, 978-1-911531-42-5.
- NXP, (2019)"UM10503 - LPC43xx/LPC43Sxx ARM Cortex®-M4/M0 multi-core microcontroller User Manual"
- Perna L., Arostegui, E., Marinucci, E., Pitter, G., Bernardo, M., Coky, J., Elias, E., (2017). "Simulación de una aplicación real de un Convertidor Matricial Directo".
- Perna L., Arostegui, E., Marinucci, E., Pitter, G., Bernardo, M., Coky, J., Martínez Reina, H., Mezzelani, E., (2022). "Simulación de un Convertidor Matricial utilizando el método de Modulación Espacial".
- Rodriguez, J., Silva E., Burgos E., Blaabjerk F., (2002) "Modelling, Analysis and Simulation of Matrix Converters". Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile.
- Rodriguez, J., Rivera, M., Johan W. Kolar, J., Wheeler, P., (2012). "A Review of Control and Modulation Methods for Matrix Converters", IEEE Transactions on Industrial Electronics, VOL. 59, (NO. 1), 58-70.
- Vas, P. (1998) *Sensorless Vector and Direct Torque Control*. U.S.A. Oxford University Press.
ISBN-10: 01-9856-465-1 ISBN-13: 978-01-9856-465-2
- Venturini M. and Alesina A., (10980) "The generalized transformer: A new bidirectional sinusoidal waveform frequency converter with continuously adjustable input power factor", Proc. IEEE PESC 80, pp. 242-252.
- Yaskawa Electric Corporation. "Low Harmonic Regenerative Drive for Industrial Applications - U1000 Industrial Matrix Drive -Technical Manual Manual" Manual N°. SIEP C710636 04D (2014)
<https://www.proyecto-ciaa.com.ar/> "Página oficial Proyecto CIAA"

Monitoreo de Variables ambientales para diagnóstico y ensayo de paneles solares aplicando tecnología IoT

Monitoring of environmental variables for diagnosis and testing of solar panels applying IoT technology

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Yesica Ayelen Ortega Crespo

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Grupo de Investigación y Transferencia en Electrónica Avanzada (Becaria estudiante), Argentina.
yesicaayelenortega@gmail.com

Fernando Cagnolo

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Grupo de Investigación y Transferencia en Electrónica Avanzada, Argentina.
fjcagnolo@hotmail.com

Carlos Centeno

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Grupo de Investigación y Transferencia en Electrónica Avanzada, Argentina.
ccenteno@gmail.com

Gabriel Benedetti

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Grupo de Investigación y Transferencia en Electrónica Avanzada, Argentina.
gabrielnbenedetti@yahoo.com.ar

Federico Linares

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Grupo de Investigación y Transferencia en Electrónica Avanzada, Argentina.
flinares4@hotmail.com

Resumen

Se plantea el desarrollo de un prototipo para ensayar y monitorear de forma remota, un módulo fotovoltaico para corroborar las especificaciones técnicas del fabricante y su posterior seguimiento de su funcionamiento luego de ser instalado. Para dicho monitoreo es necesario medir la radiación solar, la medición de la temperatura ambiente y la del panel. El abordaje se realiza a partir de sensores económicos y accesibles en el mercado local y la utilización de tecnología IOT, para el monitoreo remoto. Existen diversos instrumentos que nos permiten realizar las mismas mediciones de forma individual como piranómetros, medidores de temperatura para exteriores y sonda dedicada a la medida del panel, o en conjunto, como estaciones meteorológicas más bien orientadas a la pronosticación del clima. Pero presentan la desventaja de que su costo es muy elevado, puede superar los 400USD, y no están orientados específicamente a nuestro objetivo en particular.

Palabras clave: Energías Renovables, Radiación Solar, Piranómetro, Telemetría Web, IoT, Panel Fotovoltaico

Abstract

The development of a prototype to test and remotely monitor a photovoltaic module is proposed to corroborate the manufacturer's technical specifications and its subsequent monitoring of its operation after being installed. For this

monitoring it is necessary to measure solar radiation, measure the ambient temperature and that of the panel. The approach is carried out using economical and accessible sensors in the local market and the use of IOT technology for remote monitoring. There are various instruments that allow us to carry out the same measurements individually, such as pyranometers, outdoor temperature meters and a probe dedicated to measuring the panel, or together, as meteorological stations more focused on climate forecasting. But they have the disadvantage that their cost is very high, it can exceed 400USD, and they are not specifically oriented towards our particular objective

Keywords: Renewable Energies, Solar Radiation, Pyranometer, Web Telemetry, IoT, Photovoltaic Panel

Introducción

Alcanzar los objetivos del Acuerdo de París, en la reducción de gases de efecto invernadero, exige realizar notables esfuerzos para aumentar la eficiencia energética y la utilización de las energías renovables. Es por esto que la generación fotovoltaica está experimentando un gran crecimiento y se hace necesaria una evaluación precisa de la capacidad de generación de sistemas fotovoltaicos, para determinar de forma correcta la eficiencia de los módulos, así como el recurso solar en cantidad y calidad.

Los fabricantes de módulos fotovoltaicos (FV) garantizan la eficiencia de su producto respecto a las condiciones estándar de medida, definidas a la temperatura de celda de 25 °C, 1000 W/m² de irradiancia y distribución espectral correspondiente a una masa de aire AM 1,5G. Las variaciones climáticas ocasionan que la energía que entrega una instalación fotovoltaica cambie y que, además, no sólo los cambios en la irradiación afectan al rendimiento de la instalación, desde el punto de vista eléctrico, existen otros factores como el espectro, el ángulo de incidencia de los rayos solares, la temperatura junto con la velocidad y dirección del viento. En este contexto, se requieren datos del recurso solar utilizable y la energía real que pueden entregar los paneles, para evaluar con precisión su rendimiento.

Medidores de irradiancia

Para determinar el recurso solar disponible se utilizan sensores del tipo termopila (Piranómetros térmicos) o bien, sensores que funcionan a través del efecto fotovoltaico.

Un Piranómetro térmico es un elemento capaz obtener la medida de radiación solar global (directa y difusa o reflejada) de un gran intervalo de longitud de onda y con un campo de amplitud de 180°. En este, la radiación incide sobre dos cúpulas semiesféricas de vidrio y llega a una pila termoeléctrica formada por una serie de termopares (dos metales distintos), que captan el calor generando una diferencia de potencial proporcional a la diferencia de temperatura de los extremos de los termopares. Esa pila se encuentra pintada de negro con el objetivo de absorber la máxima radiación posible. También se puede filtrar el rango de frecuencias por medio de un filtro en el domo de vidrio. En este caso, la cúpula filtra las radiaciones en el espectro de radiación solar, de 300 a 3000 nm. Su ubicación ha de ser en zonas abiertas, para evitar elementos que puedan obstruir la radiación en el dispositivo. Este piranómetro es el más utilizado comercialmente, caracterizado por una alta precisión y una sensibilidad “plana” (le afectan de menor forma las condiciones externas como nubes o contaminación). Los piranómetros térmicos, son instrumentos muy estables cuyos precios son más altos que los medidores que utilizan celdas FV. Típicamente, los piranómetros deben ser recalibrados aproximadamente una vez al año, ya que la tensión de salida puede presentar desvíos con el tiempo de exposición debido a la degradación de la superficie negra.

Sensores que funcionan a partir del efecto fotovoltaico

Los sensores del tipo fotovoltaico pueden ser: Celda de referencia calibrada o Sensor fotodiodo. En ambos casos el principio de funcionamiento se fundamenta en el efecto fotoeléctrico. Los fotones con energía por encima del gap (Luque y Hegedus, 2011) se convierten directamente en las cargas positivas y negativas que pueden ser recogidas y utilizada en un circuito externo, es decir, trabajan sobre un determinado rango del espectro solar.

La celda FV o fotodiodo generan una corriente que depende de la cantidad y la distribución espectral de los fotones, por esta los valores de corriente se encuentran afectados por las variaciones en la distribución espectral causado por nubes, vapor de agua, aerosoles, masa de aire, etc, (Osterwald, 1986).

En general, la corriente de la celda se obtiene mediante la medición de la caída de tensión a través una resistencia de pequeño valor y alta estabilidad térmica, la cual se conecta sobre los terminales positivo y negativo de la celda FV (Vera et al, 2005). La señal de tensión medida es proporcional a la irradiancia.

Como se describe, estos sensores son susceptibles de las condiciones externas, aunque presentan una rápida respuesta, ligereza y menor costo, lo cual hace que hayan ido ganando terreno a los piranómetros convencionales.

El desarrollo que plantea este informe surge de la necesidad de ensayar un panel solar antes de instalarlo y de monitorear su desempeño de forma remota pudiéndose registrar valores históricos y presentarlos en formato de reporte, y que se dispongan en un sitio Web.

Cuando esté todo el sistema instalado, dicha instalación corresponderá al proyecto acreditado, “Derivador de Excedente de Energía Fotovoltaica con Mecanismo Seguidor de dos ejes” que se desarrolla en el Grupo de Investigación y Transferencia en Electrónica Avanzada (G.In.T.E.A.) de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Córdoba.

Objetivos

Diseño y construcción de dispositivo de bajo costo, con componentes accesibles en el mercado local, que permita la medición de: Irradiación solar, Temperatura y Humedad ambiente, Temperatura de panel fotovoltaico y utilización de tecnología IoT para su monitoreo y posterior análisis.

Desarrollo

Para la implementación del prototipo se utilizaron los componentes que se describen a continuación.

Sensor fotodiodo BPW21

Se eligió el fotodiodo BPW21, Fig. 1, ya que al momento del abordaje del proyecto era lo único que se conseguía en el mercado local y a precio accesible, además de contar con ventana de vidrio plana. Es suficientemente estanco, la señal proporcionada es fácilmente procesable de manera que requiere circuitería simple, mide perfectamente la radiación solar y no únicamente la ultravioleta como la mayoría de los fotodiodos, su ancho espectral cubre desde los 450nm a 750nm y sus condiciones operacionales de temperatura son flexibles.

De las características técnicas asociadas con el sensor BPW21, se destacan:

- Longitud de onda de la sensibilidad pico: 560 nm.
- Mínima longitud de onda detectada: 460 nm.
- Máxima longitud de onda detectada: 750 nm.
- Fotosensibilidad: 0,34 A/W.
- Angulo de sensibilidad media: 55°. Área activa: 7,5 mm².
- Potencia equivalente al ruido: 1,4 x10⁻⁵ Lux/Hz^{1/2}.
- Temperatura de operación: -25°C a 100 °C.
- Capacitancia: a 0V@490 pF; a 5V@170 pF



Figura 1: Sensor fotodiodo BPW21

Para reproducir el comportamiento de un dispositivo térmico, se agrega un elemento difusor, pero este prototipo detectará principalmente la radiación directa ya que estará montado en el plano del panel FV guiado por el seguidor solar, solo se utilizará un domo de vidrio transparente por razones de estanqueidad. (Vera et al, 2005).

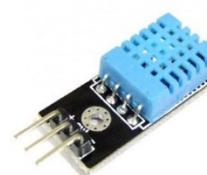
Medición de temperatura/humedad ambiente y temperatura del Panel

Para la medición de la temperatura del panel solar, se optó por un sensor LM35, al que se lo alojó en el interior de un cilindro de aluminio, el cual fue mecanizado a las medidas adecuadas tomadas de un instrumento comercial para dicho fin, se lo acompañó de una varilla con sopapas en los extremos para adherir al panel Fig 2a.

Para la medición de la temperatura y humedad ambiente, se optó por el uso de un DHT11. Fig. 2b.



a. Sonda de Temperatura para Panel



b. Sensor de temperatura y humedad DHT11

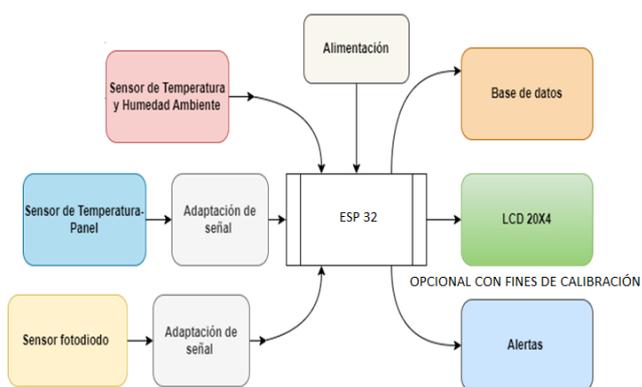
Figura 2: Medición de temperatura y humedad

Los sensores de medición de temperatura del panel solar con LM35 y de temperatura ambiente/ humedad DHT11, no fueron contrastados ya que se tomaron como válidas las exactitudes afirmadas por los respectivos fabricantes en esta primera etapa, puesto que en esta presentación se focalizó el desarrollo del medidor de irradiancia.

Sistema embebido ESP32

El ESP32 es un sistema embebido de bajo costo y bajo consumo de energía con un microprocesador LX6 de 32 bits de doble núcleo en un chip que posee wifi y Bluetooth integrados.

A continuación, se presentan los respectivos diagramas en bloques de la etapa de Software y Hardware.



a. Diagrama en bloques - Etapa Hardware

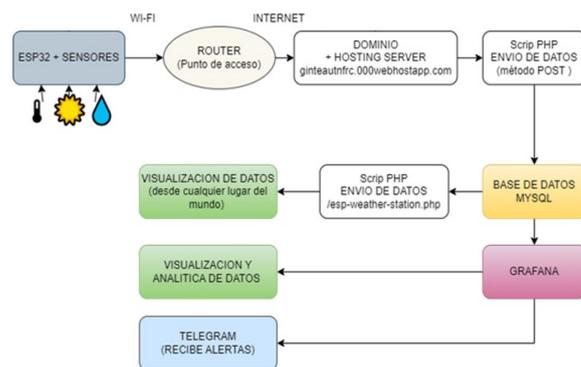
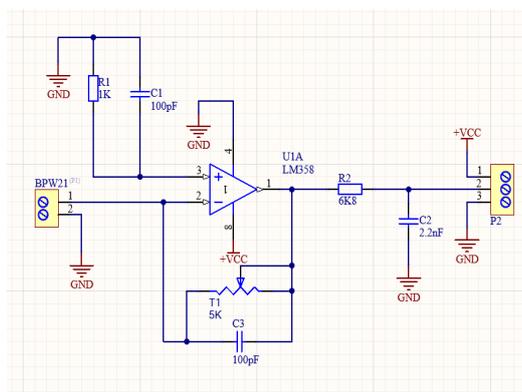


Diagrama en bloques - Etapa Software

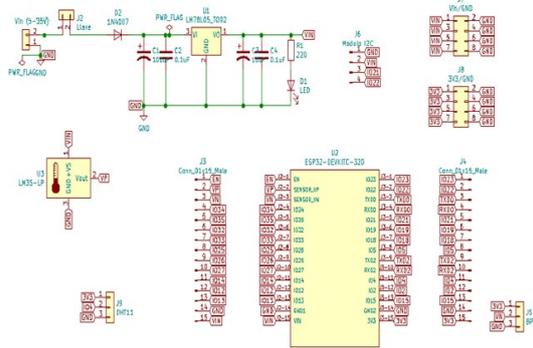
Figura 4 – Diagramas en bloques

Circuito acondicionador de señal

Debido a la rápida respuesta de detección de cambios de luz, amerita un amplificador de transimpedancia, ya que se necesita una tensión proporcional a la corriente que entrega el fotodiodo, y con una amplificación dependiente de la resistencia de realimentación, el capacitor en paralelo proveerá una acotación en la banda superior. El filtro pasabajos a la salida además de elevar el orden del filtrado, actúa como filtro antialias previo a la etapa de conversión, con lo cual atenuará dicha rapidez de respuesta y evitar ruidos que alteren las mediciones. También se dispone de una red de compensación de corrientes de offset para pequeños desequilibrios en las entradas. En la Fig. 5, se presentan los esquemas de acondicionamiento analógico de procesamiento digital.



a. Esquema del amplificador



b. Circuito Digital

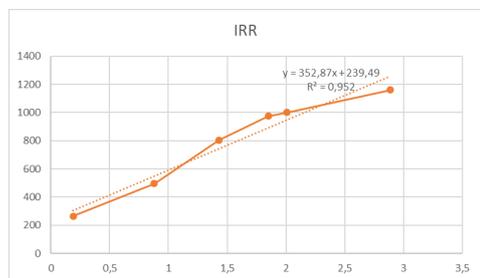
Figura 5 – Circuitos electrónicos

Metodología para la obtención la función de transferencia de irradiancia Vs tensión

Las mediciones se realizaron durante tres días consecutivos en noviembre del 2023 con días despejados, a partir de las 13hrs. Se colocaron el medidor patrón y el equipo prototipo, en un mismo plano de manera que la irradiación fuera igual para ambos. Para simular distintas condiciones de radiación, se variaba la inclinación del

plano de medición, y se procedía al registrando de la tensión de salida del acondicionador de señal. De esta manera se construyó la tabla para obtener la función de transferencia y poder determinar la ganancia de la etapa de acondicionamiento con el fin de no superar el límite de tensión requerido por el conversor A/D del microcontrolador, correspondiente a una radiación máxima, incluido un margen de seguridad.

En la Fig. 6a se observa la salida del sensor de irradiancia en función de la potencia recibida.



a. Voltaje de salida del sensor Vs irradiancia



b. Instrumento para calibración

Figura 6 – Medición de Irradiancia

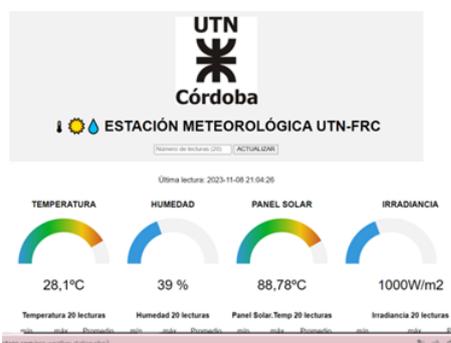
Software para Visualización

El objetivo de este proyecto es tener su propio nombre de dominio y cuenta de alojamiento o "Hosting", que permita almacenar lecturas de sensores del ESP32. Para poder visualizar las lecturas desde cualquier parte del mundo accediendo al propio dominio del servidor. El sitio de alojamiento que se utilizó en este proyecto fue la versión gratuita de Webhost. Si bien es posible tener funcionalidades más complejas con este servicio, la versión elegida cubre los requerimientos del proyecto.

Una vez registrado para obtener una cuenta de alojamiento y configurar un nombre de dominio, se inicia una sesión en nuestro Panel y configuramos la base de datos en .php con los scripts desarrollados para tal fin. El sitio web no se encuentra desplegado para el uso fuera del alcance del proyecto en sus etapas de validación.

Para realizar las lecturas de los diferentes sensores se utilizó el IDE de Arduino. Se conectó al ESP32 al router, el cual realiza la solicitud HTTP POST a través del protocolo TCP/IP a un script PHP para insertar sus datos en una base de datos MySQL. Luego, mediante otro script PHP se muestra en la página web la información elegida, y con los atributos CSS se personaliza la forma de presentación de la misma.

En la Fig. 7, se puede observar la página web que consta de medidores en forma de "velocímetro", como así también la medición actual, mínima, máxima y promedio. Por otro lado, el usuario mediante un box de selección, puede determinar la cantidad de lecturas que quiere visualizar, en una tabla con toda la información relevada previamente, incluido el valor máximo, mínimo y promedio de ese rango temporal.



a. Medición de Irradiancia

Temperatura 20 lecturas			Humedad 20 lecturas			Panel Solar: Temp 20 lecturas			Irradiancia 20 lecturas		
min.	máx.	Promedio	min.	máx.	Promedio	min.	máx.	Promedio	min.	máx.	Promedio
25,20 °C	30,50 °C	28,97 °C	38,00 %	65,00 %	49,95%	0,00 °C	92,57 °C	82,3 °C	1000,00W/m2	1000,00W/m2	1000W/m2

IDENTIFICACIÓN	Sensor	Ubicación	Temperatura ambiente [°C]	Humedad ambiental [%]	Temperatura del panel solar [°C]	Irradiancia [W/m2]	Marca de tiempo
352	DHT11	UTN-FRC	28,10	39,00	88,78	1000,00	2023-11-08 21:04:26
351	DHT11	UTN-FRC	28,50	39,00	92,25	1000,00	2023-11-08 21:03:55
350	DHT11	UTN-FRC	29,10	38,00	92,57	1000,00	2023-11-08 21:03:23
349	DHT11	UTN-FRC	29,60	38,00	91,28	1000,00	2023-11-08 21:02:51

b. Datos históricos

Figura 7 – Visualización de datos almacenados

Conclusiones

Se logró el desarrollo del prototipo, que cumple con el objetivo propuesto respecto a las mediciones y monitoreo a través de una plataforma de visualización de datos en formato Web pudiendo aprovechar la disponibilidad de la tecnología IoT. Las calibraciones se realizaron con el medidor patrón TES1333 (con sensor a fotodiodo) Fig 6b.

Cabe aclarar que, el proyecto se extendió a más sensores de lo planeado. El software desarrollado es escalable pensando en las posibles mejoras que puedan surgir a futuro.

Para la impresión de los dispositivos se utilizó PLA, pero existen otros materiales como el PETG o ABS que ofrecen mejores características.



a. Sensor de radiación



b. Pruebas en Laboratorio



c. Pruebas de campo

Figura 8: Etapas de calibración del dispositivo desarrollado.

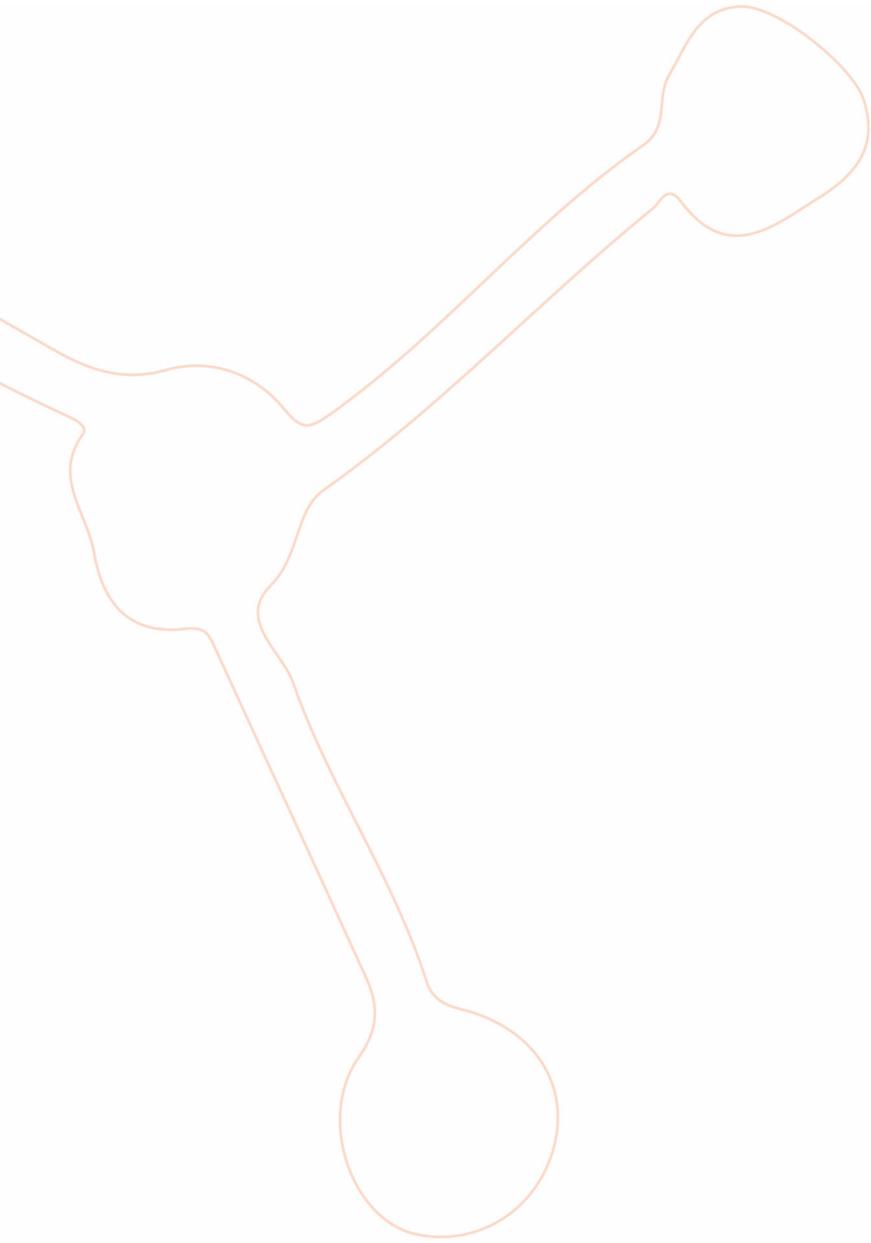
Al equipo desarrollado se le validará su funcionamiento de forma definitiva contrastándolo con un piranómetro térmico, que nos facilitará la secretaría de planificación energética de la provincia de Córdoba, y tomando mediciones a lo largo de 12 meses cuando el panel con mecanismo seguidor solar y derivador MPPT de excedentes de energía fotovoltaica esté instalado, de este modo podremos obtener resultados robustos, frente a los cambios ambientales a lo largo de dicho tiempo, como así también disponer de datos históricos. Por último, se destaca que se abordó la construcción de este prototipo, debido que el proyecto antes mencionado necesitaba de disponer de un medidor de irradiancia ya sea para ensayo del panel a utilizar, como así también como sensor para el control del seguidor solar, y el costo de los piranómetros en el mercado local no estaba al alcance del presupuesto (264,20 US\$), mientras que el sensor foto diodo BPW21 costaba 13 US\$.

Agradecimientos

El trabajo presentado es parte de las tareas a desarrollar en un PID financiado por la Universidad. A su vez es deseable destacar que el piranómetro es parte de la tesis de grado de Yesica Ortega.

Referencias

- Luque, A. Hegedus, S. (2011). Handbook of photovoltaic science and engineering.
- Osterwald, C. (1986). Translation of device performance measurements to reference conditions. Solar cells, 18:269-279.
- Vera, L. H., Benitez, F. (2005). "Piranómetro Fotovoltaico con Sistema Autónomo de Adquisición de Datos" XXVIII Reunión de Trabajo de Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente (ASADES).
- Musso, D., Peretti, G, Ferreyra, DM, Depetris, L. (2013). "Solarímetro digital aplicado a instalación piloto de paneles solares fotovoltaicos"
- Bayón Alonso, E. (2018). "Diseño de un instrumento basado en Arduino para la medida de irradiancia solar"
- Righini, R., Grossi, H. Gallegos, C.G. Bolzi, M.G. Martínez Bogado, M.J.L. Tamasi, (2009) "Comportamiento de un radiómetro par fabricado por CNEA respecto a un radiómetro par comercial kipp & zonen"
- BPW21r – Datasheets (2024). Disponible en <<https://www.vishay.com/docs/81519/bpw21r.pdf>>
- Webhost – Free web Hosting (2024). Disponible en <<https://panel.000webhost.com>>
- Grafana Suite(2024). Disponible en <<https://grafana.com/grafana/download>>



Ingeniería Industrial



Efectos del uso de aglutinantes sobre la productividad y calidad física de pélets en la fabricación de alimentos balanceados destinados a tambos robot

Effects of the use of binders on the productivity and physical quality of pellets in the manufacture of balanced feed intended for robotic dairy farms

Presentación: 23y 24 de octubre de 2024

Oscar Pinto

Gaviglio Comercial S.A. – Zenón Pereyra Santa Fe, Argentina
opintoibt@gmail.com

Resumen

La calidad en la fabricación de alimentos balanceados es crucial para la salud y el rendimiento óptimo de los animales. Un alimento de calidad se traduce en una mejor tasa de conversión. Se ha demostrado que el uso de aglutinantes ofrece beneficios durante la fabricación. El presente trabajo evalúa el efecto del uso de dos aglutinantes sobre la productividad y la calidad física de pélets, en un alimento destinado a tambos robot. Los resultados muestran que la productividad cociente de velocidad(t/h), no se ven afectados por el uso de ambos aglutinantes, mientras que los valores de Índice de Durabilidad de Pélets (PDI) incrementaron un 2.00%, con Agli10FE y un 5.90% con Pellet Fix, ambos en proporciones de 3 kg por tonelada. La aplicación de aglutinantes en la formulación mejora la calidad física del pélets a partir de su incremento de Índice de Durabilidad de Pélets (PDI).

Palabras clave: Calidad de Pélets, Durabilidad, Pélets, Aglutinante, PDI.

Abstract

Quality in the manufacture of balanced feed is crucial for the health and optimal performance of animals. Quality food translates into a better conversion rate. The use of binders has been shown to offer benefits during manufacturing. The present work evaluates the effect of the use of two binders on the productivity and physical quality of pellets, in a feed intended for robotic dairy farms. The results show that the productivity speed ratio (t/h) is not affected using both binders, while the Pellet Durability Index (PDI) values increased by 2.00%, with Agli10FE and by 5.90%. with Pellet Fix, both in proportions of 3 kg per ton. The application of binders in the formulation improves the physical quality of the pellets from its increase in Pellet Durability Index (PDI).

Keywords: Pellets Quality, Durability, Pellet, Binder, PDI.

Introducción

El control de calidad y la productividad son cruciales durante la fabricación de alimentos peletizados destinados a la nutrición animal. La tasa de conversión alimenticia de un animal está directamente relacionada con la calidad del alimento que consume. Para lograr una alta calidad de alimentos se deben considerar tres factores: el contenido nutricional formulado, la calidad de las materias primas y la tecnología de procesos empleada durante su fabricación. Una mayor productividad reduce los costos de producción al mejorar la eficiencia operativa. Los tambos robot son sistemas avanzados de ordeño automatizado, requieren una alimentación de alta calidad para optimizar su funcionamiento y asegurar el bienestar de los animales. Una de las características cruciales de los alimentos balanceados en estos sistemas, es la calidad del pélets. El Índice de Durabilidad de Pélets (PDI), es la cantidad de pélets recuperados después de haber sido sometidos a una agitación mecánica o neumática, que simula el transporte y manejo del alimento en condiciones normales. La durabilidad se expresa en porcentaje (%) y cuanto más elevado es su valor, mayor calidad tiene el gránulo y menos pérdidas en forma de finos. De acuerdo con Johnson, D (2023). La escala de valores del PDI se clasifica de la siguiente manera:

PDI \geq 95%: Calidad excelente. Los pélets muestran una durabilidad óptima con mínima generación de finos. Ideal para tambos robot.

PDI 90-94%: Buena calidad. Los pélets tienen una buena resistencia, pero puede haber una ligera generación de finos. Buena calidad para tambos robot.

PDI 85-89%: Calidad aceptable. Los pélets son adecuados, pero se pueden generar finos durante el transporte y manejo. Puede causar problemas en los sistemas de tambos robot.

PDI menor a 85%: Mala calidad para tambos robot. Alta cantidad de finos pueden causar obstrucciones en los sistemas de transporte.

De acuerdo con Kramer, (2024). La durabilidad de pélets afecta directamente la eficiencia del sistema de alimentación automática en el tambo. Una mayor dureza de los pélets es fundamental para los tambos robot, mejora el transporte y almacenamiento garantizando que el sistema de alimentación automática pueda manejar el alimento de manera más eficiente y las vacas consumen más alimento del comedero durante su ordeño. La consistencia en el tamaño y la forma de los pélets facilita su distribución. Esto minimiza el desperdicio y asegura que la mayor parte del alimento llegue a los animales en condiciones óptimas. Menos polvo también contribuye a un ambiente más limpio y saludable en la zona de ordeño.

De acuerdo con Lehnbach G (2006), las empresas elaboradoras de alimentos peletizados requieren que el pélets mantenga su integridad física hasta el momento que este sea consumido por el animal. Las empresas comerciales de fabricación de alimentos balanceados han puesto un gran énfasis en la calidad de los pélets, esto les permite mantener márgenes rentables basados en la disposición de los clientes a pagar por una mejor calidad. Sin embargo, con el aumento de los costos de materias primas e insumos, estos márgenes se reducen, obligando a las empresas a encontrar formas de preservar la alta calidad del producto a bajos costos operativos. De manera similar, las compañías integradas están reconociendo que, si se invierte en peletizar el alimento, el producto resultante debe cumplir con un alto estándar. Actualmente, el "arte" de la granulación ya no es suficiente para satisfacer las necesidades de la industria. De acuerdo con Garro R. (2022), se requiere evidencia más sustancial para mejorar la eficiencia de producción y la calidad de los pélets. El objetivo del trabajo es revisar el efecto de la aplicación de dos productos aglutinantes sobre la productividad y la dureza física del pélets, en formulaciones destinadas a la nutrición animal de tambos robot, con la finalidad de proporcionar una base de conocimientos más sólida y práctica para la industria de la nutrición animal, en busca de identificar y evaluar mejores prácticas y tecnologías en el proceso de peletización.

Desarrollo

Los ensayos fueron realizados en una planta de producción de alimentos balanceados localizada en el departamento de Castellanos, provincia de Santa Fe. El tipo de investigación fue descriptiva. Se elaboró una formulación especial para tambos robot con altos contenidos de proteína y energía (Alta Energía TR).

La duración del ensayo fue de cinco meses de enero a mayo 2024, con 10 repeticiones por ensayo, probando cada uno de los aglutinantes con 3.0 kg de producto por cada 1000 kg. En lotes de 8000 kg. Para la elaboración de la formulación testigo Alta Energía TR, se utilizaron como materias primas, maíz, harina de soja, cebada, afrechillo de trigo y como excipiente carbonatos de calcio y un núcleo vitamínico mineral.

Equipos utilizados para la producción

Molino Martillo Marca Giuliani Modelo MM7547

Zarandas 3.00 mm

Martillos para molienda 2 x ¼ x 180 mm, recubiertos de tungsteno

Molienda fina 3.5 min

Mezcladora Marca Giuliani

Mezclado 3.5 min

Prensa peletizadora GH2 Super marca Giuliani

Durabilmetro PDT15

Medición de valores de productividad (t/h)

Se identificó la línea de producción, las mediciones fueron realizados en la peletizadora Giuliani GH2 Super. Se registró el tiempo de operación de la línea. El intervalo de tiempo medido fue por lote de producto, midiendo la cantidad de alimento balanceado producido durante el tiempo de operación de cada lote. La productividad fue calculada dividiendo la producción total (en toneladas) por el tiempo efectivo de operación hasta el final de la producción (en horas).

Medición de valores de Índice de Durabilidad de Pélets

Se seleccionó 1 kg de una muestra representativa por lote de pélets. La muestra fue tamizada y pesada utilizando una balanza analítica. Los pélets fueron sometidos a abrasión con un durabilmetro PDT-15 para simular las condiciones de transporte y manejo a 50 RPM durante 10 minutos. Para calcular Índice de Durabilidad de Pélets, se dividieron el peso de los pélets enteros después del tamizado entre 1000 y se multiplicaron por 100. Los datos obtenidos fueron comparados mediante un análisis estadístico de varianza, con el procedimiento CAS Institute Inc.

Resultados

Los valores de productividad y porcentaje de Índice de Durabilidad de Pélets (PDI) de la muestra de referencia utilizada como testigo, se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados ensayo fórmula testigo AE-TR

Testigo	Pélets	Distancia	Temperatura				PDI	Finos
			Peletizado	Alimentación	Velocidad			
AE TR	kg	Rollos	(°C)	(hz)	producción	(%)	(%)	
1	8000	4,5	0,2	65	25	6,5	90	10
2	8000	4,5	0,2	67	28	6,7	89	11
3	8000	4,5	0,2	69	28	6,8	89	11
4	8000	4,5	0,2	68	28	6,8	88	12
5	8000	4,5	0,2	66	25	6,5	87	13
6	8000	4,5	0,2	65	28	6,5	88	12
7	8000	4,5	0,2	68	28	6,6	88	12
8	8000	4,5	0,2	68	28	6,8	87	13
9	8000	4,5	0,2	66	28	6,5	88	12
10	8000	4,5	0,2	67	29	6,8	87	13

Los resultados muestran una velocidad de producción promedio de 6.5 t/h y se muestran porcentajes de finos iguales o mayores al 10%, esto indica que el alimento tiene una gran cantidad de polvillo, pudiendo causar problemas en los tambos robot.



Figura 1. Análisis visual de muestra sin inclusión de aglutinante. Testigo AE-TR

Tabla 2. Resultados ensayo fórmula AE-TR + Agli10FE

Testigo AE	Distancia	Temperatura		Alimentación (hz)	Velocidad producción	PDI	Finos	
		Peletizado (°C)						
TR+3kg Agli10F	kg	Pélets (mm)	Rollos (mm)	(65°-70°)	(25-30)	(t/h)	(%)	(%)
1	8000	4,5	0,2	65	25	6,7	92	8
2	8000	4,5	0,2	66	25	6,9	91	9
3	8000	4,5	0,2	70	25	6,9	92	8
4	8000	4,5	0,2	68	25	6,8	91	9
5	8000	4,5	0,2	65	25	6,6	90	10
6	8000	4,5	0,2	65	27	6,7	88	12
7	8000	4,5	0,2	65	27	6,7	90	10
8	8000	4,5	0,2	67	28	6,6	89	11
9	8000	4,5	0,2	66	25	6,8	88	12
10	8000	4,5	0,2	68	27	6,5	89	11

Los resultados al agregar el primer aglutinante AE TR + Agli10FE muestran que la velocidad de producción en t/h no sufrió una variación significativa, pasó de 6.5 t/h a 6.7 t/h, mientras que el porcentaje de PDI mejoró en un 2.0%.



Figura 2. Análisis visual de muestra con inclusión de aglutinante. Testigo AE-TR + Agli10FE 3.0 kg

Tabla 3. Resultados ensayo fórmula AE-TR + Pellet Fix

3kg Pellet Fix	kg	Pélets (mm)	Rollos (mm)	Temperatura Peletizado	Alimentación	Velocidad producción	PDI (%)	Finos (%)
				(°C)	(hz)	(t/h)		
1	8000	4,5	0,2	(65°-70°)	(25-30)			
				65	25	6,8	93	7
2	8000	4,5	0,2	66	25	6,9	93	7
3	8000	4,5	0,2	70	25	6,9	95	5
4	8000	4,5	0,2	68	25	6,8	94	6
5	8000	4,5	0,2	65	25	6,5	92	8
6	8000	4,5	0,2	65	27	6,6	96	4
7	8000	4,5	0,2	65	27	6,4	96	4
8	8000	4,5	0,2	67	28	6,5	93	7
9	8000	4,5	0,2	66	25	6,5	94	6
10	8000	4,5	0,2	68	27	6,5	94	6

Los resultados al agregar el segundo aglutinante AE TR + Pellet Fix muestran que la velocidad de producción en t/h tampoco sufrió una variación significativa pasó de 6.5 /h t a 6.64 t/h, mientras que el porcentaje de PDI mejoró en un 5.90%.



Figura 3. Análisis visual de muestra con inclusión de aglutinante. Testigó AE-TR + Pellet Fix 3.0 kg



Figura 4. Comparación de Índice de Durabilidad de Pélets (%), fórmula testigo AE-TR vs fórmula con aglutinante Agli10FE vs Pellet Fix

Índice de Durabilidad de Pélets (PDI)

La Figura 4, muestra que los valores de Índice de Durabilidad de Pélets mejoraron con la aplicación de los dos aglutinantes respecto a la muestra testigo AE-TR. El aglutinante Agli10FE, mejora el PDI en un 2%, mientras que el Pellet Fix mejora en un 5.9% los valores de PDI.

Conclusiones

Los resultados en estos ensayos demuestran que los aglutinantes Agli10FE y Pellet Fix, no tienen influencia en la velocidad de peletizado. El peletizado es un proceso dependiente de muchos factores, aunque los aglutinantes mejoran la cohesión entre las partículas y la resistencia del pélets, no necesariamente afectan su velocidad. La peletización implica compresión, su velocidad está determinada principalmente por las características físicas de la materia prima base, así como la tecnología utilizada. Los aglutinantes utilizados en este ensayo influyen notablemente en la durabilidad de los pélets. En particular, el aglutinante Pellet Fix mostró una mejora del 5.9% en el PDI, mientras que el aglutinante Agli10FE solo logró una ganancia del 2.0% de PDI. Los resultados muestran que el aglutinante produce mejoras, sin embargo, es importante considerar que pueden existir multifactores que pueden influir en los lotes de cada producción y en sus resultados. A pesar de los resultados obtenidos, se hace evidente la necesidad de realizar investigaciones adicionales que profundicen la comprensión de estos factores, estudios más exhaustivos que incluyan variaciones en la formulación y métodos de procesamiento que permitirán desarrollar estrategias efectivas para mejorar la calidad de los pélets de alimentos balanceados, garantizando un mejor rendimiento en la alimentación animal.

Referencias

- Bain, A., Isnaeni, P. D., Napirah, A., & Kurniawan, W. (2024, May). Different alternative pellet binders affect the durability and density of Indigofera pellet. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1341, No. 1, p. 012070). IOP Publishing.
- Behnke, K. C. (1994). Factors affecting pellet quality. In *American Soybean Association Feed Technology Workshop* (pp. 44-54)
- Coviello, T. 2007. Two galactomannans and scleroglucan as matrices for drug delivery: preparation and release studies. *Journal European of Biopharmaceutics*. 66(2): 200-209.
- Cutlip, J.J. 2008. Conditioning practices on pellet quality and growing broiler nutritional value. *Journal of Applied Poultry Research* 17:249-261
- Johnson, D. B., & VanderHaar, M. A. (2023). *Pellet Quality in Ruminant Nutrition: Evaluating Pellet Durability Index (PDI) and its Impact on Feed Efficiency*. *Journal of Animal Feed Science and Technology*, 12(4), 85-97. doi: 10.1016/j.jafst.2023.05.002
- Garro, R. J., & Tallarico, G. A. (2022). *Ganadería de precisión: innovaciones tecnológicas que agregan valor a la ganadería*. Ediciones INTA.
- Gorsuch, J., LeSaint, D., VanderKelen, J., Buckman, D., & Kitts, C. L. (2019). A comparison of methods for enumerating bacteria in direct fed microbials for animal feed. *Journal of microbiological methods*, 160, 124-129.
- Kramer, K., & Bovenkerk, B. (2024). Dairy farming technologies and the agency of cows. *animal*, 18(6), 101191.

Innovación en el Proceso de Compras en una Empresa de Alimentos

Innovation in the purchasing process of a food company

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Oscar Rete

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina.
oscar.rete@sanfrancisco.utn.edu.ar

Oscar Pinto

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina.
opintoibt@gmail.com

Ana Ines Gomez Primucci

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina.
anagomezprimucci@gmail.com

Daniel Altina

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina.
daltina@utn.edu.ar

Ignacio Rojas

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina.
cocorojas2001@gmail.com

Resumen

Este estudio explora la integración del Design Thinking y la Teoría de Restricciones (TOC) en el proceso de compras de una empresa de alimentos, con foco en la evaluación de proveedores, logrando mejoras en costos y tiempos de entrega. Mediante la aplicación de estas metodologías, se busca optimizar la eficiencia operativa y mejorar la calidad y rapidez en la adquisición de insumos. El Design Thinking permitió rediseñar procesos complejos, mientras que la TOC se enfocó en identificar y gestionar limitaciones clave. Los resultados revelan mejoras significativas, incluyendo una reducción del 15% en costos asociados a retrasos y defectos, una disminución del 20% en los tiempos de entrega, y un aumento en la satisfacción del cliente interno y externo. Asimismo, se lograron avances en la estandarización de procesos, la comunicación interdepartamental y la agilidad en la toma de decisiones.

Palabras clave: Design Thinking, Teoría de Restricciones, Proceso de Compras, Eficiencia Operativa.

Abstract

This paper explores the integration of Design Thinking and Theory of Constraints (TOC) in the purchasing process of a food company, with a focus on supplier evaluation to achieve improvements in cost and delivery time. By applying these methodologies, it aims to optimise operational efficiency and improve quality and speed in the acquisition of supplies. Design Thinking enabled the redesign of complex processes, while TOC focused on identifying and managing key constraints. The results reveal significant improvements, including a 15% reduction in costs associated with delays and defects, a 20% decrease in delivery times, and increased satisfaction of internal and external customers. Furthermore, advances were made in standardising processes, interdepartmental communication, and agility in decision-making.

Keywords: Design Thinking, Theory of Constraints, Purchasing Process, Operational Efficiency

Introducción

La industria alimentaria opera en un entorno altamente competitivo, donde la eficiencia operativa y la capacidad de respuesta son cruciales. El proceso de compras es fundamental, ya que impacta directamente la cadena de suministro, los costos y la calidad del producto (Smith et al., 2020). La incorporación de técnicas de innovación en este ámbito puede proporcionar ventajas significativas, permitiendo a las empresas no solo sobrevivir, sino prosperar en el mercado actual.

El Design Thinking ha emergido como una metodología poderosa que fomenta la creatividad y la solución de problemas centrados en el usuario. Según Brown (2009), esta metodología no solo se aplica al diseño de productos, sino también a procesos empresariales, proporcionando un marco estructurado para la identificación y solución de problemas complejos. Carlgren, Rauth y Elmquist (2016) destacan su efectividad en la mejora de procesos, subrayando su potencial para transformar operaciones tradicionales en dinámicas más ágiles y eficientes.

Por otro lado, la Teoría de Restricciones (TOC), desarrollada por Goldratt (1990), ofrece una perspectiva estratégica para la gestión de operaciones al centrarse en identificar y gestionar las limitaciones que impiden alcanzar los objetivos organizacionales. Gupta, Boyd y Sussman (2019) señalan que la aplicación de TOC en la gestión de la cadena de suministro puede resultar en mejoras significativas en la eficiencia y reducción de costos operativos.

La combinación de Design Thinking y TOC presenta una oportunidad única para abordar las complejidades del proceso de compras en la industria de alimentos. La integración de estas técnicas busca no solo optimizar el proceso de compras, sino también establecer un modelo replicable para otras empresas del sector. La investigación se desarrolló en una PyME de alimentos con 350 empleados y un equipo de compras de 5 personas, quienes no tenían experiencia previa en el uso de Design Thinking ni TOC

Desarrollo

Fundamentos del Design Thinking

El Design Thinking es una metodología centrada en el ser humano que busca fomentar la innovación mediante un enfoque iterativo y colaborativo en la resolución de problemas (Brown, 2009). Se estructura en cinco fases: empatizar, definir, idear, prototipar y testar, lo que permite a las organizaciones abordar desafíos complejos de manera creativa y eficaz (Plattner, Meinel, & Leifer, 2015).

En los últimos años, ha ganado relevancia no solo en el diseño de productos, sino también en la mejora de procesos empresariales. Liedtka (2018) señala que su aplicación en el ámbito empresarial impulsa la innovación y mejora la toma de decisiones. La capacidad del Design Thinking para integrar perspectivas diversas y generar soluciones centradas en el usuario lo convierte en una herramienta valiosa para la transformación organizacional (Carlgren, Rauth, & Elmquist, 2016).

El impacto en la eficiencia operativa ha sido documentado en estudios recientes. Micheli et al. (2019) destacan cómo facilita la alineación de las estrategias de innovación con las necesidades del cliente, mejorando así el rendimiento organizacional. Además, su flexibilidad permite adaptarse a distintos contextos y sectores, siendo especialmente relevante en industrias dinámicas como la alimentaria (Johansson-Sköldberg, Woodilla, & Çetinkaya, 2013).

Como metodología ofrece un enfoque sistemático para abordar problemas complejos, promoviendo la innovación y mejorando la eficiencia en los procesos. Su aplicación en el proceso de compras de una empresa de alimentos puede resultar en mejoras significativas en la calidad y rapidez de los servicios, alineándose con los objetivos estratégicos de la organización.

Fundamentos de Teoría de Restricciones

La Teoría de Restricciones (TOC), desarrollada por Goldratt (1990), es una metodología de gestión que se centra en identificar y gestionar las limitaciones que impiden alcanzar los objetivos de una organización. El enfoque de TOC se basa en la premisa de que cada sistema tiene al menos una restricción que limita su rendimiento, y que gestionar estas restricciones puede mejorar significativamente la eficiencia operativa.

Goldratt (1990) introdujo el concepto de "cuello de botella" como la restricción que determina la capacidad del sistema. Al gestionar adecuadamente esta restricción, las organizaciones pueden optimizar el flujo de trabajo y mejorar su desempeño global. Recientemente, Gupta et al. (2019) han demostrado la eficacia de TOC en la gestión de la cadena de suministro, resaltando cómo su aplicación puede resultar en mejoras significativas en la eficiencia y reducción de costos.

El enfoque de TOC ha evolucionado para abarcar no solo la manufactura, sino también áreas como marketing, ventas y gestión de proyectos. Según Cox y Schleier (2010), la metodología de "Cadena Crítica" es una aplicación de TOC que ha revolucionado la gestión de proyectos al enfocarse en la identificación y gestión de restricciones en el cronograma. Watson, Blackstone, y Gardiner (2007) investigan la integración de TOC con otras metodologías como Lean y Six Sigma, mostrando que su combinación puede ofrecer beneficios adicionales al abordar múltiples aspectos de la eficiencia operativa.

Esta teoría ofrece un enfoque estratégico para identificar y gestionar limitaciones en el proceso de compras de una empresa de alimentos, optimizando la eficiencia, reduciendo tiempos de entrega y alineándose con los objetivos estratégicos de la organización.

Metodología

La integración del Design Thinking y la TOC en el área de compras de una empresa de alimentos optimiza la eficiencia operativa. El Design Thinking rediseña procesos complejos, mientras que la TOC identifica y gestiona limitaciones clave. Juntas, estas metodologías transforman el proceso de compras, mejorando la calidad y rapidez en la adquisición de insumos, alineadas con los objetivos estratégicos de la empresa.

El estudio incluyó 12 sesiones de trabajo distribuidas en 6 meses, con resultados medidos por indicadores de costos, tiempos de entrega y satisfacción interna y externa.

Metodología de Implementación de Design Thinking en el Área de Compras

- Etapa 1. Empatizar: En la primera fase de la implementación del Design Thinking, se realizó una inmersión profunda en la realidad del área de compras de la empresa de chacinados. Se llevaron a cabo entrevistas y observaciones con los empleados del departamento, proveedores, y otros actores clave para identificar los principales desafíos y necesidades. Se detectó que la evaluación de proveedores era inconsistente, la logística carecía de eficiencia, los costos eran elevados y había insatisfacción tanto entre los clientes internos como externos.
- Etapa 2. Definir: Con la información recopilada, se procedió a definir los problemas centrales. Los hallazgos de esta fase revelaron la necesidad de mejorar la transparencia en la evaluación de proveedores, optimizar la logística para reducir tiempos y costos, y desarrollar estrategias que incrementen la satisfacción del cliente. También se identificaron como áreas críticas la necesidad de reducir desperdicios, mejorar la comunicación interdepartamental y agilizar los procesos de aprobación. Los problemas en la evaluación de proveedores impactaban directamente en la logística, generando costos elevados y tiempos prolongados de entrega.
- Etapa 3. Idear: Durante la fase de ideación, se llevó a cabo una serie de talleres creativos con el equipo de compras y otros departamentos relevantes. Se generaron múltiples propuestas para abordar los problemas identificados. Entre las ideas destacadas, surgió la creación de un sistema de evaluación de proveedores basado en indicadores de desempeño, la implementación de un software de gestión logística y la estandarización de procesos para mejorar la comunicación y la rapidez en la toma de decisiones.
- Etapa 4. Prototipar: En esta fase, se desarrollaron prototipos de las soluciones propuestas. Se diseñó un sistema piloto para la evaluación de proveedores, integrando criterios específicos de calidad, costo y cumplimiento de plazos. Asimismo, se implementó un prototipo de software de gestión logística que permitía a la empresa rastrear en tiempo real los insumos desde la orden de compra hasta la entrega final.
- Etapa 5. Testar: Finalmente, los prototipos se pusieron a prueba en un entorno controlado. El sistema de evaluación de proveedores permitió reducir un 15% los costos asociados a retrasos y productos defectuosos. El software de gestión logística disminuyó en un 20% los tiempos de entrega, mejorando significativamente la satisfacción del cliente tanto interno como externo. Estas pruebas también señalaron la necesidad de ajustar la capacitación del personal para maximizar el uso de las nuevas herramientas.

Metodología de Implementación de la Teoría de Restricciones (TOC) en el Área de Compras

- **Identificación de Restricciones:** La implementación de la TOC en el área de compras de la empresa comenzó con la identificación de las restricciones clave que limitaban el desempeño del sistema. Se descubrió como cuellos de botella la limitada capacidad de evaluación de proveedores, la ineficiencia en la logística de insumos y la falta de integración en los sistemas de costeo. Se identificó que la evaluación de proveedores era la restricción clave, la cual afectaba directamente los costos logísticos y el rendimiento del sistema
- **Explotación de la Restricción:** Una vez identificadas las restricciones, el enfoque se dirigió hacia la explotación de estas limitaciones. En el caso de la evaluación de proveedores, se establecieron criterios claros y específicos para priorizar la adquisición de insumos críticos, lo que permitió enfocar los recursos en mejorar las relaciones con los proveedores más confiables. En cuanto a la logística, se optimizaron las rutas de transporte para asegurar entregas más rápidas, reduciendo los tiempos de espera.
- **Subordinación de Todo a la Restricción:** Para asegurar que el sistema entero trabajara en torno a las restricciones identificadas, se alinearon todos los procesos y decisiones operativas con estas prioridades. Por ejemplo, se ajustaron los cronogramas de producción y compras para que coincidieran con la capacidad optimizada de los proveedores seleccionados y la nueva estructura logística. Además, se implementaron controles más estrictos de costeo evitando que se sobrepasaran los límites establecidos por las restricciones.
- **Elevación de la Restricción:** Se implementaron soluciones tecnológicas y procesos para elevar las restricciones identificadas. Esto incluyó la automatización parcial del proceso de evaluación de proveedores mediante la integración de un sistema basado en inteligencia artificial que evaluaba en tiempo real la capacidad y confiabilidad de los proveedores. Asimismo, se invirtió en infraestructura logística, como el aumento de la flota de transporte, para mejorar la capacidad de respuesta y cumplir con los nuevos estándares de entrega.
- **Revisión Continua del Proceso:** Finalmente, una vez elevadas las restricciones, se revisó continuamente el proceso para identificar nuevas restricciones emergentes. Este enfoque permitió a la empresa no solo mantener la eficiencia alcanzada sino también adaptarse rápidamente a cambios en el entorno, como variaciones en la demanda o interrupciones en la cadena de suministro.

Hallazgos

Se presentan tabulados los hallazgos de la implementación de Design Thinking en el área de compras. Los resultados fueron medidos utilizando un software de gestión logística que permitía el rastreo en tiempo real, reduciendo un 15% los costos y un 20% los tiempos de entrega.

Tabla 1. Hallazgos de la implementación de Design Thinking en el área de compras

Característica	Antes de la implementación	Después de la implementación	Hallazgos
Evaluación de proveedores	Inconsistente, con criterios no estandarizados y falta de transparencia.	Sistema de evaluación estandarizado basado en indicadores de desempeño.	> Calidad de insumos - 15% costos asociados a retraso y defectos
Logística	Ineficiente, con retrasos frecuentes y falta de seguimiento en tiempo real.	Software de gestión logística implementado, con seguimiento en tiempo real.	- 20% tiempos de entrega Optimización del flujo de materiales.
Costos Operativos	Elevados, debido a ineficiencias en la selección de proveedores y procesos logísticos.	Reducción de costos mediante mejoras en evaluación de proveedores y logística.	- 10% costos operativos del área de compras.
Satisfacción de Clientes Internos	Baja, debido a la falta de comunicación y lentitud en los procesos de compras.	Procesos estandarizados y comunicación interdepartamental mejorada.	> satisfacción de los clientes internos por mayor eficiencia y rapidez.
Satisfacción de Clientes Externos	Afectada por retrasos en la entrega y problemas de calidad.	Mejora en tiempos de entrega y calidad de produc.finales.	> satisfacción de clientes externos
Comunicación Interdepartamental	Fragmentada y con poca coordinación, lo que generaba duplicidad de esfuerzos y errores.	Comunicación fortalecida con procesos estandarizados y digitalizados.	> eficiencia < errores, facilitando la colaboración entre departamentos.
Agilidad en la Toma de Decisiones	Lenta y burocrática, con procesos no estandarizados y falta de información en tiempo real.	Decisiones más ágiles gracias a la estandarización y digitalización de los procesos.	Aceleración de la toma de decisiones, especialmente en situaciones críticas.

Tabla 2. Hallazgos de la implementación de TOC en el área de compras

Característica	Antes de la implementación	Después de la implementación	Hallazgos
Evaluación de Proveedores	Proceso inconsistente con alta variabilidad en la calidad de los insumos recibidos.	Sistema de evaluación automatizado con IA, mejorando la consistencia y calidad de insumos.	< riesgo de ruptura en la cadena de suministro > predictibilidad en las compras.
Logística	Entregas retrasadas y rutas de transporte subóptimas, afectando la producción.	Rutas optimizadas y mayor capacidad logística, con una reducción del 20% en tiempos de entrega.	> eficiencia de entrega > capacidad de respuesta ante demandas cambiantes.
Costos Operativos	Elevados, con poca visibilidad y control sobre los costos asociados a la logística y compras.	Reducción de costos operativos mediante una mejor alineación de la gestión de costos.	< 10% en costos operativos, alineados con la nueva capacidad logística.
Satisfacción de Clientes Internos	Baja satisfacción debido a la falta de previsibilidad y eficiencia en los procesos de compras.	Incremento en la satisfacción interna gracias a procesos más eficientes y predecibles.	> percepción y satisfacción de los clientes internos.
Satisfacción de Clientes Externos	Afectada por retrasos en la entrega y problemas en la calidad de los productos.	Mayor satisfacción gracias a entregas más rápidas y productos de mejor calidad.	> satisfacción del cliente > competitividad en el mercado.
Capacidad de Respuesta	Limitada, con dificultades para adaptarse a cambios rápidos en la demanda o interrupciones.	Mejora en la capacidad de respuesta gracias a una cadena de suministro optimizada.	> adaptabilidad y resiliencia ante cambios en el mercado y la demanda.
Reducción de Riesgos	Alta exposición a riesgos debido a la falta de gestión proactiva de las restricciones.	Reducción significativa de riesgos mediante la gestión proactiva de restricciones clave.	< exposición a riesgos de interrupciones en la cadena de suministro > estabilidad operativa.

Conclusiones

El modelo de integración del Design Thinking y la Teoría de Restricciones (TOC) en el área de compras de una empresa de alimentos ha demostrado ser una estrategia efectiva para optimizar la eficiencia operativa y mejorar el desempeño general. Los hallazgos obtenidos respaldan las observaciones de autores como Carlgren et al. (2016) y Gupta et al. (2019) sobre el potencial de estas metodologías para transformar procesos empresariales y mejorar la gestión de la cadena de suministro, respectivamente.

La implementación del Design Thinking permitió rediseñar el proceso de compras desde una perspectiva centrada en el usuario, lo que resultó en mejoras significativas en aspectos críticos como la evaluación de proveedores, la logística y la satisfacción del cliente (Micheli et al., 2019). Los beneficios cuantificables incluyen una reducción del 15% en los costos asociados a retrasos y defectos, y una disminución del 20% en los tiempos de entrega, lo que concuerda con los impactos positivos documentados por Johansson-Sköldberg et al. (2013) en la industria alimentaria.

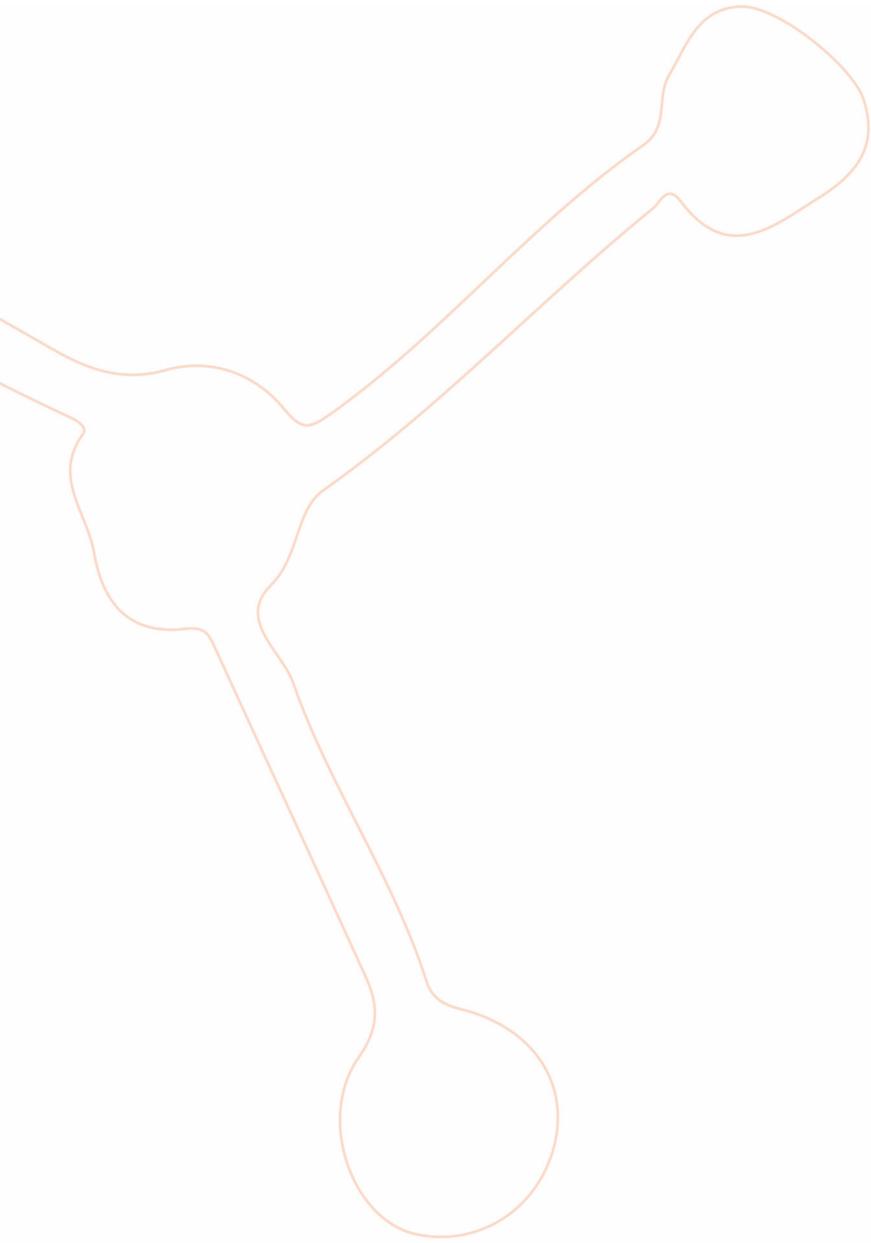
Por otro lado, la aplicación de la Teoría de Restricciones (TOC) permitió identificar y gestionar eficazmente las limitaciones que impedían el óptimo desempeño del área de compras. La implementación de un sistema de evaluación de proveedores automatizado con inteligencia artificial, así como la optimización de las rutas logísticas y la alineación de los costos operativos, condujeron a una reducción del 18% en los costos y a un aumento en la capacidad de respuesta ante demandas cambiantes. Estos resultados respaldan los hallazgos de Cox y Schleier (2010) sobre la efectividad de TOC en la gestión de proyectos y procesos.

La combinación de ambas metodologías demostró ser sinérgica, abordando múltiples aspectos de la eficiencia operativa, tal como lo sugieren Watson et al. (2007) al integrar TOC con otras metodologías. Esto se reflejó en mejoras transversales en áreas como la calidad de los insumos, la comunicación interdepartamental, la agilidad en la toma de decisiones y la satisfacción tanto de clientes internos como externos.

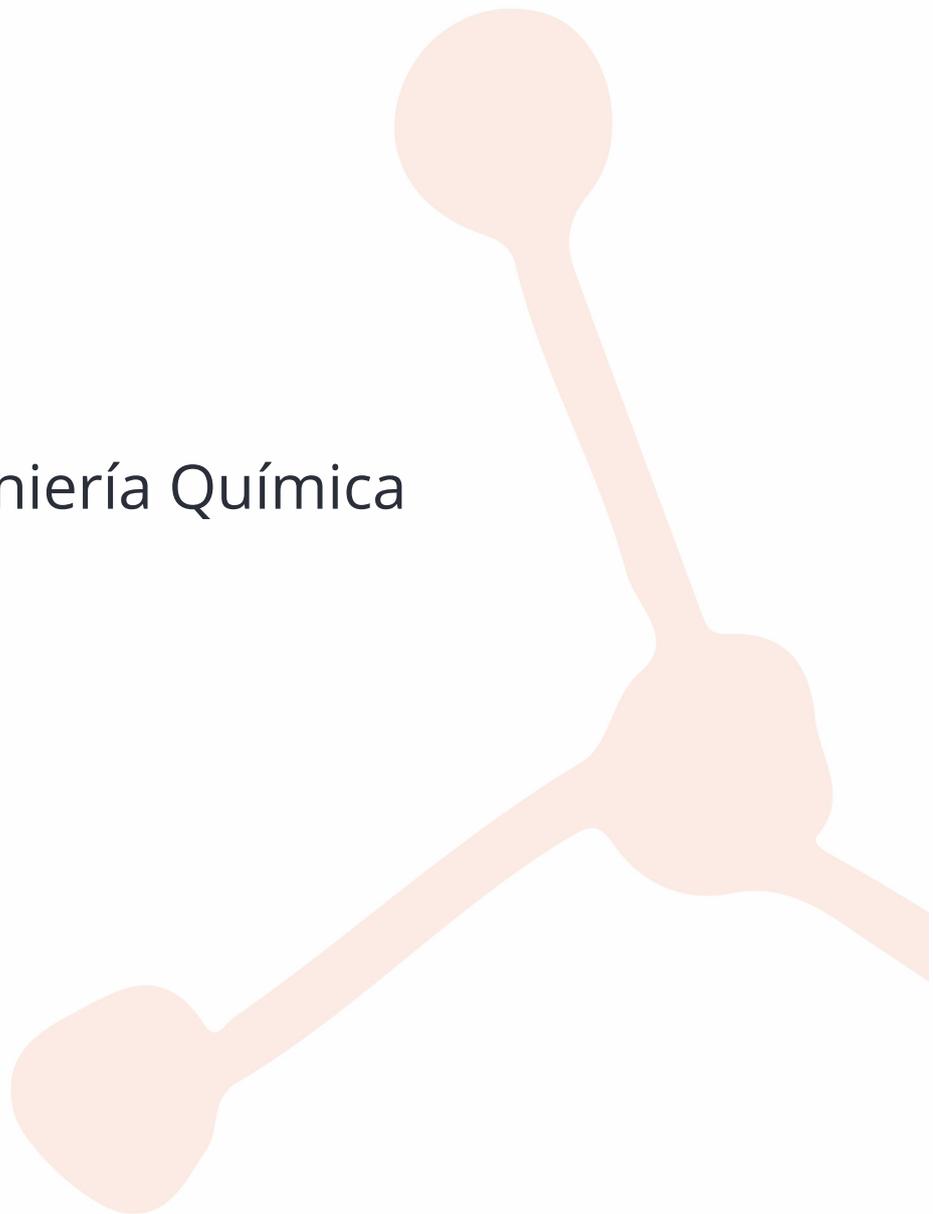
La aplicación de Design Thinking y TOC permitió abordar de forma integral la evaluación de proveedores y la logística, lo que resultó en mejoras cuantificables en costos y tiempos de entrega.

Referencias

- Brown, T. (2009). *Change by Design: How Design Thinking Creates New Alternatives for Business and Society*. HarperBusiness.
- Carlgrén, L., Rauth, I., & Elmquist, M. (2016). Framing Design Thinking: The Concept in Idea and Enactment. *Creativity and Innovation Management*, 25(1), 38-57. <https://doi.org/10.1111/caim.12153>
- Cox, J. F., & Schleier, J. G. (2010). *Theory of Constraints Handbook*. McGraw-Hill.
- Goldratt, E.M. (1990). *The Goal: A Process of Ongoing Improvement*. North River Press.
- Gupta, M., Boyd, L. H., & Sussman, L. (2019). Theory of Constraints: A Theory for Operations Management. *International Journal of Operations & Production Management*, 39(6/7/8), 939-960.
- Johansson-Sköldberg, U., Woodilla, J., & Çetinkaya, M. (2013). Design Thinking: Past, Present and Possible Futures. *Creativity and Innovation Management*, 22(2), 121-146. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/caim.12023>
- Liedtka, J. (2018). Why Design Thinking Works. *Harvard Business Review*, 96(5), 72-79. <https://hbr.org/2018/09/why-design-thinking-works>
- Micheli, P., Wilner, S. J. S., Bhatti, S. H., Mura, M., & Beverland, M. B. (2019). Doing Design Thinking: Conceptual Review, Synthesis, and Research Agenda. *Journal of Product Innovation Management*, 36(2), 124-148. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jpim.12466>
- Plattner, H., Meinel, C., & Leifer, L. (2015). *Design Thinking Research: Building Innovators*. Springer.
- Smith, J., Brown, A., & Johnson, M. (2020). Innovative Approaches in Food Supply Chain Management. *Journal of Food Science and Technology*, 57(3), 1021-1030.
- Watson, K. J., Blackstone, J. H., & Gardiner, S. C. (2007). The evolution of a management philosophy: The theory of constraints. *Journal of Operations Management*, 25(2), 387-402. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0272696306000337>



Ingeniería Química



Análisis de un método alternativo para obtener extractos a partir de descartes de remolacha

Analysis of an alternative method to obtain extracts from beet discards

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

María Victoria Schultheis

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Grupo Productos Naturales y Materiales (ProNaM), Argentina.
mv_schultheis@hotmail.com

María Candela Acuña

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Grupo Productos Naturales y Materiales (ProNaM), Argentina.
candela.acu47@gmail.com

Yamile Soledad Aon

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Grupo Productos Naturales y Materiales (ProNaM), Argentina.
yamiaon@gmail.com

Vanina Alejandra Guntero

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Grupo Productos Naturales y Materiales (ProNaM), Argentina.
vguntero@sanfrancisco.utn.edu.ar

Cristián A. Ferretti

Grupo de Síntesis Orgánica y Materiales (GSOM - FIQ - UNL - CONICET)
cferretti@fiq.unl.edu.ar

Resumen

La provincia de Córdoba (Argentina) es una productora importante de hortalizas, generando un desperdicio estimado de alrededor del 40% durante su procesamiento. Por lo que es esencial reducir este desperdicio que no recibe el tratamiento adecuado y así minimizar el impacto ambiental. Una forma de reducirlo y a su vez, añadir valor a la producción, es aprovechar los compuestos activos de los residuos de hortalizas. En particular, las remolachas contienen betalainas, que poseen propiedades como colorantes naturales. Por lo cual, en este trabajo, se plantea estudiar las mejores condiciones operativas para obtener el máximo rendimiento del extracto de remolacha mediante la técnica de extracción por ultrasonido. Se diseñó un experimento factorial completo variando el solvente y los tiempos de extracción. Posteriormente, el extracto se recuperó mediante hidrodestilación, se llevó a una estufa para eliminar el exceso de solvente presente obteniendo así rendimientos de los mismos entre el 9 y 12%.

Palabras clave: Ultrasonido, Pigmentos naturales, Componentes bioactivos, Extracción.

Abstract

The province of Córdoba (Argentina) is an important producer of vegetables, generating an estimated waste of around 40% during processing. Therefore, it is essential to reduce this waste that does not receive adequate treatment and thus minimizing the environmental impact is essential. One way to reduce it and, in turn, add value to production is to take advantage of the active compounds in vegetable waste. In particular, beets contain betalains, which have natural coloring properties. Therefore, in this work, it is proposed to study the best operating conditions to obtain the maximum yield of the beet extract using the ultrasound extraction technique. A complete factorial experiment was designed, varying the solvent and extraction times. Subsequently, the extract was recovered by hydrodistillation, it was placed in an oven to eliminate the excess solvent present, thus obtaining yields between 9 and 12%.

Keywords: Ultrasound, Natural Pigments, Bioactive components, Extraction.

Introducción

A nivel global, entre el 40% y el 50% de los desperdicios de alimentos provienen de productos vegetales y sus subproductos agroindustriales. La eliminación continua y sin tratamiento adecuado de estos residuos genera impactos negativos en el medioambiente, la sociedad y la economía (Panwar et ál., 2021: 549-562). En Argentina, 16 millones de toneladas de alimentos se pierden o desperdician anualmente, según registros del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación de las cuales, cerca de la mitad corresponde a frutas y hortalizas (Nutter et ál., 2020: 249-271). Dentro de las hortalizas, aquellas que se cultivan para el consumo de sus raíces (como remolacha, zanahoria y rabanito, entre otras) generan grandes cantidades de subproductos, como resultado del descarte de sus partes aéreas (hojas y tallos), pudiendo representar entre un 25 y 75% de toda la planta (Fernández et ál., 2017: 37-45). Por lo tanto, una gestión eficaz de estos desechos es cada vez más necesaria y urgente. Como alternativa, la posibilidad de recuperar los compuestos bioactivos presentes en estos residuos, ofrece una oportunidad para su revalorización. Los compuestos bioactivos, como los pigmentos y los compuestos fenólicos, ofrecen propiedades antioxidantes y antimicrobianas y tienen el potencial de ser utilizados en productos naturales y saludables (Nutter et ál., 2019: A-129; Cazón and Silva, 2024: 100929).

La sustitución de colorantes sintéticos por pigmentos naturales extraídos de frutas y verduras ha ganado popularidad debido a los beneficios para la salud y la creciente demanda de productos más naturales por parte de los consumidores (Cai et ál., 2005: 370-376). En Córdoba, una región destacada en la producción de hortalizas, el cultivo de remolacha abarca un porcentaje importante respecto a la producción total. Este cultivo es rico en betalainas que son pigmentos derivados del ácido betalámico que le confieren su coloración roja característica (Marañón-Ruiz, Rizo de la Torre, 2011: 113-120). Además, tienen propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, siendo utilizadas en productos para deportistas y como aditivos en alimentos. Sin embargo, su estabilidad y degradación depende de diversos factores, entre los que destacan, la luz, temperaturas superiores a 40°C y humedad (Salazar-Llangari et ál., 2019: 228-238; Chávez et ál., 2015: 111-118).

Para obtener los compuestos bioactivos se debe seleccionar una técnica de extracción y los parámetros involucrados. Existen técnicas tradicionales como la extracción Soxhlet y la hidrodestilación, las cuales están estudiadas y se caracterizan por utilizar grandes cantidades de solventes, y requieren prestar atención ya que el calor puede degradar compuestos sensibles (Bitwell et ál., 2023: e01585). En contraste, la extracción asistida por ultrasonido (EAU) es una técnica innovadora que ha demostrado ser eficiente en la extracción de compuestos bioactivos de diversas materias primas vegetales, ofreciendo ventajas como tiempos de extracción más cortos respecto a las tradicionales y alta reproducibilidad (Chemat et ál., 2015: 157-168). Dicha técnica, se está desarrollando a nivel laboratorio y escala piloto, siendo aún poco aplicada a nivel industrial.

Durante la técnica de ultrasonido, las ondas ultrasónicas generan burbujas de cavitación acústica que facilitan la liberación de compuestos al medio, aumentando el rendimiento de la extracción (Azuola and Vargas, 2007: 30-40). Dicho rendimiento de extracción está influenciado por distintos parámetros como son, la relación solvente-sólido, tiempo, tipo de solvente, temperatura, pH, frecuencia de extracción, amplitud de onda y potencia ultrasónica (Cazón & Silva, 2024). Por lo que, optimizar estas variables es esencial para obtener productos con las propiedades deseadas y que el proceso resulte industrialmente conveniente (Anaya-Esparza et ál., 2023: 7752).

En base a lo expuesto anteriormente, este trabajo se orientó a emplear y optimizar el método de extracción por ultrasonido para obtener una alternativa más favorable energéticamente. Dicho método fue aplicado a

cultivos de remolachas que fueron descartados en comercios de la región de San Francisco, provincia de Córdoba. Para poder lograr este objetivo se implementó un diseño experimental factorial completo.

Desarrollo

Obtención y preparación de la materia prima

La materia prima utilizada en esta investigación fueron las raíces de remolachas de distintos tamaños descartadas por comercios locales. Una vez recolectadas, se lavaron y luego se les redujo el tamaño por medio del rallado con objeto de aumentar la superficie de contacto entre la materia prima y el solvente, y así aumentar también el área expuesta a la cavitación ultrasónica.

Diseño Factorial

El diseño factorial se estableció para identificar combinaciones óptimas de factores y niveles. Para esto se seleccionaron dos factores con tres niveles diferentes cada uno, y se mantuvo fija la temperatura a 30°C y la frecuencia de ultrasonido a 50 Hz. Uno de los factores estudiados fue el tipo de solvente, eligiendo como niveles agua, etanol, solución etanol-agua al 50%. Por otro lado, también se estudió el tiempo de extracción donde los niveles fueron 20, 30, 40 minutos. El diseño factorial completo (Tabla 1) se generó usando un software especializado para asegurar una cobertura exhaustiva de todas las combinaciones posibles.

Tabla 1. Diseño factorial para EAU

Ensayo	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Solvente
U1	30	20	Agua
U2	30	20	Etanol
U3	30	20	Solución 50%
U4	30	30	Agua
U5	30	30	Etanol
U6	30	30	Solución 50%
U7	30	40	Agua
U8	30	40	Etanol
U9	30	40	Solución 50%

Extracción por EAU

Resultados previos indican que la extracción con ultrasonido mejora el contacto superficial entre el solvente y la muestra vegetal acelerando la liberación de compuestos bioactivos (Bitwell et ál., 2023: e011585), siendo así importante la relación entre la cantidad de materia vegetal y solvente seleccionada.

Para realizar este procedimiento se pesaron 20 g de muestra de remolacha rallada y se midieron 200 ml del solvente seleccionado. Ambas cantidades se colocaron en un vaso de precipitado dentro del equipo de ultrasonido. Luego se ajustó en el equipo el valor de la temperatura y del tiempo de extracción según el diseño experimental. En la Figura 1 es posible observar el producto obtenido al realizar la extracción empleando el método de extracción con ultrasonido.

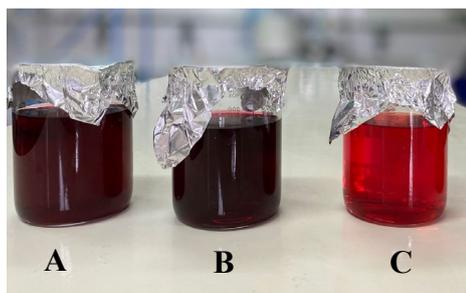


Figura 1. Extractos obtenidos con A) solución etanol:agua 50:50, B) agua, C) etanol.

Purificación del extracto

El extracto obtenido se filtró. Luego la parte líquida fue sometida a hidrodestilación para eliminar la mayor cantidad posible de solvente obteniendo un producto más concentrado. Finalmente, el extracto se secó en estufa a temperatura constante obteniendo el producto final de consistencia viscosa (Figura 2).



Figura 2. Extracto obtenido.

Cálculo del rendimiento

Se calcula el rendimiento de la extracción a través de la Ec. (1) considerando el producto obtenido del proceso luego del secado, siendo m_{es} la masa del extracto seco y m_i la masa de la muestra inicial.

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{m_{es}}{m_i} \cdot 100\% \quad (1)$$

Resultados

Los rendimientos obtenidos de los experimentos realizados (Tabla 2) fueron mayores al 9% en todos los casos. Sin embargo, en los casos en que se implementó agua como solvente el mejor rendimiento se presentó cuando el tiempo de extracción fue de 40 minutos. En cambio, cuando se utilizó el etanol como solvente el mejor rendimiento fue cuando se realizó la extracción durante 20 minutos. En el caso de la utilización de solución etanol – agua (50%) como disolvente, el rendimiento fue mejor a los 30 minutos de extracción.

Tabla 2. Rendimientos obtenidos en ensayos

Ensayo	Rendimiento (%)
U1	10,11
U2	10,52
U3	9,85
U4	10,62
U5	9,97
U6	12,82
U7	11,54
U8	9,06
U9	10,51

Conclusiones

Este estudio se centró en la valorización de los descartes de remolacha que se generan en comercios de la región para la obtención de un extracto enriquecido en compuestos bioactivos. Utilizando un diseño experimental que incluyó combinaciones de solventes y tiempos de extracción se llevaron a cabo los diversos experimentos, buscando las mejores condiciones operativas. La metodología aplicada destacó por sus tiempos de operación reducidos y por la eficiencia en el uso de solventes, además de ser una opción amigable con el medio. Teniendo en cuenta que los rendimientos obtenidos son similares, se continuará el estudio de optimización disminuyendo los tiempos de extracción para estudiar la variabilidad. Una vez obtenido el extracto en las mejores condiciones operativas, se purificará el mismo para obtener los principios activos de interés de forma más homogénea y pura, al cual se le evaluará la estabilidad sometiénolo a diferentes condiciones de temperatura, pH y humedad, y también se cuantificará el pigmento natural.

Agradecimientos

Los autores agradecen al financiamiento otorgado por la Universidad Tecnológica Nacional mediante el proyecto PAPPSF0008588.

Referencias

Anaya-Esparza, L. M., Aurora-Vigo, E. F., Villagrán, Z., Rodríguez-Lafitte, E.; Ruvalcaba-Gómez, J.M.; Solano-Cornejo, M. Á., Zamora-Gasga, V. M., Montalvo-González, E., Gómez-Rodríguez. H., Aceves-Aldrete, C. E., González-Silva, N. (2023). "Design of Experiments for Optimizing Ultrasound-Assisted Extraction of Bioactive Compounds from Plant-Based Sources". *Molecules*, 28(23), 7752.

Azuola, R., & Vargas, P. (2007). "Extracción de sustancias asistida por ultrasonido (EUA)". *Tecnología En Marcha*, 20(4), 30 - 40.

Bitwell, C., Indra, S. S., Luke, C., Kakoma, M. K. (2023). "A review of modern and conventional extraction techniques and their applications for extracting phytochemicals from plants". *Scientific African*, 19, e01585.

Cai, Y. Z., Sun, M., Corke, H. (2005). "Characterization and application of betalain pigments from plants of the Amaranthaceae". *Trends in Food Science and Technology*, 16(9), 370–376.

- Cazón, P., Silva, A.S. (2024). "Natural pigments from food wastes: New approaches for the extraction and encapsulation". *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 47, 100929.
- Chemat, F., Fabiano-Tixier, A. S., Vian, M.A., Allaf, T., Vorobiev, E. (2015). "Solvent-free extraction of food and natural products". *Trends in Analytical Chemistry*, 71, 157-168.
- Fernández, M.V., Jagus, R. J., Agüero, M. V. (2017). "Evaluation and Characterization of Nutritional, Microbiological and Sensory Properties of Beet Greens". *Acta Scientific Nutritional Health*, 1(3), 37-45.
- Marañón-Ruiz, V. F., Rizo de la Torre, L. del C. (2011). "Caracterización de las propiedades ópticas de Betacianinas y Betaxantinas por espectroscopía Uv-Vis y barrido en Z". *Superficies y Vacío*, 24(4), 113-120.
- Nutter, J & Rosa, Jagus & Agüero, María. (2019). "Extracción asistida por ultrasonido (EAU) de bioactivos presentes en hoja de remolacha". *Actas del XXI Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ciencia y Tecnología de Alimentos - XVII Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos, CyTAL®-ALACCTA, Buenos Aires, Argentina, 20 al 22 de noviembre, A-129.*
- Nutter, J.; Fernández, M.V.; Jagus, R.J.1,2; Agüero, M.V. (2020). "Alternatives for beet (*Beta vulgaris* L.) leaves revalorization - A bibliographic review". *Horticultura Argentina*, 39 (100): 249-271.
- Panwar, D., Saini, A., Panesar, P. S., & Chopra, H. K. (2021). "Unraveling the scientific perspectives of citrus by-products utilization: Progress towards circular economy". *Trends in Food Science & Technology*, 111, 549-562.
- Salazar-Llangari, K. G., Flores, L. M., Coba-Carrera, R. L., & Brito Moina, H. L. (2019). "Obtención de Betacianinas de la Remolacha (*Beta vulgaris*)". *Desarrollo & crecimiento*, 3(3.4), 228-238.
- Sánchez-Chávez, W.; Cortez-Arredondo, J.; Solano-Cornejo, M.; Vidaurre-Ruiz, J. (2015). Cinética de degradación térmica de betacianinas, betaxantinas y vitamina C en una bebida a base de jugo de remolacha (*Beta vulgaris* L.) y miel de abeja. *Scientia Agropecuaria*, 6 (2): 111-118.

Impacto de contaminantes agroindustriales sobre la actividad microbiana y fitotoxicidad del suelo.

Impact of agro-industrial pollutants on soil microbial activity and phytotoxicity.

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Debora Conde Molina

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Delta, Grupo de Biotecnología y Nanotecnología Aplicada, Argentina.
dconde@frd.utn.edu.ar

Vanina Di Gregorio

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Delta, Grupo de Biotecnología y Nanotecnología Aplicada, Argentina.
vdigregorio@frd.utn.edu.ar

Betiana Sánchez Holmedilla

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Delta, Grupo de Biotecnología y Nanotecnología Aplicada, Argentina.
besanchez@frd.utn.edu.ar

Martín Barbieri

Estación Experimental Agropecuaria San Pedro, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina.
barbieri.martin@inta.gob.ar

Resumen

La contaminación del suelo por compuestos agroindustriales es una amenaza significativa para los ecosistemas terrestres. Este estudio evaluó el impacto de hidrocarburos, aceites vegetales, glifosato y atrazina en la actividad microbiana y la germinación de semillas de lechuga (*Lactuca sativa*). Se contaminó el suelo con estos compuestos en concentraciones de 1.000, 5.000 y 10.000 ppm. Los resultados revelaron una disminución significativa en la actividad microbiana, la germinación de semillas y el alargamiento del hipocótilo a medida que aumentaba la concentración de contaminantes, destacándose los hidrocarburos como los más tóxicos, seguidos por los aceites vegetales y por último los herbicidas. La inhibición del crecimiento del hipocótilo fue más pronunciada que la disminución en la germinación, sugiriendo que las etapas tempranas del desarrollo de la planta son especialmente sensibles. Este estudio subraya la importancia de monitorear y gestionar los niveles de contaminantes en el suelo para mitigar sus impactos ecológicos adversos.

Palabras clave: hidrocarburos, aceites vegetales, glifosato, atrazina, actividad microbiana, fitotoxicidad.

Abstract

Soil contamination by agro-industrial compounds is a significant threat to terrestrial ecosystems. This study evaluated the impact of hydrocarbons, vegetable oils, glyphosate and atrazine on microbial activity and germination of lettuce (*Lactuca sativa*) seeds. Soil was contaminated with these compounds at concentrations of

1,000, 5,000 and 10,000 ppm. The results revealed a significant decrease in microbial activity, seed germination and hypocotyl elongation as the concentration of contaminants increased, with hydrocarbons being the most toxic, followed by vegetable oils and herbicides. The inhibition of hypocotyl growth was more pronounced than the decrease in germination, suggesting that early stages of plant development are particularly sensitive. This study underscores the importance of monitoring and managing contaminant levels in soil to mitigate their adverse ecological impacts.

Keywords: hydrocarbons, vegetable oils, glyphosate, atrazine, microbial activity, phytotoxicity.

Introducción

La contaminación del suelo por distintos tipos de contaminantes, como los hidrocarburos, aceites vegetales y pesticidas, es un problema ambiental que proviene principalmente de actividades industriales, agrícolas y de transporte. Estos contaminantes no solo alteran las propiedades físicas y químicas del suelo, sino que también afectan a las comunidades microbianas y la vegetación (Dong et al. 2020; Jia et al. 2023)

Los hidrocarburos provienen principalmente de derrames de petróleo, fugas de combustibles y actividades industriales relacionadas con la extracción y procesamiento de hidrocarburos. Estos compuestos son conocidos por su persistencia en el medio ambiente y su capacidad para interferir en procesos biológicos esenciales en el suelo. A nivel microbiano, los hidrocarburos pueden inhibir la actividad enzimática y alterar la composición de las comunidades microbianas, afectando su capacidad para descomponer materia orgánica y ciclar nutrientes (Zhang et al. 2019; Kuppusamy et al. 2020). En las plantas, los hidrocarburos pueden penetrar en los tejidos, afectando negativamente la germinación y el crecimiento, y comprometiendo así la productividad agrícola y la regeneración natural de las áreas afectadas (Gkorezis et al. 2016; Mitter et al. 2021).

Los aceites vegetales, aunque son derivados de fuentes naturales, pueden contaminar el suelo a través de vertidos accidentales o desechos de la industria alimentaria. Aunque estos aceites son menos tóxicos en comparación con los hidrocarburos, su presencia en concentraciones elevadas puede alterar el equilibrio ecológico del suelo. Pueden modificar las propiedades físicas del suelo, como la porosidad y la retención de agua, y reducir la disponibilidad de nutrientes esenciales, afectando tanto a los microorganismos del suelo como al desarrollo de las plantas (Conde Molina et al. 2024).

Por otro lado, los pesticidas como el glifosato y la atrazina son ampliamente utilizados en la agricultura para el control de malezas, pero su persistencia en el suelo y su potencial para afectar a otros organismos han generado preocupaciones ambientales. La manipulación de estos compuestos en altas concentraciones puede generar derrames que incrementen su persistencia en el suelo, alterando la actividad microbiana y afectando el crecimiento de plantas no objetivo. Esto subraya la necesidad de evaluar exhaustivamente su impacto en los ecosistemas del suelo (Helander et al. 2019; Kepler et al. 2020).

Este estudio tiene como objetivo evaluar el impacto de diferentes contaminantes, incluyendo hidrocarburos, aceites vegetales, glifosato y atrazina, sobre la actividad microbiana del suelo, la germinación de semillas y el crecimiento inicial de las plántulas. A través de una serie de bioensayos estandarizados, se busca cuantificar la toxicidad de estos contaminantes en función de su concentración, proporcionando una base para entender sus efectos sobre la salud del suelo y la vegetación, y para orientar estrategias de manejo en áreas contaminadas.

Desarrollo

Diseño del ensayo

Se utilizó un suelo de textura franca sin historial de contaminación, procedente de la zona agroindustrial del noroeste de la provincia de Buenos Aires, con un contenido de humedad del 36,75 % y un pH de 7,8. El suelo fue contaminado de manera independiente con cuatro contaminantes: hidrocarburos (mezcla de diesel : querosene : nafta (YPF)), aceites vegetales (mezcla de aceite de girasol : aceite de soja : aceite de maíz : aceite de oliva (Molinos Río de la Plata)), glifosato (Solchem SpA), atrazina (Rainbow Agroscienses). Para la contaminación, se colocaron muestras de 50 g de suelo en bolsas tipo Ziploc, y se les aplicó la solución correspondiente de cada contaminante utilizando un pulverizador tipo spray, con el objetivo de alcanzar concentraciones de 1.000, 5.000

y 10.000 ppm. Cada concentración se ensayó por duplicado. Las muestras fueron incubadas a 22 °C durante 48 horas, tras lo cual se realizaron los ensayos de actividad microbiana y fitotoxicidad.

La actividad microbiana total (hidrolítica) se determinó mediante la hidrólisis del diacetato de fluoresceína (FDA). Para ello, se incubaron 2,5 g de suelo a 37 °C con 10 ml de una solución fosfato (8,7 g/L de K_2HPO_4 , 1,3 g/L de KH_2PO_4 , pH 7,6) y 100 μ L de una solución de FDA a 2000 μ g/L. Después de 3 horas de incubación, se añadió 10 mL acetona. Las soluciones se centrifugaron durante 5 min a 3.000 rpm, y la absorbancia de la fase acuosa se midió a 490 nm utilizando un espectrofotómetro (UV-1800, Shimadzu). La concentración de fluoresceína liberada se calculó a partir de una curva de calibración elaborada con soluciones estándar de fluoresceína (Sigma-Aldrich). Los resultados se expresaron en μ g de fluoresceína liberada por gramo de suelo y por hora (μ g $g^{-1} h^{-1}$) (Conde Molina et al. 2024).

La toxicidad se evaluó mediante un bioensayo estandarizado con semillas de lechuga (*Lactuca sativa*; USEPA, 1989), seleccionadas por su alta sensibilidad a los contaminantes ambientales. El bioensayo se llevó a cabo utilizando el elutriado de cada muestra, que representó la fase acuosa en contacto con el suelo contaminado después de un periodo de exposición de 48 horas en una proporción de suelo de 1:4. El bioensayo se realizó en condiciones estáticas, con 20 semillas colocadas en papel de filtro empapado con elutriado o con agua destilada (control). La evaluación de la germinación de las semillas y el alargamiento del hipocótilo después de 5 días de incubación sirvieron como indicadores de la toxicidad potencial. El hipocótilo corresponde a la región del tallo entre el brote y la raíz.

Impacto de los hidrocarburos

El análisis de los efectos de los hidrocarburos en el suelo muestra una marcada inhibición de la germinación de semillas, el crecimiento del hipocótilo y la actividad microbiana medida por FDA (Figura 1.A). A 1.000 ppm de hidrocarburos, el porcentaje de semillas germinadas se redujo al 75 %, mientras que a concentraciones de 5.000 y 10.000 ppm, la germinación disminuyó aún más, alcanzando el 52,78 % y 36,11 %, respectivamente. Simultáneamente, el alargamiento del hipocótilo se vio afectado de manera similar, con reducciones a 44,62 %, 38,45 % y 19,52 % para las mismas concentraciones. La actividad microbiana también mostró una tendencia descendente, con valores de FDA disminuyendo al 60,29 %, 43,29 % y 36,34 % a medida que aumentaba la concentración de hidrocarburos en el suelo. Estos resultados sugieren una relación dosis-respuesta, donde las concentraciones más altas de hidrocarburos en el suelo resultan en una mayor inhibición de los procesos biológicos esenciales para el desarrollo vegetal y la actividad microbiana. La toxicidad de los hidrocarburos podría estar relacionada con su capacidad para alterar la estructura del suelo y su disponibilidad de oxígeno, así como para interferir con los procesos metabólicos de las plantas y los microorganismos. Los efectos observado están alineados con estudios que han documentado la toxicidad de los hidrocarburos en suelos agrícolas y su impacto en la biodiversidad del suelo (Gałazka et al. 2018; Salam et al. 2019).

Impacto del aceite vegetal

La contaminación por aceite vegetal también muestra un impacto negativo significativo, aunque en menor grado que los hidrocarburos (Figura 1.B). A 1.000 ppm de aceite vegetal, la germinación de semillas se redujo al 83,33 %, y el crecimiento del hipocótilo disminuyó al 72,94 %. A concentraciones más altas, de 5.000 y 10.000 ppm, se observaron reducciones adicionales tanto en la germinación (63,89 % y 44,44 %, respectivamente) como en el alargamiento del hipocótilo (51,35 % y 37,81 %). La actividad microbiana también mostró una disminución, con valores de 65,23 % a 1.000 ppm, 54,88 % a 5.000 ppm y 52,95 % a 10.000 ppm. A pesar de la menor toxicidad en comparación con los hidrocarburos, estos resultados indican que el aceite vegetal puede interferir predominantemente con los procesos fisiológicos y microbianos en el suelo, posiblemente debido a la formación de una película que afecta la disponibilidad de oxígeno y agua, esenciales para el desarrollo de las plantas y la actividad microbiana. Estos efectos coinciden con investigaciones que señalan que la presencia de aceites vegetales en el suelo puede alterar las propiedades físicas y biológicas del suelo, afectando la actividad de los microorganismos (Sanderson et al. 2018; Thompson & Newman, 2021). Además, a pesar de aumentar la concentración de los aceites, los efectos sobre la toxicidad en las semillas no muestran diferencias significativas.

Impacto del glifosato y atrazina

Los resultados para los fitosanitarios muestran variaciones en función del tipo de compuesto. Para el glifosato (Figura 1.C), los datos indican que la germinación de las semillas fue relativamente menos afectada en comparación con los hidrocarburos y el aceite vegetal, con tasas de germinación del 86,11 %, 83,33 % y 77,78 % a concentraciones de 1.000, 5.000 y 10.000 ppm, respectivamente. Sin embargo, el glifosato mostró un impacto más significativo en el crecimiento del hipocótilo, con reducciones a 79,32 %, 70,46 % y 65,79 %, respectivamente, y también en la actividad microbiana, cuyos valores de FDA disminuyeron a 62,61 %, 56,43 % y 54,43 % en las mismas concentraciones, en comparación con el control.

Por otro lado, la atrazina (Figura 1.D) presentó valores de germinación de las semillas relativamente altos, siendo 86,05 %, 80,56 % y 83,33 % a concentraciones de 1.000, 5.000 y 10.000 ppm, respectivamente. Sin embargo, el crecimiento del hipocótilo disminuyó de manera más pronunciada, con valores de 89,33 %, 75,49 % y 64,12 %, lo que sugiere un efecto tóxico más marcado en las etapas posteriores a la germinación. Asimismo, los valores de FDA para la atrazina se redujeron a 62,22 %, 62,99 % y 56,43 % en las respectivas concentraciones, reflejando un impacto sostenido en la actividad microbiana del suelo.

Cabe destacar que las concentraciones de 5.000 y 10.000 ppm utilizadas en este estudio representan niveles muy altos, que podrían darse en casos de derrames significativos o episodios de contaminación puntual. Estas concentraciones son altamente superiores que las que se utilizan habitualmente en el campo en la aplicación rutinaria de fitosanitarios. Por otro lado, existen publicaciones que confirman que ambos herbicidas, aunque efectivos en el control de malezas, pueden tener efectos adversos en el desarrollo de las plantas no objetivo y la actividad microbiana en suelos contaminados (Weaver et al. 2007; Abdullahi et al. 2022). En nuestro caso, las reducciones observadas en el crecimiento del hipocótilo y la actividad microbiana subrayan la necesidad de considerar los efectos a largo plazo de estos contaminantes en el suelo.

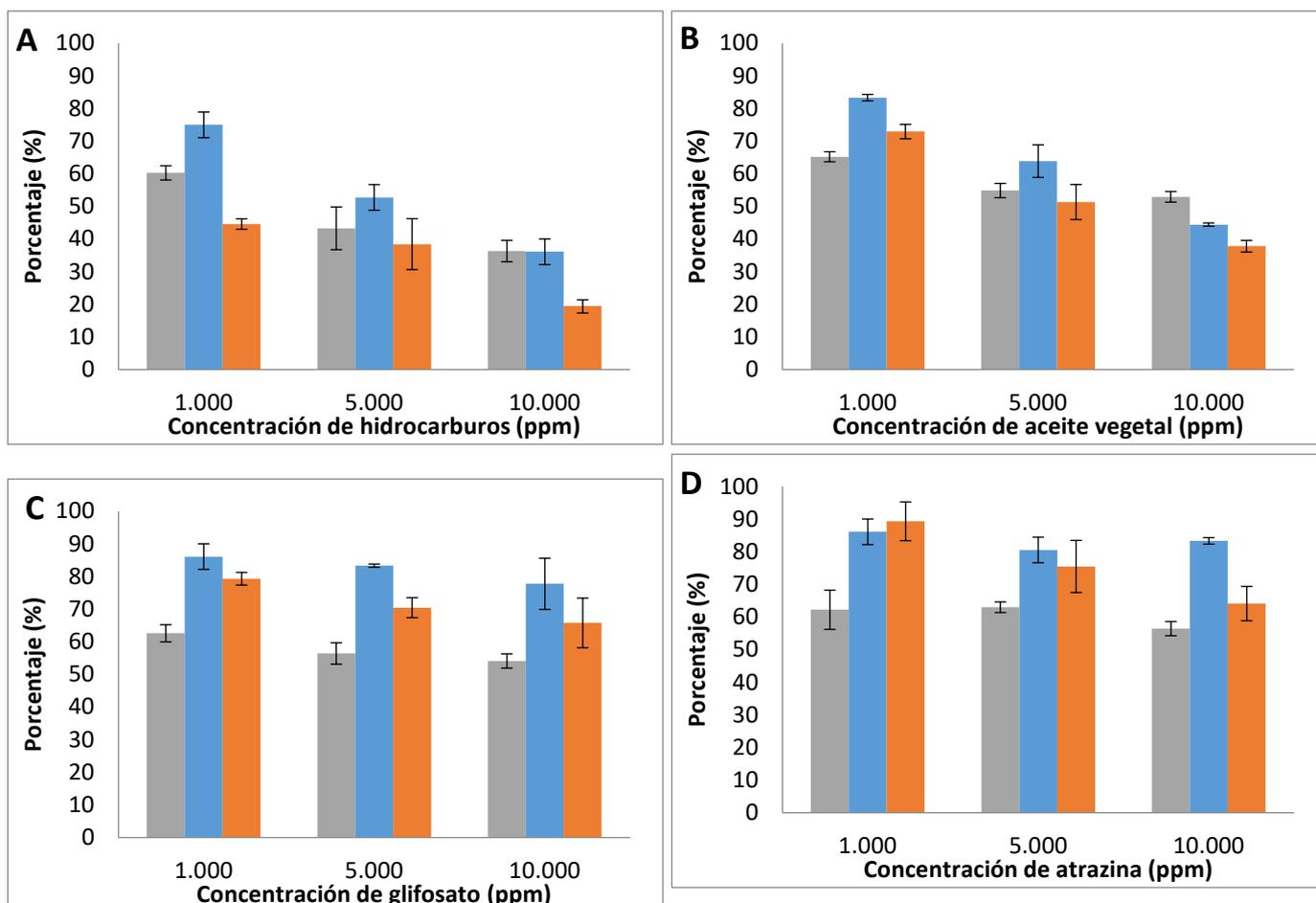


Figura 1. Impacto de hidrocarburos (A), aceites vegetales (B), glifosato (C) y atrazina (D) sobre un suelo a distintas concentraciones (1.000, 5.000 y 10.000 ppm): evaluación de la actividad microbiana (FDA ■) y de la fitotoxicidad (semillas germinadas ■, largo del hipocótilo ■). Porcentajes (%) calculados en relación al suelo sin impactar (100%).

Conclusiones

Los resultados muestran que la presencia de contaminantes como hidrocarburos, aceites vegetales, glifosato y atrazina en el suelo tiene efectos adversos significativos en la germinación de semillas, el crecimiento del hipocótilo y la actividad microbiana. La relación dosis-respuesta observada destaca la importancia de controlar las concentraciones de estos contaminantes en suelos agroindustriales para mitigar sus impactos negativos. Las técnicas ensayadas, como la medición de la actividad microbiana y la fitotoxicidad, son herramientas valiosas para evaluar el impacto de diferentes contaminantes en el suelo. En particular, los hidrocarburos y aceites vegetales mostraron toxicidad significativa, reduciendo la germinación y el alargamiento del hipocótilo por debajo del 50 %. Aunque los fitosanitarios no alcanzaron niveles críticos de toxicidad en estos parámetros, su efecto adverso en la actividad microbiana indica un impacto potencialmente perjudicial. Es importante destacar que las dosis de fitosanitarios ensayadas son altas y podrían ser tóxicas para animales y otros organismos no objetivo. Estos resultados señalan la necesidad de implementar bioensayos adicionales, como la toxicidad en lombrices de tierra, para una evaluación más completa del riesgo ambiental de estos contaminantes.

Referencias

- Abdullahi, K., Saleh, K. J., & Mzungu, I. (2022). Effect of atrazine, 2, 4-D amine, glyphosate and paraquat herbicides on soil microbial population. *Journal of Environmental Microbiology and Toxicology*, 10(1), 19-22.
- Conde Molina D., & Di Gregorio V. (2024). Enhancing biodegradation of vegetable oil-contaminated soil with soybean texturized waste, spent mushroom substrate, and stabilized poultry litter in microcosm systems. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 40, 237.
- Dong, Z. L., Wang, B. S., & Li, J. (2020). Effects of petroleum hydrocarbon contamination on soil bacterial diversity in the permafrost region of the Qinghai-Tibetan Plateau. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 29(3), 322-339.
- Gałązka, A., Grządziel, J., Gałązka, R., Ukalska-Jaruga, A., Strzelecka, J., & Smreczak, B. (2018). Genetic and functional diversity of bacterial microbiome in soils with long term impacts of petroleum hydrocarbons. *Frontiers in Microbiology*, 9, 1923.
- Gkorezis, P., Daghigho, M., Franzetti, A., Van Hamme, J., Sillen, W., & Vangronsveld, J. (2016). The interaction between plants and bacteria in the remediation of petroleum hydrocarbons: An environmental perspective. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1836.
- Helander, M., Pauna, A., Saikkonen, K., & Saloniemi, I. (2019). Glyphosate residues in soil affect crop plant germination and growth. *Scientific Reports*, 9(1), 19653.
- Jia, W., Cheng, L., Tan, Q., Liu, Y., Dou, J., Yang, K., Yang, Q., Wang, S., Li, J., Niu, G., Zheng, L., & Ding, A. (2023). Response of the soil microbial community to petroleum hydrocarbon stress shows a threshold effect: research on aged realistic contaminated fields. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1188229.
- Kepler, R. M., Epp Schmidt, D. J., Yarwood, S. A., Cavigelli, M. A., Reddy, K. N., Duke, S. O., & Maul, J. E. (2020). Soil microbial communities in diverse agroecosystems exposed to the herbicide glyphosate. *Applied and Environmental Microbiology*, 86(5), e01744-19.

Kuppusamy, S., Maddela, N. R., Megharaj, M., Venkateswarlu, K., Kuppusamy, S., Maddela, N. R. & Venkateswarlu, K. (2020). Ecological impacts of total petroleum hydrocarbons. *Total Petroleum Hydrocarbons: Environmental Fate, Toxicity, and Remediation*, 95-138.

Mitter, E. K., Germida, J. J., & de Freitas, J. R. (2021). Impact of diesel and biodiesel contamination on soil microbial community activity and structure. *Scientific Reports*, 11(1), 10856.

Salam, L. B., & Idris, H. (2019). Consequences of crude oil contamination on the structure and function of autochthonous microbial community of a tropical agricultural soil. *Environmental Sustainability*, 2(2), 167-187.

Sanderson, K., Módenes, A. N., Espinoza-Quinones, F. R., Trigueros, D. E. G., Júnior, L. A. Z., Schuelter, A. R., & Kroumov, A. D. (2018). Soybean plant-based toxicity assessment and phytoremediation of soils contaminated by vegetable and mineral oils used in power electrical transformers. *Chemosphere*, 197, 228-240.

Weaver, M. A., Krutz, L. J., Zablotowicz, R. M., & Reddy, K. N. (2007). Effects of glyphosate on soil microbial communities and its mineralization in a Mississippi soil. *Pest Management Science*, 63(4), 388-393.

Zhang, Y., Sun, X., Qian, C., Li, L., Shang, X., Xiao, X., & Gao, Y. (2022). Impact of Petroleum Contamination on the Structure of Saline Soil Bacterial Communities. *Current Microbiology*, 79(11), 351.

Estado del Arte de la solubilidad del ácido poliláctico

State of the Art of polylactic acid solubility

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

María Andrea Caula

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Ingeniería de Procesos Sustentable (2400), San Francisco, Córdoba, Argentina
andrea_caula@hotmail.com

Matías Alejandro Raspo

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Ingeniería de Procesos Sustentable (2400), San Francisco, Córdoba, Argentina
Centro Regional de Educación Superior San Francisco. (2400), San Francisco, Córdoba, Argentina
IAPC Básicas y Aplicadas, Universidad Nacional de Villa María, (5900) Villa María, Argentina
mraspo@sanfrancisco.utn.edu.ar

Alfonsina Ester Andreatta

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Ingeniería de Procesos Sustentable (2400), San Francisco, Córdoba, Argentina
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina
aandreatta@sanfrancisco.utn.edu.ar

Resumen

El ácido poliláctico es un poliéster elaborado a partir de recursos renovables. Se puede disolver fácilmente en una variedad de solventes; sin embargo, es un desafío encontrar un solvente no tóxico y adecuado. Un solvente que se utiliza ampliamente para disolver ácido poliláctico es el diclorometano, además del cloroformo. Estos son altamente tóxicos, por lo tanto, es necesario encontrar alternativas más amigables con el medio ambiente para lograr su disolución. Este objetivo de este trabajo fue realizar una extensa búsqueda bibliográfica para poder identificar a aquellos solventes que actualmente se utilizan para disolver el ácido poliláctico. Se encontró que la mayoría de ellos no son amigables con el medio ambiente y que mayormente se usa cloroformo y diclorometano.

Palabras clave: ácido poliláctico, solventes, solubilidad

Abstract

Polylactic acid (PLA) is a polyester made from renewable resources. It can be easily dissolved in a variety of solvents; however, it is challenging to find a suitable, non-toxic solvent. A solvent that is widely used to dissolve PLA is dichloromethane (DCM), in addition to chloroform. These are highly toxic, it is necessary to find more environment friendly alternatives to archive their dissolution. The objective of this work was to carry out an extensive bibliographic search to identify those solvents that are currently used to dissolve polylactic acid. It was found that most of them are not environmentally friendly and that chloroform and dichloromethane are mostly used.

Keywords: Polylactic acid, solvent, solubility

Introducción

El ácido poliláctico (PLA) es un polímero termoplástico alifático, compostable y biocompatible derivado del almidón contenido en productos como maíz, caña de azúcar y remolacha azucarera (Garlotta, 2001). Durante los últimos años, el PLA se ha utilizado en dispositivos médicos (Zhao et al., 2019), prótesis (Fairag, 2019), en el sistema de administración de medicamentos (Pan et al., 2019). Con el avance de las nuevas tecnologías, el PLA se está utilizando en otras áreas como impresiones 3 D (De Andrade et al., 2020; Tang et al., 2020), productos como embalajes, textiles y materiales compuestos (Drumright et al., 2000). En cuanto al embalaje, tiene ciertas limitaciones como la deformación, rotura, la baja resistencia a las temperaturas (Rhim et al., 2009), baja tasa de cristalización y baja tasa de biodegradación (Munyazesa et al., 2019; Shahdan et al., 2020; Wan Ishak et al., 2020). Aunque el PLA está clasificado como un polímero biodegradable, recientes estudios han revelado ciertos problemas relacionados con su eliminación, debido a sus malas propiedades de degradación (Guo et al., 2018; Satti et al., 2018).

El PLA es altamente soluble en solventes como cloroformo y dioxano (Furuhashi et al., 2006). Cada solvente influye de manera diferente en las propiedades de la película que se forma luego de su disolución y posterior evaporación. Por ejemplo, el cloroformo induce una mayor movilidad de la cadena del polímero y el dioxano provoca una superficie rugosa de la película debido a su lenta tasa de evaporación (Bistac & Schultz, 1997). Huda et al. (2002) reporta que las soluciones de PLA en cloroformo resultan en una conformación aleatoria de las moléculas. Por su parte, (Paragkumar N et al., 2006) reportan que el PLA tiene baja solubilidad en solventes como tolueno, acetona, acetonitrilo y acetato de etilo.

Este trabajo tiene como objetivo, recuperar de la bibliografía, los diferentes solventes que se utilizan comúnmente para disolver el PLA y la proporción.

Desarrollo

Tasci et al (2021), disolvieron PLA en diferentes solventes como diclorometano, cloroformo y una mezcla de etanol y cloroformo. Las soluciones se agitaron con un agitador magnético (600 rpm) a temperatura ambiente (25 °C) durante 1 h. En primer lugar, prepararon soluciones de 2% en peso y 4% en peso de PLA disolviéndolo en 20 ml de cloroformo. En segundo lugar, 3% en peso de PLA que se disolvió en 19 ml de cloroformo y luego se añadió gota a gota 1 ml de etanol y se mezcló con un agitador magnético. Finalmente, se preparó 3% en peso de PLA en 20 mL de diclorometano. El objetivo de este trabajo era producir micropartículas de PLA mediante electropulverización.

Por su parte, Agudo et al (2021) utilizaron cloroformo, acetona y tetrahidrofurano. Para las películas de PLA amorfo, las partículas de ácido poliláctico se disolvieron en cloroformo, acetona y tetrahidrofurano (20% p/v) usando un agitador rotatorio. Luego se dejaron secar primero a temperatura ambiente durante 24 h, y posteriormente en estufa a 70 °C durante 24 h para eliminar completamente cualquier resto de solvente. Para las películas cristalinas de PLA, las partículas de ácido poliláctico (PLA) se disolvieron en cloroformo (5% w/v). Luego las muestras se dejaron secar primero a temperatura ambiente durante 24 h, y posteriormente en estufa a 70 °C durante 24 h, para eliminar por completo cualquier resto de solvente. Estos autores, no encontraron diferencias significativas para los diferentes solventes utilizados (cloroformo, acetona y tetrahidrofurano) en la hidrofobicidad de las películas preparadas mediante casting. Tampoco parecen influir en la estructura cristalina/disposición espacial de las cadenas poliméricas. Sin embargo, se ha demostrado que el material del molde sobre el que se coloca las diferentes soluciones de PLA para obtener las películas influye en la hidrofobicidad de la misma, con un aumento de 30 en el ángulo de contacto con el agua cuando se utilizan moldes de silicona, en comparación a cuando se utilizan moldes de vidrio. También se podría considerar la superficie sobre la que se preparan las películas de PLA como otro método para cambiar algunas de sus propiedades superficiales.

Preuksarattanawut et al (2019) prepararon soluciones de PLA en diclorometano o cloroformo en concentraciones de 1,5%, 3%, 5% y 10%, respectivamente, y luego cada solución de polímero se vertió adicionalmente en una placa de Petri, bajo humedad controlada dentro de una cámara cerrada para la obtención de películas por medio de casting. Los resultados muestran que un aumento en la concentración del polímero conduce a una disminución en el tamaño de poro promedio de las películas poliméricas. Así entendiendo, que el polímero soluble en solventes orgánicos con diferentes puntos de ebullición, densidad y propiedades de solubilidad y las constantes dieléctricas pueden ayudar a explicar el mecanismo de formación de poros durante

la evaporación del solvente y agua. Además, un aumento de la humedad relativa crea películas de PLA porosas más ordenadas con tamaño de poro más grande.

Paragkumar et al (2006) prepararon soluciones de PLA en cloroformo y obtuvieron films de varios espesores dejándolos evaporar a temperatura ambiente y luego a vacío a 50°C mientras que Furuhashi et al (2006) prepararon films de PLA en cloroformo a una concentración de 5 g/dl. Finalmente Huda et al (2002) obtuvieron films de PLA en cloroformo a una concentración de 1 g/dl formados en placa de Petri de vidrio y secados a temperatura ambiente en un desecador durante 48 °C con posterior aplicación de vacío a 30 °C 12 hs.

La tabla 2 resume los solventes utilizados por los diferentes autores y la concentración que utilizaron.

Tabla 2: Solventes utilizados en la literatura para disolver el PLA.

Solvente/s	Concentración de PLA	Referencia
Cloroformo	2% y 4% en peso de PLA disolviéndolo en 20 ml	Tasci et al (2021)
Mezcla de etanol y cloroformo	3% en peso de PLA disueltos en 19 ml de cloroformo y 1 ml de etanol	Tasci et al (2021)
Diclorometano	3% en peso de PLA en 20 mL	Tasci et al (2021)
Cloroformo, acetona y tetrahidrofurano en PLA amorfo	20% p/v	Agudo et al (2021)
Cloroformo en PLA cristalino	5% w/v	Agudo et al (2021)
Cloroformo, diclorometano	1,5%, 3%, 5%, 10%	Preuksarattanawut et al (2019)
Cloroformo	-----	Paragkumar et al (2006)
Cloroformo	5 g/dl	Furuhashi et al (2006)
Cloroformo	1 g/dl	Huda et al (2002)

De la búsqueda bibliográfica realizada, no se encontraron datos de solubilidad de los diferentes solventes en PLA.

Conclusiones

En este trabajo se realizó una extensa búsqueda bibliográfica para identificar aquellos solventes que actualmente se utilizan para disolver el ácido poliláctico. Se encontró que la mayoría de ellos no son amigables con el medio ambiente y los solventes cloroformo o diclorometano son los más utilizados. Todas las referencias bibliográficas, evidencian que cada solvente influye de manera diferente en las propiedades de la película.

Referencias

- Bistac, S., & Schultz, J. (1997). Solvent retention in solution-cast films of PMMA: Study by dielectric spectroscopy. *Progress in Organic Coatings*, 31(4), 347–350. [https://doi.org/10.1016/S0300-9440\(97\)00093-3](https://doi.org/10.1016/S0300-9440(97)00093-3)
- De Andrade, M. F. C., Nonato, R. C., Bottini, R., & Morales, A. R. (2020). Quality evaluation of solvent-cast 3D printing of poly(lactic acid) films. *Bulletin of Materials Science*, 43(1). <https://doi.org/10.1007/s12034-019-2025-8>
- Drumright, R. E., Gruber, P. R., & Henton, D. E. (2000). Polylactic acid technology. *Advanced Materials*, 12(23), 1841–1846. [https://doi.org/10.1002/1521-4095\(200012\)12:23<1841::AID-ADMA1841>3.0.CO;2-E](https://doi.org/10.1002/1521-4095(200012)12:23<1841::AID-ADMA1841>3.0.CO;2-E)
- Fairag, R. . R. D. . R. G. J. L. . W. M. H. . H. L. (2019). *3D-Printed Polylactic Acid (PLA) Scaffolds Promote Bone-like Matrix Deposition In-vitro*. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2019.
- Furuhashi, Y., Yoshie, N., & Kimura, Y. (2006). Effects of methanol on stereocomplexation of solvent-cast poly(lactic acid). *Polymer Preprints, Japan*, 55(2), 5577.
- Garlotta, D. (2001). A literature review of poly(lactic acid). *Journal of Polymers and the Environment*, 9(2), 63–84.

- Guo, Z., Bo, D., He, Y., Luo, X., & Li, H. (2018). Degradation properties of chitosan microspheres/poly(L-lactic acid) composite in vitro and in vivo. *Carbohydrate Polymers*, 193(February), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.03.067>
- Huda, M. S., Yasui, M., Mohri, N., Fujimura, T., & Kimura, Y. (2002). Dynamic mechanical properties of solution-cast poly(L-lactide) films. *Materials Science and Engineering A*, 333(1–2), 98–105. [https://doi.org/10.1016/S0921-5093\(01\)01834-2](https://doi.org/10.1016/S0921-5093(01)01834-2)
- Luque-Agudo, V., Gallardo-Moreno, A. M., & González-Martín, M. L. (2021). Influence of solvent and substrate on hydrophobicity of pla films. *Polymers*, 13(24). <https://doi.org/10.3390/polym13244289>
- Munyazesa, F. X., Zhang, Y., Wang, B., Wang, C., Feng, X., Mao, Z., Chen, Y., & Sui, X. (2019). Pickering emulsion process assisted construction of regenerated chitin reinforced poly (lactic acid) blends. *International Journal of Biological Macromolecules*, 140, 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.117>
- Pan, X. Q., Gong, Y. C., Li, Z. L., Li, Y. P., & Xiong, X. Y. (2019). Folate-conjugated pluronic/poly(lactic acid) polymersomes for oral delivery of paclitaxel. *International Journal of Biological Macromolecules*, 139, 377–386. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.07.224>
- Paragkumar N, T., Edith, D., & Six, J. L. (2006). Surface characteristics of PLA and PLGA films. *Applied Surface Science*, 253(5), 2758–2764. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2006.05.047>
- Pillin, I., Montrelay, N., & Grohens, Y. (2006). Thermo-mechanical characterization of plasticized PLA: Is the miscibility the only significant factor? *Polymer*, 47(13), 4676–4682. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2006.04.013>
- Preuksarattanawut, C., Nisaratanaporn, E., & Siralermukul, K. (2019). Highly ordered porous PLA films prepared by breath figure method. *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 29(4), 106–112. <https://doi.org/10.14456/jmmm.2019.53>
- Rhim, J. W., Hong, S. I., & Ha, C. S. (2009). Tensile, water vapor barrier and antimicrobial properties of PLA/nanoclay composite films. *Lwt*, 42(2), 612–617. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.02.015>
- Satti, S. M., Shah, A. A., Marsh, T. L., & Auras, R. (2018). Biodegradation of Poly(lactic acid) in Soil Microcosms at Ambient Temperature: Evaluation of Natural Attenuation, Bio-augmentation and Bio-stimulation. *Journal of Polymers and the Environment*, 26(9), 3848–3857. <https://doi.org/10.1007/s10924-018-1264-x>
- Shahdan, D., Ahmad, S., Chen, R. S., Omar, A., Zailan, F. D., & Abu Hassan, N. A. (2020). Mechanical performance, heat transfer and conduction of ultrasonication treated polyaniline bio-based blends. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 117. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2020.104742>
- Tang, T. O., Holmes, S., Dean, K., & Simon, G. P. (2020). Design and fabrication of transdermal drug delivery patch with milliprojections using material extrusion 3D printing. *Journal of Applied Polymer Science*, 137(23), 1–17. <https://doi.org/10.1002/app.48777>
- Tasci, M. E., Dede, B., Tabak, E., Gur, A., Sulutas, R. B., Cesur, S., Ilhan, E., Lin, C. C., Paik, P., Fikai, D., Fikai, A., & Gunduz, O. (2021). Production, optimization and characterization of polylactic acid microparticles using electrospray with porous structure. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(11), 1–13. <https://doi.org/10.3390/app11115090>
- Wan Ishak, W. H., Rosli, N. A., & Ahmad, I. (2020). Influence of amorphous cellulose on mechanical, thermal, and hydrolytic degradation of poly(lactic acid) biocomposites. *Scientific Reports*, 10(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68274-x>
- Zhao, Y., Zhu, B., Wang, Y., Liu, C., & Shen, C. (2019). Effect of different sterilization methods on the properties of commercial biodegradable polyesters for single-use, disposable medical devices. *Materials Science and Engineering C*, 105, 110041. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.110041>

Desarrollo de films poliméricos biobasados con Eugenol y Acetileugenol: Inhibición del Crecimiento Bacteriano

Development of Bio-based Polymeric Films with Eugenol and Acetyleneugenol: Inhibition of Bacterial Growth

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Rocío Boriglio

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco (2400), Ingeniería de Procesos Sustentables, Argentina.
rocioboriglio@gmail.com

Brisa Córdoba Boschetti

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco (2400), Ingeniería de Procesos Sustentables, Argentina.
brisaboschetti91@gmail.com

Luisina Bressán

Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química - INTEC (UNL-CONICET) (3000), Santa Fe, Argentina.
luisinabressan@gmail.com

María Eugenia Taverna

Ingeniería de Procesos Sustentables, UTN Facultad Regional San Francisco (2400), San Francisco, Argentina.
Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química - INTEC (UNL-CONICET) (3000), Santa Fe, Argentina.
metaverna@santafe-conicet.gov.ar

Carlos Busatto

Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química - INTEC (UNL-CONICET) (3000), Santa Fe, Argentina.
cbusatto@santafe-conicet.gov.ar

Paula C. Garnero

Ingeniería de Procesos Sustentables, UTN Facultad Regional San Francisco (2400), San Francisco, Argentina.
pgarnero@facultad.sanfrancisco.utn.edu.ar

Resumen

El creciente interés por alimentos frescos sin conservantes sintéticos ha impulsado el desarrollo de envases activos para mejorar su conservación. El uso de antimicrobianos naturales, como el eugenol, es una alternativa prometedora debido a sus propiedades antisépticas y antibacterianas, aunque su volatilidad y sensibilidad al oxígeno y la luz limitan su aplicación. El acetileugenol, un derivado del eugenol, también ha demostrado actividad antimicrobiana. Incorporar estos compuestos en matrices poliméricas biobasadas es una solución eficaz para crear envases activos que prolongan la vida útil de los alimentos sin recurrir a conservantes sintéticos. El objetivo de este trabajo es la síntesis del acetileugenol, y el desarrollo de films de alginato y quitosano conteniendo eugenol y acetileugenol como agentes inhibitorios de bacterias como *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*. Los resultados muestran que es posible obtener films biobasados con excelentes propiedades inhibitorias del crecimiento bacteriano.

Palabras clave: eugenol; acetileugenol; films poliméricos biobasados; inhibición microbiana.

Abstract

The growing interest in fresh food without synthetic preservatives has prompted the development of active packaging to improve preservation. The use of natural antimicrobials, such as eugenol, is a promising alternative due to its antiseptic and antibacterial properties, although its volatility and sensitivity to oxygen and light limit its application. Acetyeugenol, a derivative of eugenol, has also demonstrated antimicrobial activity. Incorporating these compounds into bio-based polymeric matrices is an effective solution to create active packaging that prolongs the shelf life of food without resorting to synthetic preservatives. The aim of this work is the synthesis of acetyeugenol, and the development of alginate and chitosan films containing eugenol and acetyeugenol as inhibitory agents against bacteria such as *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. The results show that it is possible to obtain bio-based films with excellent bacterial growth inhibitory properties.

Keywords: eugenol; acetyeugenol; bio-based polymeric films; microbial inhibition.

Introducción

En los últimos años ha aumentado el interés de los consumidores por alimentos frescos o mínimamente procesados, sin conservantes sintéticos, con una vida útil prolongada y una calidad controlada. El desarrollo de envases activos se presenta como una tecnología prometedora para mejorar la conservación de los alimentos con el objetivo de cumplir con estos requisitos (Wicochea-Rodríguez *et al.*, 2019).

Debido a los posibles problemas de salud relacionados con los conservantes sintéticos, el uso de antimicrobianos de origen natural se está convirtiendo en una alternativa atractiva entre los aditivos que se pueden incorporar en la matriz del envase.

En ese sentido, el eugenol (4-alil-2-metoxifenol) es un compuesto fenólico presente principalmente en los aceites esenciales que se obtienen a partir del clavo de olor, la canela y la nuez moscada. Es un líquido aceitoso de color amarillo pálido que posee un olor característico y además es poco soluble en agua (Taverna *et al.*, 2022).

Debido a sus propiedades antisépticas y antibacterianas ha sido ampliamente investigado para diversas aplicaciones en el área de la odontología, la industria de los alimentos y la medicina. Sin embargo, su alta volatilidad y su sensibilidad al oxígeno y a la luz limitan su uso en la industria alimentaria (Cheng *et al.*, 2019).

Por otra parte, el acetileugenol, es un compuesto orgánico derivado del eugenol, se trata de un éster acetilado del eugenol. A su vez, fue evidenciado que tiene actividad antimicrobiana frente a algunas bacterias y hongos, además de sus usos en las industrias alimentarias y de productos cosméticos y/o farmacéuticos (de Almeida *et al.*, 2019).

La incorporación de eugenol y sus derivados en matrices poliméricas se ha propuesto como una alternativa eficaz para producir envases activos para alimentos (Taverna *et al.*, 2022). Se han reportado trabajos sobre matrices poliméricas que contienen eugenol destinadas a envases alimenticios tales como films de almidón (Cheng *et al.*, 2019; Talón *et al.*, 2019), polietileno lineal de baja densidad (Goñi *et al.*, 2016), poli-3- hidroxibutirato (Melendez-Rodríguez *et al.*, 2019), quitosano y alginato de sodio (Purwanti *et al.*, 2018).

Es importante mencionar que los films basados en polímeros naturales (polisacáridos, proteínas) son preferibles a los derivados del petróleo. En este sentido, el quitosano y el alginato de sodio son excelentes candidatos para la obtención de films para ser utilizados en la industria de los envases de alimentos. El quitosano es un polisacárido compuesto de unidades de glucosamina y N-acetil-glucosamina distribuidas al azar. La obtención de quitosano a partir de la quitina se realiza a través de un proceso de desacetilación parcial alcalina de residuos de la industria pesquera de crustáceos. Las costas de la República Argentina son una de las principales fuentes de crustáceos de excelente calidad en el mundo (Caprile, 2005). Por otra parte, el alginato de sodio es un polisacárido natural extraído de las paredes celulares de algas pardas con estructura similar a los hidrogeles solubles en agua. Es ampliamente utilizado en las industrias alimentaria, farmacéutica, biomédica y en biotecnología. Ha sido muy atractivo para la industria de los alimentos debido a sus características espesantes, estabilizantes y gelificantes (Muchiutti *et al.*, 2019).

En el presente trabajo se sintetizó y caracterizó acetileugenol y se desarrollaron films de alginato y quitosano, a los cuales se les incorporaron eugenol y acetileugenol como agentes inhibitorios de bacterias tales como la *Escherichia coli* (ATCC 8739) y *Staphylococcus aureus* (ATCC 29213). Se realizaron antibiogramas para ambas cepas de bacterias y se compararon resultados con los reportados en la bibliografía.

Desarrollo

a) Materiales utilizados

Para el desarrollo de los films se utilizó alginato de sodio (Pura Química S. A.), quitosano (Sigma-Aldrich) y cloruro de calcio (Cicarelli).

Para la síntesis del acetileugenol se emplearon los siguientes reactivos: eugenol (Sigma-Aldrich); piridina (Sigma-Aldrich); diclorometano (Sintorgan); DMAP (4-(dimetilamino)-piridina) (Sigma-Aldrich); anhídrido acético (Cicarelli); bisulfato de potasio (Sigma-Aldrich).

b) Síntesis y caracterización del acetileugenol

Para la síntesis de acetileugenol, se partió de una solución preparada mediante la agitación de 10,00 g de eugenol en 2,00 ml de piridina, a la cual se le incorporaron 20,00 ml de diclorometano y 10,00 mg de DMAP. La solución se mantuvo en agitación durante 30 minutos a temperatura ambiente. Posteriormente, se añadió anhídrido acético en una relación molar de 1:1 con respecto al eugenol, y se continuó la agitación durante 60 minutos más. Una vez finalizada la reacción, se incorporó una solución al 10,00% de bisulfato de potasio (KHSO₄) para neutralizar el exceso de piridina. A continuación, se realizó una extracción con 20,00-30,00 ml de diclorometano (DCM) para eliminar las impurezas solubles en agua. Cada vez que se añadía DCM, la mezcla se agitaba vigorosamente y se dejaba reposar para permitir la separación de las fases acuosa y orgánica. La fase acuosa, que contenía las sales disueltas, se drenó, conservándose la fase orgánica.

Posteriormente, la fase orgánica se lavó con agua hasta alcanzar un pH neutro (pH 7) y se secó con sulfato de sodio anhidro (Na₂SO₄) para eliminar cualquier traza de agua en la mezcla. Finalmente, el solvente se evaporó al vacío utilizando un rotavapor, separando así el acetileugenol. El acetileugenol se caracterizó mediante espectroscopía de resonancia magnética nuclear de protones (¹H RMN). Los espectros se adquirieron en un espectrómetro de Resonancia Magnética Nuclear Bruker UltraShield™ 400 (Bruker, Alemania) a 400 MHz, empleando cloroformo deuterado como disolvente para las muestras secas. Los desplazamientos químicos (δ) se expresaron en ppm, y para el análisis de los espectros se utilizó el software Mestre-C. La asignación de los picos se hizo a partir de las señales características del eugenol y el acetileugenol reportadas por Altamirano *et al.* (2005).

c) Preparación de films

Para la preparación de los films, inicialmente se preparó una solución de alginato de sodio al 2,00% en peso en agua destilada, calentándola a 60 °C hasta lograr su completa disolución. Además, se obtuvieron películas de alginato reticulado iónicamente mediante tratamiento con cloruro de calcio (CaCl₂) al 20,00%. Paralelamente, se prepararon films de quitosano al 1,00% (p/v). Las composiciones detalladas de los films se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición de los films de alginato de sodio y quitosano.

Films	Eugenol (g)	Acetileugenol (g)	Alginato de sodio 2,00% (g)	Quitosano (g)	Ácido acético glacial (g)	Cloruro de calcio (20,00%) (g)
1	1	-	1	-	-	0,1
2	1	-	1	-	-	-
3	-	1	1	-	-	0,1
4	-	1	1	-	-	-
5	1	-	-	1	1	-
6	-	1	-	1	1	-

Una vez preparadas las soluciones, se vertieron en moldes y se secaron en una estufa de vacío a 60 °C durante 48 horas. Posteriormente, los films se desmoldaron y se almacenaron en un desecador hasta su análisis.

d) Ensayos microbiológicos

Para la realización de los ensayos de antibiogramas se utilizaron las cepas *Escherichia coli* ATCC 8739 y *Staphylococcus aureus* ATCC 29213. Luego de preparar los films (según las proporciones indicadas en la Tabla 1), se mantuvieron a temperatura ambiente hasta la hora del ensayo. La actividad antimicrobiana de los films frente a *Escherichia coli* ATCC 8739 y *Staphylococcus aureus* ATCC 29213 se evaluó mediante el método de difusión en agar midiendo el diámetro de la zona de inhibición producida por el film (Malbrán, 2012). Se dispusieron discos de

cada uno de los films en cajas de Petri, conteniendo como medio de cultivo Tripteína de soya agarizada. Una de ellas fue previamente inoculada con *Escherichia coli* ATCC 8739 y la otra, con *Staphylococcus aureus* ATCC 29213. Se preparó el inóculo siguiendo el método de suspensión directa de colonias en una solución salina para obtener una densidad de 0,50 en escala de McFarland que equivale a una concentración de $1,50 \times 10^8$ UFC/mL (McFarland, 1907) y se redujo la concentración de bacterias a 10^6 UFC/mL para su posterior realización del ensayo.

Mediante un hisopo embebido en la solución se distribuyó de manera uniforme en toda la placa y se colocó en la superficie cada uno de los films a ensayar. A continuación, las placas de Petri se incubaron a 37 °C durante 24 horas. Posteriormente se analizaron los resultados de cada film para cada bacteria, en los casos donde hubo inhibición, se midió el halo generado con el software Image J.

e) Resultados y discusión

En la Figura 1 se muestra el espectro correspondiente al acetileugenol sintetizado. Se puede observar una pureza de alrededor del 60,00% de acetileugenol, y un espectro “limpio” de la reacción llevada adelante.

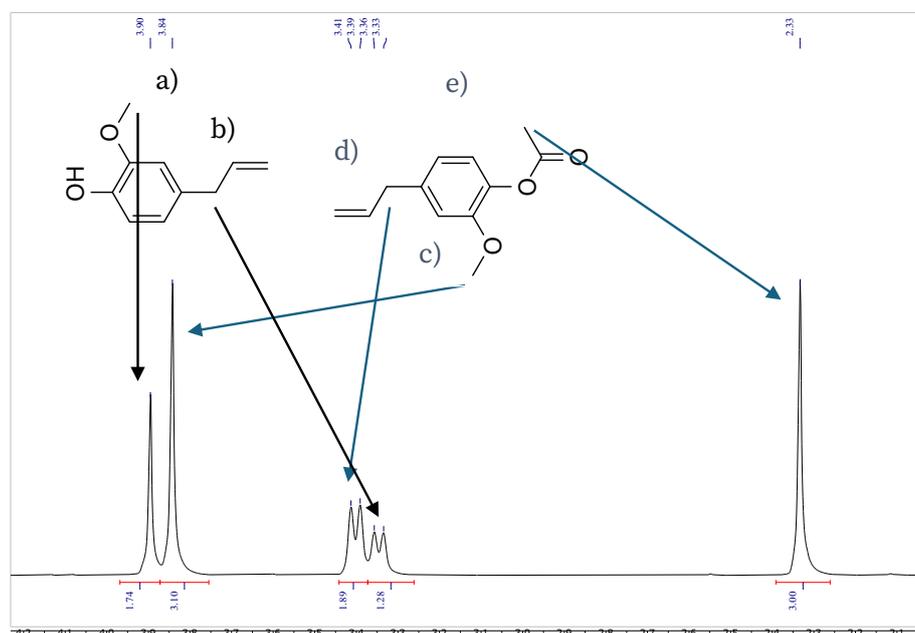
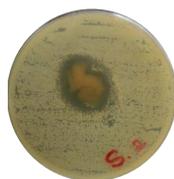


Figura 1. ¹H RMN espectro del acetileugenol.

Para el eugenol, el protón metílico muestra un desplazamiento químico de 3,90 ppm (a), mientras que los H adyacentes al doble enlace se observan a 3,35 ppm (b). Por otra parte, la señal con desplazamiento químico en 3,82 ppm corresponde al H metílico del acetileugenol (c) y la señal en 3,38 ppm corresponde a los H adyacentes al doble enlace en el acetileugenol (d). Asimismo, se puede observar en 2,31 ppm la señal correspondiente al H del grupo carbonilo presente en el acetileugenol (e).

La Fig. 2 muestra los halos de inhibición de un film de alginato sin reticulado para *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli* como bacterias representativas Gram-positivas y Gram-negativas, respectivamente.

a)



a) *Staphylococcus aureus*.

b)



b) *Escherichia coli*.

Figura 2. Ejemplo de ensayo de difusión en agar para film de alginato sin reticulado conteniendo eugenol utilizando los dos microorganismos.

En la tabla 2 se presentan los halos de inhibición de los diferentes films preparados.

Tabla 2. Actividad antimicrobiana de los films mediante la técnica de difusión en agar *

Films	Microorganismo	
	Diámetros de halos de inhibición (mm)	
	<i>Escherichia coli</i> ATCC 8739	<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 29213
1	No inhibe	No inhibe
2	19,5	27
3	No inhibe	20
4	No inhibe	25
5	No inhibe	No inhibe
6	17	19,5

*El diámetro medido comprende los 5 mm del film.

Los resultados obtenidos revelan que la capacidad antimicrobiana de los films varía significativamente según la presencia de CaCl_2 y el tipo de compuesto incorporado, estos resultados son consistentes con los presentados por Ghosal *et al.* (2019). Los films de alginato sin entrecruzamiento, tanto con eugenol (2) como con acetileugenol (4), mostraron una considerable actividad antimicrobiana frente a *Staphylococcus aureus*, con halos de inhibición de 27,00 mm y 25,00 mm respectivamente, mientras que el film con eugenol también inhibió *Escherichia coli* con un halo de 19,50 mm. En contraste, los films reticulados (1 y 3) no inhibieron *E. coli* y apenas mostraron actividad frente a *S. aureus*, sugiriendo que el reticulado restringe la difusión de los compuestos antimicrobianos, limitando su eficacia. La mayor susceptibilidad de *S. aureus*, una bacteria Gram-positiva, frente a los compuestos probados en comparación con *E. coli*, Gram-negativa, resalta la importancia de las diferencias en la estructura de la pared celular bacteriana en la difusión y acción de los agentes antimicrobianos. En los films de quitosano, se observó que el film con acetileugenol (6) presentó actividad antimicrobiana contra ambas bacterias, con halos de 17,00 mm para *E. coli* y 19,50 mm para *S. aureus*, mientras que el film con eugenol (5) no mostró inhibición alguna. Esto sugiere que el acetileugenol se difunde mejor a través de la matriz de quitosano que el eugenol, lo que podría deberse a diferencias en la interacción del compuesto con la matriz polimérica o en su solubilidad. En general, estos resultados subrayan la importancia del diseño del film y la naturaleza del compuesto activo en la eficacia antimicrobiana, destacando que la difusión del agente antimicrobiano dentro del material es un factor crítico para su actividad. Los resultados obtenidos están en concordancia con lo reportado por Taverna *et al.*, 2022.

Conclusiones

Se han desarrollado films poliméricos de alginato de sodio y quitosano conteniendo eugenol y acetileugenol. Los mismos presentan excelentes propiedades inhibitorias del crecimiento bacteriano demostrando que son una alternativa prometedora para la obtención de films biobasados para ser utilizados como envases activos en la industria de los alimentos.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) por el apoyo financiero a través del PID 2023 PAECSF0010103. Agradecemos al Dr. Javier Guastavino de INTEC (UNL-CONICET) por su colaboración en las determinaciones de ^1H RMN.

Referencias

- Altamirano, H. C., Cardona, W., Espinoza, L., & Gallardo, C. (2005). "Síntesis de probables antioxidantes naturales derivados de eugenol. Revista Cubana de Química", 17(3), 209-214.
- Caprile, M. D. (2005). "Obtención y utilización de quitina y quitosano a partir de desechos de crustáceos. International Solid Waste Association. Hacia un sistema integral de gestión de residuos sólidos urbanos. Copenhagen", ISWA, 1-6.
- Cheng, J., Wang, H., Kang, S., Xia, L., Jiang, S., Chen, M., & Jiang, S. (2019). "An active packaging film

- based on yam starch with eugenol and its application for pork preservation". *Food Hydrocolloids*, 96, 546-554.
- de Almeida, A. L., Caleffi-Ferracioli, K. R., de L Scodro, R. B., Baldin, V. P., Montaholi, D. C., Spricigo, L. F., ... & Cardoso, R. F. (2019). "Eugenol and derivatives activity against Mycobacterium tuberculosis, nontuberculous mycobacteria and other bacteria". *Future Microbiology*, 14(4), 331-344.
- Ghosal, K., Das, A., Das, S. K., Mahmood, S., Ramadan, M. A. M., & Thomas, S. (2019). "Synthesis and characterization of interpenetrating polymeric networks based bio-composite alginate film: a well-designed drug delivery platform". *International journal of biological macromolecules*, 130, 645-654.
- Goñi, M. L., Gañán, N. A., Strumia, M. C., & Martini, R. E. (2016). "Eugenol-loaded LLDPE films with antioxidant activity by supercritical carbon dioxide impregnation". *The journal of supercritical fluids*, 111, 28-35.
- Malbran, C. (2012). "Método de determinación de sensibilidad antimicrobiana por dilución". *MIC testing*, 32(2), 1-48.
- McFarland, J. (1907). "The nephelometer: an instrument for estimating the number of bacteria in suspensions used for calculating the opsonic index and for vaccines". *Journal of the American Medical Association*, 49(14), 1176-1178.
- Melendez-Rodriguez, B., Figueroa-Lopez, K. J., Bernardos, A., Martínez-Máñez, R., Cabedo, L., Torres-Giner, S., & M. Lagaron, J. (2019). "Electrospun antimicrobial films of poly (3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) containing eugenol essential oil encapsulated in mesoporous silica nanoparticles". *Nanomaterials*, 9(2), 227.
- Muchiutti, G. S., López Novello, L. H., Córscico, F. A., & Larrosa, V. J. (2019). "Cápsulas de alginato para la protección de polifenoles presentes en el aceite esencial de orégano". *Ciencia, docencia y tecnología*, (59), 297-309.
- Purwanti, N., Zehn, A. S., Pusfitasari, E. D., Khalid, N., Febrianto, E. Y., Mardjan, S. S., ... & Kobayashi, I. (2018). "Emulsion stability of clove oil in chitosan and sodium alginate matrix". *International Journal of Food Properties*, 21(1), 566-581.
- Talón, E., Vargas, M., Chiralt, A., & González-Martínez, C. (2019). "Eugenol incorporation into thermoprocessed starch films using different encapsulating materials". *Food Packaging and Shelf Life*, 21, 100326.
- Taverna, M. E., Busatto, C. A., Saires, P. J., Bertero, M. P., Sedran, U. A., & Estenoz, D. A. (2022). "Bio-composite films based on alginate and rice husk tar microparticles loaded with eugenol for active packaging". *Waste and Biomass Valorization*, 13(6), 3061-3070.
- Wicochea-Rodríguez, J. D., Chalier, P., Ruiz, T., & Gastaldi, E. (2019). "Active food packaging based on biopolymers and aroma compounds: how to design and control the release". *Frontiers in chemistry*, 7, 398.

Valorización de Triosas en Medio Acuoso empleando catalizadores Sn/Al₂O₃ Modificados

Triose Valorization in Aqueous Medium Using Modified Sn/Al₂O₃ Catalysts

Presentación: 23 y 24 de septiembre de 2024

Sandra Z. Romero

Grupo de Investigación en Ciencia e Ingeniería Catalíticas. Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina.
szromero@fiq.unl.edu.ar

Pablo J. Luggren

Grupo de Investigación en Ciencia e Ingeniería Catalíticas. Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina.
pluggren@fiq.unl.edu.ar

Verónica K. Díez

Grupo de Investigación en Ciencia e Ingeniería Catalíticas. Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina.
verodiez@fiq.unl.edu.ar

Resumen

El ácido láctico se utiliza en la industria alimenticia y como precursor de polímeros biodegradables. Tradicionalmente, se produce por fermentación de carbohidratos o síntesis química, pero estos métodos presentan desventajas económicas y ecológicas. Como alternativa, se investiga la transformación de dihidroxiacetona en medio acuoso usando catalizadores de $x\text{Sn}/\text{Al}_2\text{O}_3$ modificados con trimetilclorosilano para aumentar la hidrofobicidad y evitar el colapso de la alúmina en contacto con agua. Los catalizadores fueron preparados por impregnación a humedad incipiente y caracterizados para analizar sus propiedades texturales, estructurales y de resistencia al agua. Se confirmó la presencia del agente sililante en la superficie del soporte y se observó la disminución de estas especies por tratamiento térmico. Por ello, los sólidos sililados fueron ensayados sin tratamiento térmico previo en la reacción de conversión de dihidroxiacetona a ácido láctico en presencia de agua. Los sólidos sintetizados exhiben alta actividad y selectividad, alcanzando conversiones y rendimientos finales deseables.

Palabras clave: Dihidroxiacetona, Ácido láctico, Catalizadores resistentes al agua, Trimetilclorosilano.

Abstract

Lactic acid is used in food industry and as a precursor for biodegradable polymers. Traditionally, it is produced by carbohydrate fermentation or chemical synthesis, but these methods exhibit economic and environmental disadvantages. As an alternative, research is being conducted on the transformation of dihydroxyacetone in aqueous media using $x\text{Sn}/\text{Al}_2\text{O}_3$ catalysts modified with trimethylchlorosilane to increase hydrophobicity and prevent alumina collapse in contact with water. The catalysts were prepared by incipient wetness impregnation and characterized to analyze their textural, structural, and water resistance properties. The presence of the silylating agent on the support surface was confirmed, and a decrease in these species was observed by thermal treatment. Therefore, the silylated solids were tested without prior thermal treatment in the dihydroxyacetone conversion reaction to lactic acid in water. The synthesized catalysts exhibited high activity and selectivity, achieving desirable conversions and final yields.

Keywords: Dihydroxyacetone, Lactic acid, Water-resistant catalysts, Trimethylchlorosilane.

Introducción

El interés global en la producción de químicos a partir de biomasa continúa creciendo, impulsado por la necesidad de avanzar hacia una economía circular sostenible y reducir los efectos del cambio climático. Los materiales ricos en celulosa y almidón son particularmente prometedores para su conversión en compuestos de alto valor. En biorrefinerías, estos materiales pueden descomponerse en azúcares mediante hidrólisis enzimática. Posteriormente, estos azúcares pueden someterse a diversas reacciones, como deshidratación, hidrogenación, hidrogenólisis, condensación retroaldólica y oxidación, para generar una amplia gama de compuestos plataforma, claves en la obtención de derivados C3-C6 de alto valor agregado (Piovano et ál.,2024). Un caso destacado es la dihidroxiacetona (DHA), un monosacárido derivado de la glucosa, que puede transformarse en un producto valioso como el ácido láctico (LA).

El LA posee múltiples aplicaciones en la industria cosmética, farmacéutica y alimenticia, así como en la manufactura de plásticos (PLA) y solventes (alquil-lactatos) más amigables con el medio ambiente. Existen diferentes rutas de síntesis para la obtención de LA. Las rutas enzimáticas son selectivas, pero presentan desventajas como la baja velocidad de reacción y el alto costo de las enzimas (Lai et ál., 2023). Alternativamente, se han desarrollado procesos catalíticos homogéneos, Rasrendra et ál. (2011) investigaron la transformación en fase líquida de triosas empleando soluciones acuosas de sales de metales multivalentes (Co, Cr, Sn, Fe, Ni y Al) como catalizadores. Los mejores resultados se obtuvieron utilizando sales de cromo y de aluminio, lo que permite inferir un buen desempeño de los catalizadores con sitios ácidos de Lewis para la obtención de LA a partir de DHA. Sin embargo, las sustancias químicas utilizadas son corrosivas y su recuperación es demasiado costosa. De esta manera, la tendencia actual se centra en el diseño de catalizadores sólidos debido a que son más fáciles de recuperar y reutilizar, siendo especialmente deseable el desarrollo de catalizadores con sitios ácidos de Lewis.

En los últimos años, se han explorado diferentes materiales como zeolitas comerciales, zeolitas impregnadas con metales, óxidos metálicos con morfologías modificadas y óxidos impregnados con diversos metales como catalizadores sólidos para la síntesis de ácido láctico (Liu et ál., 2020). Aunque estos catalizadores han mostrado buenos resultados, las zeolitas implican altos costos y largos tiempos de síntesis. Además, la preparación de óxidos porosos o con morfologías específicas suele ser costosa y de difícil escalado a nivel industrial.

En estudios anteriores (Pighin et ál., 2016), investigamos la síntesis de lactato de etilo (EL) a partir de DHA y etanol, utilizando catalizadores de Sn soportados sobre Al_2O_3 , preparados mediante impregnación a humedad incipiente. Se demostró que es posible alcanzar rendimientos de ~70% a EL bajo condiciones suaves (353 K y presión autógena). Además, se confirmó que las especies de Sn generan sitios ácidos de Lewis en la superficie, los cuales juegan un rol clave en las etapas cinéticamente relevantes de la reacción.

En este trabajo, nos propusimos investigar la producción de LA a partir de DHA utilizando un sistema reaccionante similar al estudiado previamente, pero con agua como co-reactivo en lugar de etanol. La Figura 1 muestra el camino de reacción más citado en la literatura (Liu et ál., 2020). Esta síntesis requiere de un catalizador capaz de resistir la presencia de agua, la cual puede desactivar el sólido debido a su alta polaridad. Para abordar este problema, se prepararon, caracterizaron y ensayaron catalizadores de Sn/Al_2O_3 modificados superficialmente con trimetilclorosilano como agente sililante, para mejorar su resistencia al agua durante la reacción de conversión de DHA en LA.

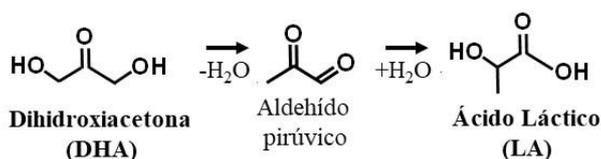


Figura 1. Conversión de DHA en LA en presencia de agua.

Metodología

Síntesis de catalizadores

Se sintetizaron catalizadores de estaño soportados sobre alúmina mediante el método de impregnación a humedad incipiente. El soporte comercial $\gamma-Al_2O_3$ CK 300 se trató térmicamente a 773 K en flujo de aire (60 mL/min) durante 3 h para eliminar el agua adsorbida. Se prepararon dos soluciones de $SnCl_4 \cdot 5H_2O$ (Sigma-Aldrich, 98%) para obtener catalizadores con contenidos metálicos entre 4 y 10 % en peso de Sn. Los mismos se

llamaron $x\text{SnAl}$, donde x representa el contenido de Sn expresado en % en peso. Tras la impregnación, los sólidos se secaron en estufa a 363 K durante 24 h y luego se calcinaron a 573 K en aire durante 6 h. Posteriormente, se realizó la modificación superficial del catalizador $x\text{SnAl}$ empleando trimetilclorosilano (TMCS) como agente sililante, como se muestra en la Figura 2. Para ello, 5 g del catalizador se mezclaron en 50 mL de n-hexano y se añadió una solución en hexano de TMCS para obtener 1 mmol TMCS/g catalizador. La mezcla se agitó a 298 K durante 24 h, luego se centrifugó, se lavó tres veces con hexano puro y se secó en estufa a 363 K. El catalizador resultante se denominó $x\text{SnAl-TMCS}$.

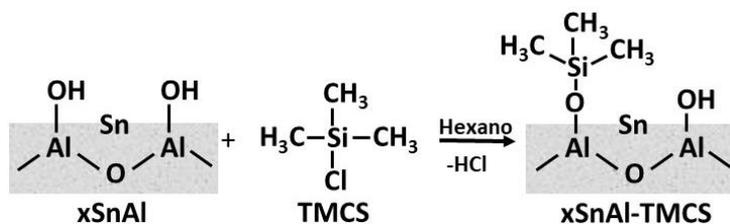


Figura 2. Método de hidrofobización con triclorometilsilano.

Caracterización de catalizadores

Las superficies específicas BET se determinaron mediante fisiorción de N_2 a 77 K. El contenido de Sn en el catalizador se analizó utilizando la técnica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES). Las propiedades estructurales se estudiaron mediante difracción de rayos X (XRD), mientras que los cambios químicos superficiales tras el tratamiento con TMCS se evaluaron mediante espectroscopía infrarroja (FTIR). La resistencia al agua de los sólidos se evaluó cualitativamente poniéndolos en contacto con una mezcla de vaselina y agua en proporción 1:1 en volumen, que se agitó enérgicamente durante 1 min y luego se centrifugó por 10 min. Adicionalmente, se empleó la técnica de medición de ángulos de contacto con agua utilizando un goniómetro Ramé Hart 200 para analizar la hidrofobicidad de los sólidos.

Ensayos catalíticos

La reacción de conversión de DHA en agua se llevó a cabo a 353 K y 373 K, a presión autógena (~3 bar), en un reactor discontinuo marca Parr durante 7 h. Se utilizó una solución acuosa de DHA 0.4 M y 1.0 g de catalizador. Los productos de reacción se analizaron y cuantificaron mediante cromatografía de gases en un equipo Shimadzu-2014, equipado con un detector de ionización de llama (FID) y una columna capilar Restek Stabilwax (30 m x 0.32 mm ID x 0.5 μm df). La conversión de DHA (X_{DHA}) y las selectividades (S_i) y rendimientos (Y_i) a productos se calcularon mediante las ecuaciones 1, 2 y 3, respectivamente. Donde n^0 y n^t son los moles de DHA a $t = 0$ y a un tiempo t , respectivamente y C_i la concentración molar del producto i .

$$X_{DHA} = (n^0 - n^t) * 100/n^0 \quad (1)$$

$$S_i = C_i / \sum C_i \quad (2)$$

$$Y_i = S_i * X_{DHA} \quad (3)$$

Resultados

El análisis químico elemental realizado mediante ICP mostró que el contenido de Sn en los catalizadores $x\text{SnAl}$ fue de 3.9% y 8.5%. Estos materiales presentaron superficies específicas (SA) similares a las del soporte, lo que sugiere que el Sn no obstruye los poros del material. El análisis por XRD reveló que las muestras contienen la fase $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, sin evidencias de fases cristalinas de Sn, indicando una alta dispersión de las especies de Sn sobre la superficie del soporte. Luego de la sililación, los sólidos $x\text{SnAl-TMCS}$ mantuvieron valores de SA similares, sin pérdida de Sn y con la misma fase cristalina observada por XRD. Además, los materiales sililados utilizados en la reacción (7 h en fase líquida acuosa a 373 K) no mostraron cambios estructurales en el soporte. Por otro lado, el carácter ácido de Lewis de los catalizadores $x\text{SnAl}$ fue confirmado en estudios previos mediante FTIR de piridina adsorbida (Pighin et ál., 2016).

La presencia de TMCS en los catalizadores sililados fue corroborada mediante FTIR de los sólidos realizado en el rango de 2000-1000 cm^{-1} . La Figura 3 muestra los espectros obtenidos para los sólidos con 3.9 % en peso de Sn. En el catalizador 3.9SnAl-TMCS se identifica un pico a 1150 cm^{-1} , atribuido a los estiramientos O-Si-C, lo cual confirma la interacción del agente sililante con los sitios OH^- superficiales del soporte a través del Si. Los grupos metilo incorporados mediante la adhesión de TMCS podrían mejorar la resistencia al agua de estos materiales. En el campo de la catálisis heterogénea, es común aplicar un tratamiento térmico previo para activar los catalizadores, eliminando humedad y/o compuestos volátiles residuales. No obstante, en este estudio, se observó una disminución en la banda correspondiente a las especies de Si en el material sililado tras someterlo a un tratamiento térmico (1 h en flujo de aire a 373 K), lo que indica una posible degradación de dichas especies superficiales. Debido a esto, los catalizadores sililados se evaluaron en la conversión de DHA a LA sin someterlos a una calcinación previa.

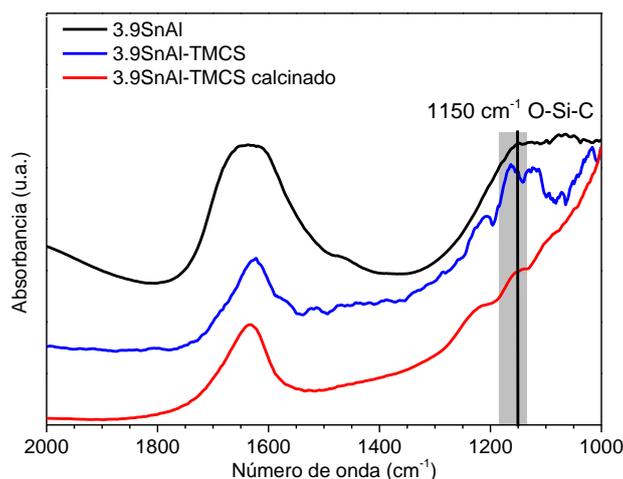
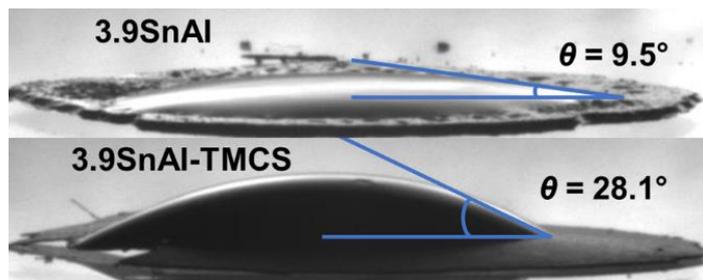
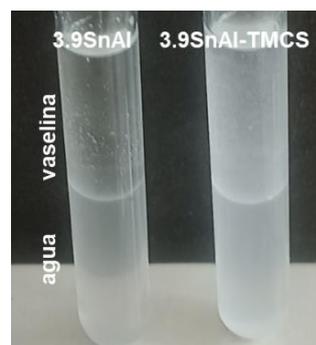


Figura 3. Análisis de los sólidos sintetizados por FTIR.

Para evaluar las propiedades de resistencia al agua de los sólidos tratados con TMCS, se realizaron mediciones de ángulo de contacto (Figura 4a) y un ensayo visual con una mezcla vaselina/agua (Figura 4b). El ángulo θ es el definido entre la tangente de la interfaz agua-aire y la del agua-sólido, cuando una gota de agua se deposita sobre una superficie lisa del catalizador. Su valor permite clasificar los sólidos en hidrofílicos ($\theta < 90^\circ$) e hidrofóbicos ($\theta > 90^\circ$) (Okoye et ál., 2021). Es decir, a mayor θ , menor es la interacción del material con el agua. Ambos sólidos, 3.9SnAl y 3.9SnAl-TMCS, son hidrofílicos con θ que oscilan entre 9.5° y 28.1°. No obstante, el tratamiento con TMCS produce una modificación superficial que se traduce en un aumento de tres veces del valor de θ para los catalizadores sililados, es decir, que los sólidos tratados con TMCS tienen menor interacción con el agua. Esto también se pudo confirmar al hacer interactuar el catalizador con una mezcla vaselina/agua. En efecto, en la Figura 4.b, se observa que el catalizador sin modificar se encuentra disperso únicamente en la fase acuosa, mientras que el catalizador modificado con TMCS se dispersa en ambas fases. Esto se debe a que el material sintetizado con agente sililante, sigue siendo hidrofílico, pero al mismo tiempo, presenta cierta resistencia al agua interactuando con la fase no polar (vaselina).



a. Medición de ángulos de contacto



b. Ensayo visual con vaselina/agua.

Figura 4. Evaluación de las propiedades de resistencia al agua.

A través de los ensayos catalíticos se evaluó la influencia del tratamiento térmico, del contenido de Sn en los sólidos sililados (Fig. 5a) y la variación de la temperatura de reacción (Fig. 5b) en la conversión de DHA a LA en medio acuoso. Como ya se mencionó en la introducción, previamente se investigó la conversión de DHA a EL a 353 K sobre la serie de catalizadores $x\text{SnAl}$, utilizando etanol como co-reactivo. Dichos sólidos resultaron activos y selectivos hacia EL, alcanzado altos rendimientos. Sin embargo, cuando los catalizadores $x\text{SnAl}$ se evaluaron para la conversión de DHA a LA en medio acuoso a 353 K, no se registró actividad catalítica (triángulos negros en Fig. 5a). Luego de la funcionalización de los catalizadores con agente sililante, se observó una $X_{DHA} \sim 20\%$ y un $Y_{LA} \sim 8\%$ a las 7 h de reacción. Se puede inferir que la sililación con TMCS modifica la superficie del sólido de tal manera que le confiere una mayor resistencia al envenenamiento por agua, ya que no se evidenció un fenómeno de desactivación, como si se observó cuando se evaluó la serie $x\text{SnAl}$ sin TMCS en agua. Al mismo tiempo, la técnica de sililación empleada permite la interacción del sitio activo con la DHA y el agua para catalizar su conversión en LA.

Para completar los ensayos, se evaluaron también los sólidos sililados sometidos a tratamiento térmico, obteniéndose valores finales significativamente menores de X_{DHA} y Y_{LA} . Esto sugiere, como mencionamos anteriormente, que la calcinación afecta la interacción entre el TMCS y la superficie del catalizador, disminuyendo la cantidad de agente sililante sobre el mismo, lo cual resulta perjudicial para la actividad catalítica. Por esta razón, se decidió estudiar los catalizadores $x\text{SnAl-TMCS}$ sin tratamiento térmico previo.

Como se muestra en la Figura 5a, la conversión y el rendimiento obtenidos no presentan diferencias significativas entre los catalizadores con distintos contenidos de Sn. Este comportamiento podría atribuirse a que un mayor contenido de Sn reduce la cantidad de TMCS que se adhiere efectivamente a la superficie del catalizador. Teniendo en cuenta la relación entre la actividad catalítica y el costo del material, se seleccionó el catalizador 3.9SnAl-TMCS para realizar los estudios posteriores.

En la Figura 5b se presenta la evolución de la X_{DHA} y el Y_{LA} con el tiempo de reacción, cuando la reacción se lleva a cabo a 353 y 373 K sobre el catalizador 3.9SnAl-TMCS. Se observa que al aumentar la temperatura de reacción se incrementan tanto X_{DHA} como Y_{LA} , lo que indica una mayor eficiencia del catalizador a temperaturas más elevadas. Los valores finales se resumen en la Tabla 1.

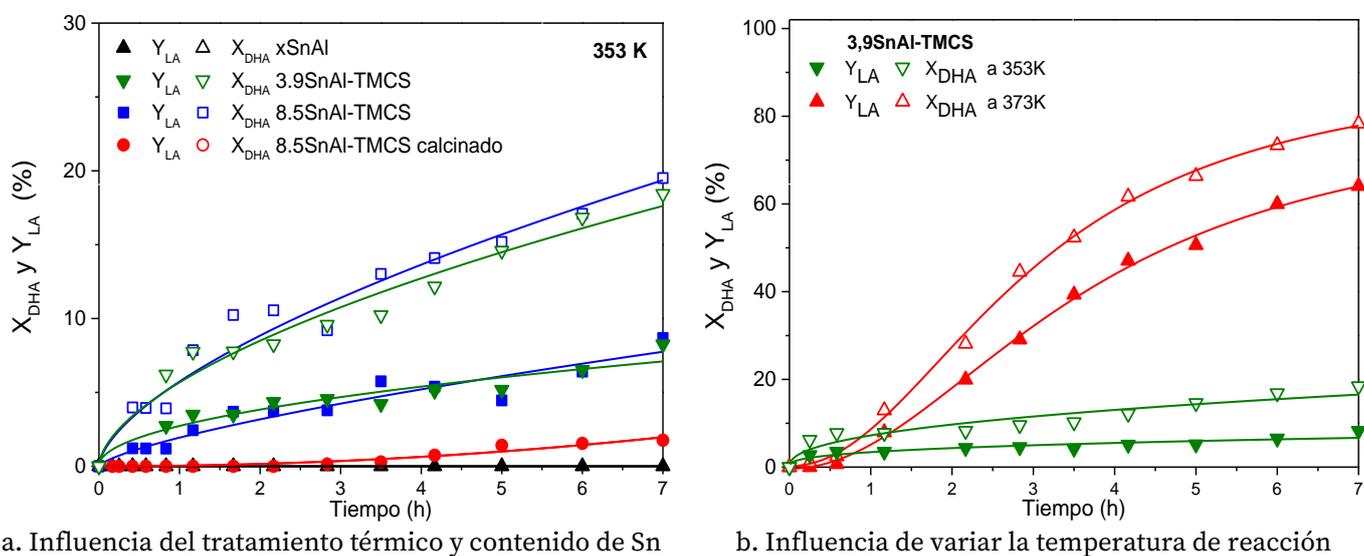


Figura 5. Resultados obtenidos durante la conversión de DHA sobre catalizadores basados en Sn modificados con un agente sililante.

Tabla 1. Valores finales (7 h) de conversión de DHA y rendimiento a LA sobre catalizador 3.9SnAl-TMCS a diferentes temperaturas.

Temperatura de reacción (K)	X_{DHA} (%)	Y_{LA} (%)
353	18	8
373	80	64

No obstante, al aumentar la temperatura de reacción se produce un cambio de color en la mezcla reaccionante. La mezcla a 373 K presentó un color ámbar (Figura 6). Cambios similares de color también fueron reportados por otros autores (Wang et ál., 2019), (Hossain et ál., 2021), quienes lo atribuyen a la formación de productos de policondensación. La formación de estos subproductos disminuye el rendimiento de LA durante la reacción y se depositarían en la superficie del catalizador disminuyendo su actividad catalítica. Los catalizadores deben ser tratados luego de su uso para poder reutilizarlos en un nuevo ciclo de reacción.

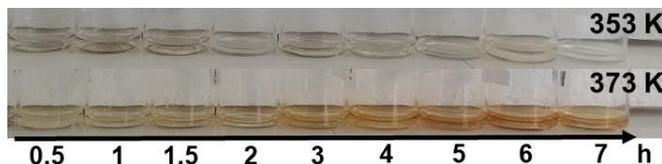


Figura 6. Efecto de la temperatura sobre el color de la mezcla reaccionante en función del tiempo.

Conclusiones

Se sintetizaron catalizadores sólidos basados en Sn y resistentes al agua soportados sobre Al_2O_3 funcionalizados mediante un proceso de sililación directa utilizando trimetilclorosilano. El análisis mediante FTIR confirmó la presencia de especies superficiales formadas por la interacción del trimetilclorosilano con el catalizador, las cuales confieren a estos materiales su capacidad de resistencia al agua. Se evidenció además que la cantidad de agente sililante en la superficie disminuye tras un tratamiento térmico. La resistencia al agua de los catalizadores fue corroborada tanto por mediciones de ángulo de contacto como por ensayos cualitativos con mezclas de vaselina y agua.

En los ensayos catalíticos se evaluó la influencia del contenido de Sn, observándose que se alcanzan resultados óptimos con bajas cargas de estaño. Además, se investigó el efecto de la temperatura de reacción, revelando un aumento significativo en el rendimiento a ácido láctico al incrementar la temperatura. Este comportamiento sugiere que las especies sililantes optimizan la superficie catalítica mejorando la resistencia a la desactivación por agua y permitiendo la producción eficiente de ácido láctico en los centros activos de Sn en presencia de agua.

Referencias

- Hossain M.A., Mills K.N., Molley A.M., et al (2021). "Catalytic isomerization of dihydroxyacetone to lactic acid by heat treated zeolites". *Applied Catalysis A: General*, 611, 117979.
- Lai R., Hou Q., Yu G., et al (2023). "Incorporation of tin into zirconium phosphate to boost efficient conversion of trioses to lactic acid". *Catalysis Communications*, 185, 106803.
- Liu X., Zhang Q., Wang R., Li H (2020). "Sustainable Conversion of Biomass-derived Carbohydrates into Lactic Acid Using Heterogeneous Catalysts". *Current Green Chemistry*, 7 (3), 282–289.
- Okoye-Chine C.G., Moyo M., Hildebrandt D. (2021). "The effect of hydrophobicity on SiO_2 -supported Co catalysts in Fischer-Tropsch synthesis". *Fuel*, 296, 120667.
- Pighin E., Díez V.K., Di Cosimo J.I. (2016). "Synthesis of ethyl lactate from triose sugars on Sn/ Al_2O_3 catalysts". *Applied Catalysis A: General*, 517, 151–160.
- Piovano F.A., Aspromonte S.G., Boix A. (2024). "Study on the synthesis of nanoporous hydrated zirconia applied to hydrothermal conversion of biomass-derived sugars". *Microporous and Mesoporous Materials*, 368, 113029.
- Rasrendra C.B., Fachri B.A., Makertihartha I.G.B.N. (2011). "Catalytic conversion of dihydroxyacetone to lactic acid using metal salts in water". *Chemical Sustainability Chemistry*, 4(6), 768–777.
- Wang X., Song Y., Huang L., et al (2019). "Tin modified Nb_2O_5 as an efficient solid acid catalyst for the catalytic conversion of triose sugars to lactic acid". *Catalysis Science & Technology*, 9(7), 1669–1679.

Síntesis de Alcohol Alílico por Desoxideshidratación de Glicerol sobre Catalizadores Metálicos Soportados

Synthesis of Allyl Alcohol by Deoxydehydration of Glycerol on Supported Metal Catalysts

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Nicolás S. Castellanos

Grupo de Investigación en Ciencia e Ingeniería Catalíticas (GICIC)

Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina.

ncastellanos@fiq.unl.edu.ar

Pablo J. Luggren

Grupo de Investigación en Ciencia e Ingeniería Catalíticas (GICIC)

Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina.

pluggren@fiq.unl.edu.ar

Verónica K. Díez

Grupo de Investigación en Ciencia e Ingeniería Catalíticas (GICIC)

Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina.

verodiez@fiq.unl.edu.ar

Resumen

Se propone obtener selectivamente alcohol alílico a partir de glicerol mediante una reacción de desoxideshidratación. Para ello, se sintetizaron catalizadores metálicos (Re, Mo y Ce) soportados sobre diferentes óxidos (Al_2O_3 , TiO_2 , CeO_2 , ZrO_2 , SiO_2) y CsHPA, mediante el método de impregnación a humedad incipiente. Los sólidos obtenidos se caracterizaron empleando diferentes técnicas tales como fisisorción de N_2 , ICP, EDX, XRD, TPD de CO_2 y de NH_3 . Se evaluó el efecto sobre la reacción de desoxideshidratación de variar la temperatura, el tiempo, la carga de catalizador y la naturaleza del co-reactivo. Los catalizadores que presentan mayor acidez Lewis permiten obtener los mayores rendimientos de alcohol alílico. La mejor conversión obtenida fue de 90% (0,1 g de 5.2ReAl , 423 K, 7 h, 2-hexanol como co-reactivo) con un rendimiento a alcohol alílico de 51%.

Palabras clave: Biomasa, Desoxideshidratación, Catalizadores soportados, acidez Lewis

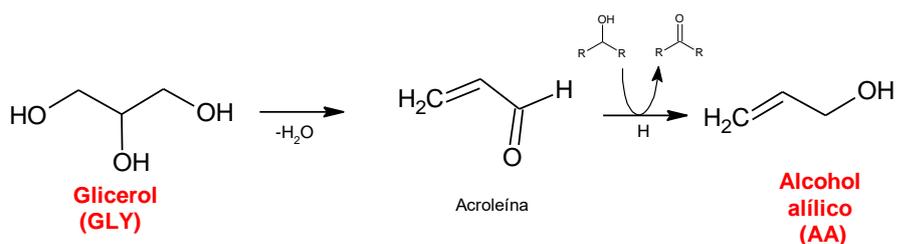
Abstract

It is proposed to selectively obtain allyl alcohol from glycerol through a deoxydehydration reaction. For this, metal catalysts (Re, Mo and Ce) supported on different oxides (Al_2O_3 , TiO_2 , CeO_2 , ZrO_2 , SiO_2) and CsHPA were synthesized, using the incipient wetness impregnation method. The solids obtained were characterized using different techniques such as N_2 physisorption, ICP, EDX, XRD, TPD of CO_2 and NH_3 . The effect on the deoxydehydration reaction of varying temperature, time, catalyst loading and the nature of the co-reactant, was evaluated. Catalysts of the highest Lewis acidity allow obtaining the best yields of allyl alcohol. The best conversion obtained was 90% (100 mg of 5.2ReAl , 423 K, 7 h and 2-hexanol as co-reactant) with a yield of allyl alcohol of 51%.

Keywords: Biomass, Deoxydehydration, Supported catalysts, Lewis acidity.

Introducción

En la actualidad, existe un interés creciente en la industria química en encontrar alternativas eco-amigables que permitan el reemplazo gradual de los combustibles fósiles. El glicerol (GLY) es un subproducto de la biomasa, que puede alcanzar un mayor valor agregado si se transforma en productos más valiosos, como el alcohol alílico (AA), que se puede obtener a partir de GLY por reacción de desoxideshidratación (DODH), Esquema 1. El AA es usado como compuesto plataforma en la industria química, de polímeros y farmacéutica, así como solvente industrial, herbicida y fungicida. Debido a la versatilidad del AA, su síntesis ha sido estudiada por diferentes autores. En general, en la reacción se requiere de un agente reductor que actúe como donador de hidrógeno, que puede ser un co-reactivo o el propio reactivo (glicerol) (Shiramizu y col., 2012). Por ejemplo, empleando ácido fórmico como agente reductor es posible obtener AA con un rendimiento de 80 % a 503 K (Arceo y col., 2009), el principal problema de usar este ácido es que su temperatura de ebullición es similar a la del AA, lo que dificulta su posterior separación. Con el objetivo de mejorar el rendimiento de la reacción, se han implementado sistemas catalíticos empleando catalizadores con propiedades redox que actúan como aceptores de electrones. Se ha utilizado catálisis homogénea empleando metiltioxorenio alcanzando un rendimiento de AA de 90% a 413 K (Canale y col., 2014). Sin embargo, con el objetivo de desarrollar procesos sustentables que permitan la reutilización del catalizador, se ha incursionado en la catálisis heterogénea tanto en fase gaseosa y como líquida. Se han reportado avances en la obtención de AA en fase gaseosa con un rendimiento de 46%, empleando CsFeMo/HZSM-5 a 623 K durante 25 h (Kostyniuk y col., 2020). A su vez, en fase líquida se han obtenido rendimientos altos utilizando catalizadores principalmente promovidos con Re, por ejemplo, usando $\text{ReO}_x/\text{Al}_2\text{O}_3$, 2-hexanol (agente reductor) a 421 K se reporta un rendimiento de AA de 91%. Si bien se han reportado avances significativos empleando catálisis heterogénea, aún hay un desafío en encontrar condiciones de reacción que sean escalables. En este trabajo nos focalizamos en tratar de optimizar tanto el diseño como la preparación y caracterización, de sólidos metálicos soportados para lograr los requerimientos de sitios activos que permitan obtener selectivamente AA a partir de GLY en fase líquida. Además, se evaluó el efecto de variar diferentes parámetros de reacción (temperatura, relación de reactivos, etc.) sobre el desempeño catalítico.



Esquema 1. Caminos de la reacción para la desoxideshidratación de glicerol a alcohol alílico.

Metodología

Materiales

Durante la preparación de catalizadores metálicos soportados se emplearon las siguientes fuentes de Re (HReO_4 , 75 % en peso en agua, Sigma-Aldrich, 99.9%), Ce ($\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, Fluka, 99.0%) y Mo (Na_2MoO_4 , Merck, 98.0%); y los siguientes soportes comerciales de $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ (CK 300), SiO_2 (UPV), TiO_2 (Degussa-Huls), ZrO_2 (DKKK) y CeO_2 (Rhodia). En particular, el soporte sólido CsHPA se sintetizó en el laboratorio a partir de CsCO_2 (Sigma-Aldrich, 99.9%) y $\text{H}_3\text{O}_{40}\text{PW} \cdot x\text{H}_2\text{O}$ (Merck, GR).

En la reacción catalítica se utilizó como reactivo glicerol (Cicarelli, 99.5%) y como co-reactivos 2-hexanol (Sigma-Aldrich, 98.0%) y metilisobutilcarbinol (Sigma-Aldrich, 98.0%). Se empleó tetrahidrofurano (Cicarelli, 99.0%) como estándar externo.

Síntesis y caracterización de los catalizadores.

Se sintetizó una serie de catalizadores basados en cationes metálicos soportados sobre diferentes óxidos MO_x , $\text{M}^{n+}/\text{MO}_x$ ($\text{M}^{n+} = \text{Re}^{7+}$, Ce^{4+} , Mo^{6+}), por el método de impregnación a humedad incipiente. Previo a la preparación los soportes se calcinaron a 773 K (SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2), 573 K (CsHPA), 723 K (CeO_2) y 823 K (ZrO_2). La promoción de los soportes con los metales se realizó adicionando gota a gota soluciones acuosas conteniendo la concentración adecuada de los cationes metálicos. Todas las muestras impregnadas fueron secadas en estufa a 363 K y

posteriormente tratadas en flujo de aire (50 mL/min) a la correspondiente temperatura de calcinación. Los sólidos finales fueron nombrados como xMS , donde x es el % en peso de M y S identifica al soporte.

Los materiales fueron caracterizados empleando diferentes técnicas fisicoquímicas, texturales, estructurales y espectroscópicas. Las superficies específicas BET (S_g) fueron medidas por fisisorción de N_2 a 77K. El contenido metálico fue analizado por acoplamiento inductivo de plasma (ICP) y espectroscopía de energía dispersiva (EDX). Las propiedades estructurales se determinaron por difracción de rayos X (XRD) empleando radiación $Cu K\alpha \lambda = 1,542 \text{ \AA}$, en el rango de 2θ entre $10-90^\circ$. Las propiedades básicas superficiales de los sólidos se determinaron por desorción a temperatura programada de CO_2 (TPD de CO_2) previamente adsorbido a temperatura ambiente. Por otro lado, las propiedades ácidas superficiales de los catalizadores se midieron por desorción a temperatura programada de NH_3 (TPD de NH_3) previamente adsorbido a 373 K.

Evaluación catalítica

La reacción de desoxideshidratación de glicerol (GLY) con co-reactivos (alcoholes) se llevó a cabo a 423 K y presión atmosférica en un reactor de vidrio de 25 mL bajo agitación magnética (900 rpm). En cada experiencia se utilizó 1 mmol de GLY y 100 mg de catalizador. Durante las experiencias se extrajeron 15 muestras líquidas de la mezcla reaccionante que fueron centrifugadas. Los productos de la reacción se identificaron por GC-MS utilizando una unidad Thermo Scientific Trace 1300 GC con un Thermo Scientific TR- Columna capilar 5MS acoplada a un Thermo Scientific Unidad ISQ QD MS. El GLY sin reaccionar y los productos se analizaron y cuantificaron por cromatografía gaseosa utilizando un GC 7890A Agilent Technologies equipado con un detector FID y una columna capilar HP1 (50 m x 320 μm x 1.05 μm).

La conversión de GLY (X_{GLY}) y el rendimiento a productos (Y_j) se calcularon empleando las Ecuaciones 1 y 2, respectivamente.

$$X_{GLY}^t (\%) = \frac{C_{GLY}^0 - C_{GLY}^t}{C_{GLY}^0} \cdot 100 \quad (1)$$

donde C_{GLY}^0 y C_{GLY}^t son las concentraciones de GLY at $t = 0$ y $t = t$, respectivamente.

$$Y_j^t (\%) = \frac{X_{GLY}^t \cdot S_j^t}{100} \quad (2)$$

donde S_j^t se calcula según la Ecuación 3:

$$S_j^t (\%) = \frac{C_j^t \cdot N_j}{(C_{GLY}^0 - C_{GLY}^t) \cdot N_{GLY}} \cdot 100 \quad (3)$$

siendo C_j^t la concentración del producto j a tiempo t , N_j es el número de átomos de C en el producto j y N_{GLY} es el número de átomos de C en GLY ($N_{GLY} = 3$).

Resultados y discusión

Efecto de la naturaleza del metal promotor y del alcohol que actúa como co-reactivo

Empleando condiciones iniciales extraídas y adaptadas de la literatura ($T = 423K$; 1 mmol GLY; relación molar GLY/co-reactivo = 0.07; 100 mg catalizador), se realizaron experiencias catalíticas preliminares para evaluar el efecto de la naturaleza del metal promotor y del co-reactivo. Para ello, primero se sinterizaron catalizadores basados en Re, Ce y Mo soportados sobre Al_2O_3 . Todos los sólidos exhibieron contenidos similares de metal promotor. Por otro lado, utilizando el catalizador 6.8ReAl se evaluó la reacción de desoxideshidratación de glicerol empleando 2-HNOL y metil isobutilcarbinol (MIBC) como co-reactivos. Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 1.

La Figura 1 a) evidencia que el catalizador promovido por Re resultó el más promisorio para convertir el GLY ($X_{GLY} = 99\%$) con un rendimiento de AA de casi 20%. esto se puede explicar ya que el Re debido a sus propiedades para donar H favorece las reacciones de oxidación de alcoholes (Raju y col., 2015). Además, los resultados de la Figura 1b) muestran que la naturaleza del co-reactivo no tiene una influencia significativa, ambos son alcoholes secundarios de 6 carbonos, y permiten alcanzar resultados catalíticos similares. Se decidió continuar trabajando con 2-hexanol.

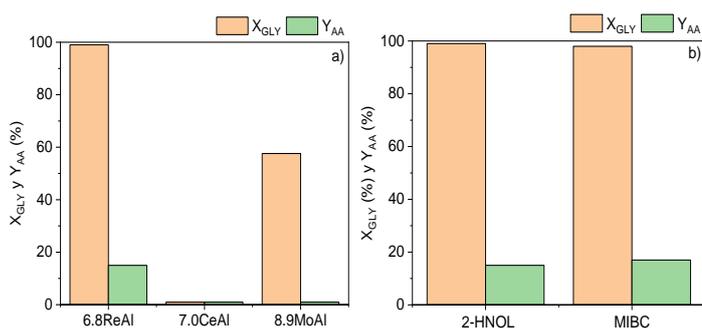


Figura 1. a) Efecto del metal promotor (Re, Ce y Mo), usando 2-HNOL como co-reactivo, b) Efecto del co-reactivo (2-HNOL y MIBC) utilizando el catalizador 6.8ReAl.

Efecto de la temperatura y la cantidad de co-reactivo

Para analizar estos efectos y luego de demostrar que el catalizador promovido con Re es el que mejores resultados permitió obtener, se realizaron ensayos catalíticos utilizando el sólido 5.2ReAl, ya que se han reportado previamente buenos resultados con catalizadores con similar contenido de Re. Se evaluó el efecto de la temperatura de reacción y la relación molar GLY/2-HNOL. Los resultados alcanzados se muestran en la Tabla 1.

Se evidenció que a mayor temperatura se favorece la conversión del GLY, sin embargo, un incremento en la temperatura genera a su vez una disminución en el rendimiento hacia AA. Esto se debe a que se favorece la formación de subproductos. De este modo se concluye que para obtener AA conviene trabajar a 423K. Respecto del análisis del efecto de la relación molar GLY/2-HNOL, los resultados de la Tabla 1 muestran que no existe un efecto significativo sobre la reacción. Considerando, una relación molar GLY/2-HNOL alta implica un menor uso de co-reactivo, resulta más conveniente trabajar con una relación de 0.07 pensando en la economía del proceso.

Se evidenció que a mayor temperatura se favorece la conversión del GLY, sin embargo, un incremento en la temperatura genera a su vez una disminución en el rendimiento hacia AA. Esto se debe a que se favorece la formación de subproductos. De este modo se concluye que para obtener AA conviene trabajar a 423K. Respecto del análisis del efecto de la relación molar GLY/2-HNOL, los resultados de la Tabla 1 muestran que no existe un efecto significativo sobre la reacción. Considerando, una relación molar GLY/2-HNOL alta implica un menor uso de co-reactivo, resulta más conveniente trabajar con una relación de 0.07 pensando en la economía del proceso.

Tabla 1. Efecto de la temperatura y de la relación de reactivos

Condiciones de reacción ^a		Tiempo			
Temperatura (K)	GLY/2-HNOL ^b (molar)	2.5 h		7.0 h	
		X _{GLY} (%)	Y _{AA} (%)	X _{GLY} (%)	Y _{AA} (%)
423	0.06	57.9	18.4	93.3	50.3
423	0.07	59.9	17.8	90.0	50.8
443	0.06	75.3	19.8	96.0	19.0

^a [1 mmol GLY, 100 mg catalizador 5.2ReAl] ^b Relación molar.

Efecto del soporte

En base a los resultados obtenidos previamente, se seleccionó al Re como metal promotor para investigar el efecto de las propiedades del soporte (MO_x). De este modo, se preparó una serie de catalizadores basados en Re soportado sobre diferentes MO_x y CsHPA. Se evaluaron las propiedades texturales y ácido-básicas de los soportes y los resultados se presentan en la Tabla 2. También se caracterizaron los catalizadores finales en sus propiedades texturales, estructurales y ácido-básicas (Tabla 3).

Los resultados de la Tabla 3 muestran que el contenido metálico determinado por ICP y EDX resultó ligeramente menor al nominal. Esto sugiere que los cationes metálicos no se depositaron totalmente sobre la superficie del soporte. Todos los sólidos catalíticos exhiben superficies específicas (S_g) inferiores a la de los soportes, que varían entre 39 y 257 m²/g. Esto sugiere un bloqueo de poros producido por las especies de Re agregadas durante la preparación.

El análisis estructural por XRD de los sólidos (difractogramas no reportados) no difieren de los patrones de cada uno de los soportes. Los XRD de las muestras xRe/soporte exhibieron los picos correspondientes a γ -Al₂O₃ cuasi-amorfa, SiO₂ amorfa, CeO₂, ZrO₂, TiO₂ principalmente anatasa y CsHPA, no detectándose ninguna fase cristalina de óxidos de Re. Esto indica que a aún a cargas cercanas al 7% en peso las especies de Re están altamente dispersas sobre las superficies de los soportes.

La acidez de los catalizadores se cuantificó en forma teórica empleando el parámetro potencial iónico (q/r) que relaciona la carga de los cationes con su radio iónico. En trabajos previos determinamos que los soportes investigados poseen acidez Lewis y/o Bronsted y que la incorporación del metal promotor confiere al catalizador acidez Lewis. Es de esperar que los cationes Re⁷⁺ incrementen la acidez del soporte, generando materiales más adecuados para aceptar electrones. Por otro lado, los soportes exhiben en general baja cantidad de sitios básicos

(n_b) como se aprecia en la Tabla 2 y la incorporación del metal promotor disminuye notablemente los valores de n_b (Tabla 3).

Tabla 2. Propiedades texturales y ácido-básicas de los soportes catalíticos.

Soporte	S_g (m ² /g) ^a	n_a (μmol/g) ^b	n_b (μmol/g) ^c	Parámetro q/r
CsHPA	143	47	<1	24
SiO ₂	300	<1	<1	10
CeO ₂	260	42	354	5
ZrO ₂	93	110 ^d	80 ^d	5
TiO ₂	54	87 ^e	31 ^e	7
γ-Al ₂ O ₃	230	186	19	6

^asuperficie específica BET; ^bpor TPD de NH₃; ^cpor TPD de CO₂; ^{d,e} de bibliografía (Nabgan y col. 2020), (Prymak, 2019).

rendimiento a AA se ve desfavorecido sobre sólidos que poseen reconocidas propiedades ácidas de Bronsted, como 3.5ReCsHPA.

Los catalizadores que exhiben mayor cantidad de sitios ácidos de Lewis favorecen la formación de AA, alcanzándose valores de Y_{AA} de hasta 52% sobre 5.2ReAl al cabo de 7 h de reacción. El principal subproducto obtenido es un dioxano, producido por la interacción entre el glicerol y la acroleína intermediaria, en una reacción de ciclización. También en algunos catalizadores se observa una disminución de los valores de Y_{AA} en el tiempo, esto debido a la formación de otros subproductos que podrían relacionarse con la presencia de agua en el medio de reacción.

Concluyendo, tanto los valores de X_{GLY} como los de Y_{AA} obtenidos a 2.5 y 7 h de reacción sobre los diferentes catalizadores de Re soportado muestran que el catalizador 5.2ReAl resultó el sólido con mejor desempeño catalítico.

Efecto del contenido de Re

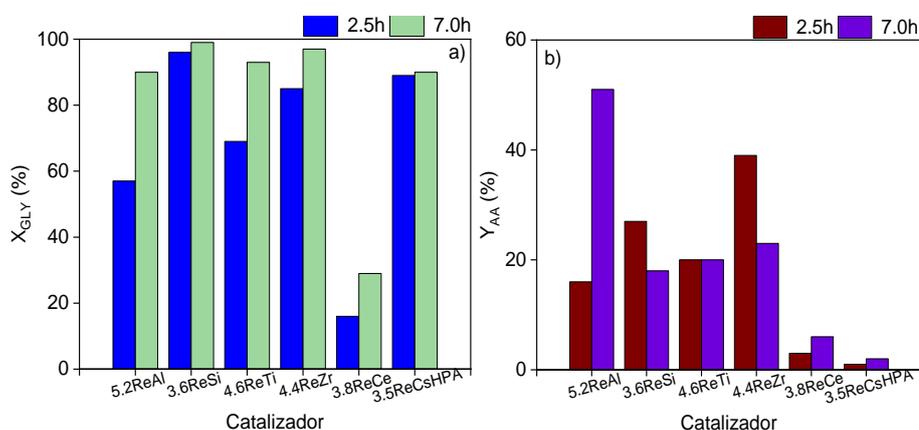


Figura 2. Efecto de la naturaleza del soporte sobre la conversión de glicerol, X_{GLY} , a) y sobre el rendimiento de alcohol alílico, Y_{AA} , b). [T = 423K; 1 mmol GLY; relación molar GLY/2-HNOL = 0.07; 100 mg catalizador].

Tabla 3. Caracterización de los catalizadores basados en Re.

Catalizador	S_g (m ² /g) ^a	n_b (μmol/g) ^b	Parámetro q/r	Fases estructurales ^c
3.5ReCsHPA	98	<1	37	CsHPA
3.6ReSi	257	<1	20	SiO ₂
3.8ReCe	193	66.2	18	CeO ₂
4.4ReZr	67	1.4	23	m-ZrO ₂
4.6ReTi	39	<1	20	TiO ₂
5.2ReAl	200	<1	19	γ-Al ₂ O ₃
6.8ReAl	197	<1	19	γ-Al ₂ O ₃
1.7ReAl	199	2.5	19	γ-Al ₂ O ₃

^a superficie específica BET; ^b por TPD de CO₂; ^c por XRD.

Habiendo demostrado que el catalizador 5.2ReAl es el más adecuado para sintetizar AA, se decidió evaluar el efecto del contenido de Re en sólidos x ReAl. Los resultados que se obtuvieron se muestran en la Figura 3. Se observa que, al incrementar el contenido del metal sobre el soporte, aumentan los valores de X_{GLY} , mientras que el Y_{AA} presenta un valor óptimo para un contenido metálico de 5.2 % en peso de Re.

Para contenidos mayores del metal promotor se favorecen reacciones secundarias como la

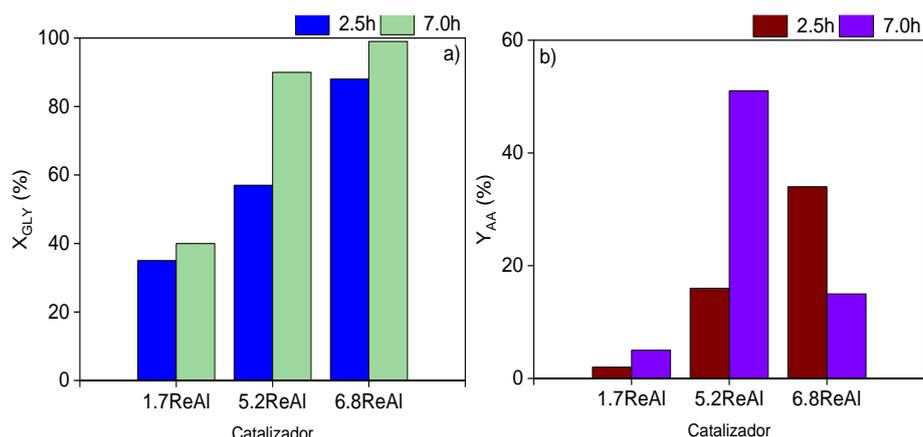


Figura 3. Efecto del contenido de Re en catalizadores $x\text{ReAl}$ sobre la X_{GLY} (a) y sobre el Y_{AA} (b).

desfavorables si se piensa en el escalado del proceso.

Conclusiones

Se evaluaron diferentes catalizadores metálicos soportados en la desoxideshidratación de glicerol. La síntesis de alcohol alílico se favorece sobre sitios ácidos de Lewis proporcionados por el metal promotor y las propiedades estructurales del soporte. La conversión de glicerol se promueve principalmente cuando el Re se emplea como metal promotor. Por otro lado, la selectividad a alcohol alílico se favorece con el empleo de alcoholes secundarios de alto peso molecular como agente reductor.

Se logró maximizar la economía del proceso y favorecer la reacción de desoxideshidratación, obteniendo una conversión de glicerol de 90% y un rendimiento de alcohol alílico de 51% empleando solo 100 mg de 5.2ReAl, a 423 K y 2-hexanol como co-reactivo (GLY/2-HNOL molar de 0.07). Se demostró que el catalizador 5.2ReAl puede reutilizarse hasta en dos reciclos sin presentar una pérdida apreciable de su actividad catalítica.

Referencias

- M. Shiramizu, F. Toste (2012), "Deoxygenation of biomass-derived feedstocks: oxorhenium-catalyzed deoxydehydration of sugars and sugar alcohols". *Angew. Chem. Int. Ed*, 51, 8082.
- E. Arceo, P. Marsden, R. Bergman, J. Ellman (2009), "An efficient didehydroxylation method for the biomass-derived polyols glycerol and erythritol. Mechanistic studies of a formic acid-mediated deoxygenation". *Chemical communications* 23, 3357-3359.
- V. Canale, L. Tonucci, M. Bressan, N. d'Alessandro (2014), "Deoxydehydration of glycerol to allyl alcohol catalyzed by rhenium derivatives", *Catal. Science & Technology*, 4, 3697-3704.
- A. Kostyniuk, D. Bajec, P. Djinić, B. Likozar (2020), "Allyl alcohol production by gas phase conversion reactions of glycerol over bifunctional hierarchical zeolite-supported bi- and tri-metallic catalysts", *Chem. Eng. Journal*, 397, 125430.
- S. Raju, M. Moret, R. Klein Gebbink (2015), "Rhenium-Catalyzed Dehydration and Deoxydehydration of Alcohols and Polyols: Opportunities for the Formation of Olefins from Biomass". *ACS Catalysis*, 5.1, 281-300.
- W. Nabgan, T. Abdullah, H. Alqaraghuli, N. Ngadi, A. Jalil, T. Siang (2020), "Ni-Pt/Al nano-sized catalyst supported on TNPs for hydrogen and valuable fuel production from the steam reforming of plastic waste dissolved in phenol". *Int. J. of Hyd. En.*, 45.43, 22817-22832.
- I. Prymak, *Doctoral dissertation, Universität Rostock* (2019).

formación del dioxano.

A partir de los resultados obtenidos, puede concluirse que el mejor catalizador es el de 5.2ReAl. Otros autores, empleando catálisis heterogénea en esta reacción han alcanzado conversiones de GLY más altas y en menor tiempo que las obtenidas en este trabajo. Sin embargo, en dichos procesos se utilizan mayores cantidades de catalizador y de co-reactivo que las empleadas aquí, y por ello las condiciones resultan

Estrategias para la Recuperación del Scrap de Ácido Poliláctico (PLA) Proveniente de Piezas Impresas en 3D

Strategies to Improve the Recovery of Polylactic Acid (PLA) Scrap from 3D Printed Parts

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Rocío Vaudagna

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, (2400), San Francisco, Argentina.
vaudagnarocio@gmail.com

Alejandro Horacio Andrés Bailo

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, (2400), San Francisco, Argentina.
abailo@facultad.sanfrancisco.utn.edu.ar

Rocío Boriglio

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco (2400), San Francisco, Argentina.
rocioboriglio@gmail.com

Paula C. Garnero

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco (2400), San Francisco, Argentina.
pcgarnero@gmail.com

María Eugenia Taverna

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco (2400), San Francisco, Argentina.
metaverna@santafe-conicet.gov.ar

Resumen

El avance tecnológico y el crecimiento comercial han elevado la demanda de diseñar y fabricar componentes mecánicos de forma rápida y económica. La fabricación aditiva, especialmente la impresión 3D, se ha consolidado como una solución eficiente para crear estructuras complejas a partir de modelos 3D, aunque conlleva la generación de residuos poliméricos. Este trabajo, realizado en el laboratorio de impresión 3D de la UTN Facultad Regional San Francisco, se enfoca en el uso de impresión 3D con polímeros termoplásticos, como el ácido poliláctico (PLA), para diseñar y fabricar probetas, en el marco de la asignatura Ciencia de los Materiales. Además, se investiga la reutilización de los residuos obtenidos de las probetas en la preparación de films de PLA mediante solvent casting, con refuerzos de nanopartículas de silicio (NP). Los films elaborados son evaluados en la cátedra de Polímeros para analizar sus propiedades.

Palabras clave: Impresión 3D, PLA, films, residuos.

Abstract

Technological advancement and commercial growth have increased the demand for designing and manufacturing mechanical components quickly and cost-effectively. Additive manufacturing, especially 3D printing, has emerged as an efficient solution for creating complex structures from 3D models, although it involves the generation of polymeric waste. This project, conducted in the 3D printing laboratory at UTN Facultad Regional San Francisco, focuses on the use of 3D printing with thermoplastic polymers, such as polylactic acid (PLA), to design and manufacture test specimens within the framework of the Materials Science course.

Additionally, the reuse of waste obtained from the test specimens is investigated for the preparation of PLA films using solvent casting, reinforced with silica nanoparticles (NP). The films produced are evaluated in the Polymers course to analyze their properties.

Keywords: 3D Printing, PLA, films, waste.

Introducción

La creciente demanda de soluciones de diseño y fabricación rápidas y económicas ha impulsado el uso de la fabricación aditiva, especialmente, la impresión 3D. Esta tecnología ha revolucionado la capacidad para crear componentes mecánicos complejos a partir de modelos digitales, ofreciendo ventajas significativas en términos de personalización y eficiencia (Cabrera Frías y Córdova Esparza, 2023). Sin embargo, uno de los desafíos asociados con la impresión 3D es la generación de residuos poliméricos, que plantea cuestiones sobre la sostenibilidad y el manejo de materiales (Mikula et al., 2021). Además, es una técnica transversal a los ingenieros de distintas disciplinas, siendo fundamental su estudio en las carreras dictadas en la UTN San Francisco.

El ácido poliláctico (PLA) es un polímero termoplástico ampliamente utilizado en impresión 3D debido a su biodegradabilidad y bajo costo. No obstante, la acumulación de residuos de PLA durante el proceso de impresión ha llevado a la necesidad de explorar métodos para reciclar y reutilizar estos materiales, con el fin de minimizar su impacto ambiental y promover la economía circular (Shao et al., 2022). En este contexto, el presente trabajo se enfoca en la utilización de PLA para diseñar y fabricar probetas para ensayos mecánicos en la cátedra Ciencia de los Materiales. Adicionalmente, se investiga la reutilización de las probetas de PLA en la preparación de films mediante solvent casting, incorporando nanopartículas (NP) de silicio como refuerzo. Estos films, destinados a aplicaciones en el envasado de alimentos, son evaluados para determinar sus propiedades mecánicas y su permeabilidad al vapor de agua, de ahora en más WVT por sus siglas en inglés water vapor transmission, un parámetro crítico para la efectividad de los materiales de envasado en la protección de alimentos contra la humedad (Dölle, 2023). La incorporación de NP obtenidas en Ciencia de los Materiales también busca mejorar estas propiedades sin comprometer la biodegradabilidad del PLA, ofreciendo una solución más sostenible para el envasado (Peelman et al., 2013).

Este enfoque interdisciplinario, que combina fabricación aditiva, reciclaje de materiales y técnicas avanzadas de síntesis, proporciona a los futuros ingenieros una perspectiva integral sobre el diseño y optimización de materiales, fomentando el desarrollo de habilidades prácticas y una comprensión profunda de los principios de sostenibilidad en ingeniería (Lipson y Kurman, 2013).

Desarrollo

Materiales y métodos

En primer lugar, se llevó a cabo una encuesta entre los estudiantes que cursaron Ciencia de los Materiales, con el fin de evaluar su conocimiento y percepción sobre la tecnología de impresión 3D. Resulta fundamental analizar el nivel de comprensión que poseen los futuros ingenieros, a fin de detectar posibles áreas de mejora en su formación académica. La encuesta fue de naturaleza cualitativa y consistió en un cuestionario estructurado con preguntas mayormente cerradas y algunas abiertas, el cual se distribuyó por una plataforma en línea para facilitar la participación de los estudiantes.

Presentación y uso de Solidworks para el diseño de probetas

Se capacitó a los estudiantes de Ingeniería Química en el uso de SolidWorks para el diseño de probetas que se utilizaron en ensayos de tracción y Charpy, siguiendo la normativa correspondiente. La UTN brinda una licencia estudiantil para que docentes y estudiantes tengan libre acceso a este software. Los estudiantes participaron en una sesión de formación intensiva en SolidWorks.

Fabricación de probetas mediante impresión 3D con PLA

Se configuró la impresora 3D (EXO 3D X1) y se seleccionaron los parámetros óptimos de impresión, tales como la temperatura del extrusor, velocidad de impresión y altura de capa. Se realizaron ajustes de impresión según fuera necesario para mejorar la calidad y precisión.

Recuperación del PLA

Se implementó un proceso de reciclaje para las probetas de PLA generado durante la impresión 3D, ya que no se cuenta con una máquina universal de análisis, con el fin de reducir el desperdicio y promover la sostenibilidad. El material obtenido se utiliza para obtener films con destino, por ejemplo, alimenticio.

Síntesis de nanopartículas de silicio (NP) mediante el método Stöber

Para la síntesis de las NP se empleó el método Stöber modificado. Los estudiantes de Ciencia de los Materiales colocaron en un vaso de precipitado, 200 mL de etanol y 22 mL de hidróxido de amonio 25% p/v se mezclaron bajo agitación magnética a 300 rpm. Luego, se añadieron 14 mL de TEOS y la mezcla obtenida fue agitada durante 12 h a 25 °C. Finalmente, para eliminar el exceso de reactivo, las partículas fueron centrifugadas (7000 rpm, 10 min) y redispersadas en agua 3 veces. Las NP obtenidas se caracterizaron utilizando técnicas como microscopía electrónica de barrido por sus siglas en inglés scanning electronic microscope (SEM) y dispersión de luz dinámica, en inglés, dynamic light scattering (DLS) para determinar el tamaño y la distribución de las partículas.

Preparación de films a partir del scrap de PLA con y sin refuerzos

Los estudiantes de las cátedras de Ciencias de los Materiales y Polímeros prepararon films mediante la técnica de solvent casting. Se elaboraron films con y sin refuerzos. El agregado de refuerzos tiene como objetivo mejorar las propiedades mecánicas del film y las propiedades de barrera para la humedad. Para la preparación de los films sin refuerzos se disolvieron 0,5 g de PLA en 15 ml de cloroformo hasta lograr suspensiones homogéneas. Para los films con refuerzos se hizo lo mismo, pero con el agregado de 5% de las NP de silicio sintetizadas con anterioridad. Las suspensiones se vertieron en moldes planos y se dejaron secar en condiciones controladas para permitir la evaporación del solvente.

Los films se desmoldaron y se acondicionaron para evaluar la permeabilidad al vapor de agua (WVT) de acuerdo a la norma ASTM E96/E96M-16 (Fig. 1).



Figura 1. Film de PLA en celda de WVT.

La WVT (Ec. 1) permite evaluar la cantidad de vapor de agua que atraviesa el material a analizar en un determinado período de tiempo. Las pruebas a los films se realizaron por duplicado, a temperatura y humedad controladas. Se realizaron mediciones cada 15 minutos en balanza analítica.

$$WVT = \frac{G}{(t \times A)} \quad (1)$$

donde G es la pendiente correspondiente a la curva peso vs tiempo en gramos; t es el tiempo en horas; A es el área de la boca de la copa del área de ensayo en m².

Elaboración de un podcast

Se elaboró un podcast referido a las temáticas que se trabajaron en las cátedras. Los estudiantes trabajaron en pequeños grupos, seleccionaron un tema referido a los polímeros y su impacto en el ambiente y grabaron, editaron y publicaron en el perfil del podcast denominado ECOCAST (<https://open.spotify.com/show/0HnRNZErRlQgq9c2tMTzar?si=c944750928bb4df4>), perteneciente a las cátedras de Polímeros y Ciencia de los Materiales.

Resultados

En primer lugar, se comparten algunas de las respuestas brindadas por los estudiantes en relación con el uso y conocimientos de impresión 3D

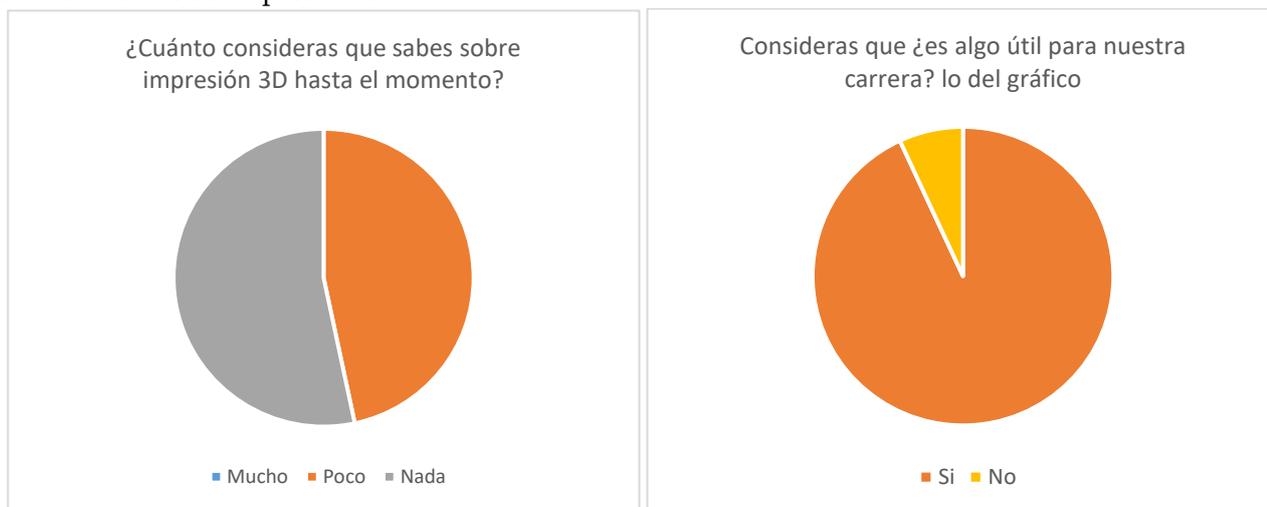


Figura 2. Algunas de las respuestas brindadas por los estudiantes.

A pesar de que el conocimiento previo de los estudiantes sobre impresión 3D era limitado o nulo, se pudo apreciar que esta tecnología les resulta útil y relevante para su carrera. El desempeño de los estudiantes en el laboratorio de impresión 3D (Fig. 3.a) fue muy prometedor, como se refleja en la calidad del diseño de las probetas (Fig. 3.b). La preparación de films para el ensayo de WVT (Fig. 3.c) demuestra su desarrollo en competencias técnicas esenciales como el modelado 3D y la impresión aditiva, además de su capacidad para aplicar conocimientos teóricos en situaciones prácticas. El saber hacer les permite comprender las implicaciones de sus decisiones de diseño en el rendimiento final del producto y enfrentar desafíos como la gestión del tiempo y recursos. Además, el ensayo de WVT resalta la importancia de una formación multidisciplinaria, integrando conocimientos de diferentes áreas de la ingeniería, mientras fomenta habilidades fundamentales como el trabajo en equipo y la colaboración, esenciales para su futuro profesional.

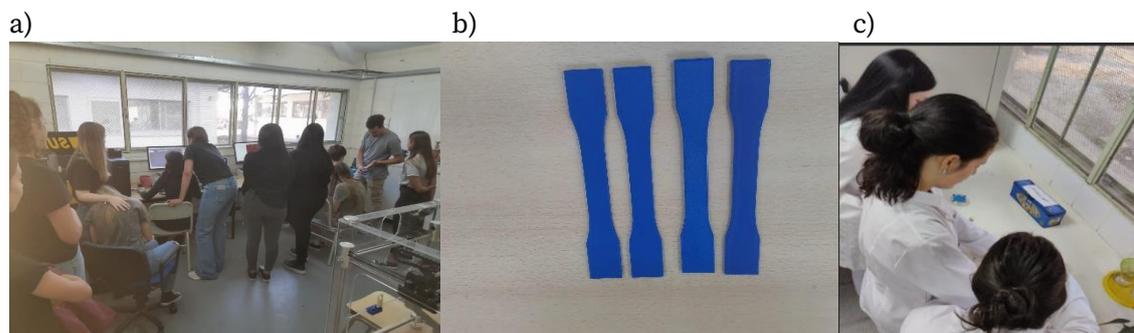


Figura 3. a) Estudiantes en el laboratorio de impresión 3D, b) probetas obtenidas por tracción, c) Estudiantes de Polímeros en el ensayo de WVT.

Los estudiantes lograron sintetizar partículas esféricas de sílice con un tamaño promedio de 150 nm (Fig. 4), utilizando técnicas avanzadas de caracterización como DLS y SEM. El análisis por DLS confirmó la distribución homogénea del tamaño de las partículas, mientras que las imágenes obtenidas por SEM revelaron su morfología esférica y la uniformidad en la distribución de tamaño. Estos resultados demuestran la precisión y control alcanzados por los estudiantes en el proceso de síntesis, así como su habilidad para utilizar herramientas analíticas clave en la caracterización de nanomateriales.

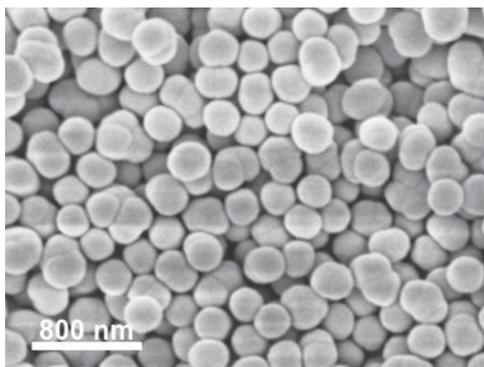


Figura 4. NP de sílice obtenidas por estudiantes.

Por otra parte, al incorporar NP de sílice como refuerzos en los films de PLA, se logra evidenciar una disminución en la tasa de transmisión de vapor de agua tal como se muestra en la Fig. 5. Se observa que la pendiente de los films de PLA con NP es menos pronunciada (-9.12×10^{-5}) comparada con los films que no contienen NP (-7.79×10^{-5}), lo cual indica no solo una mejora en las propiedades de barrera contra la humedad, sino que también sugiere un potencial significativo para aplicaciones en el envasado de alimentos, donde es crucial proteger los productos de la permeabilidad al vapor de agua para prolongar su vida útil.

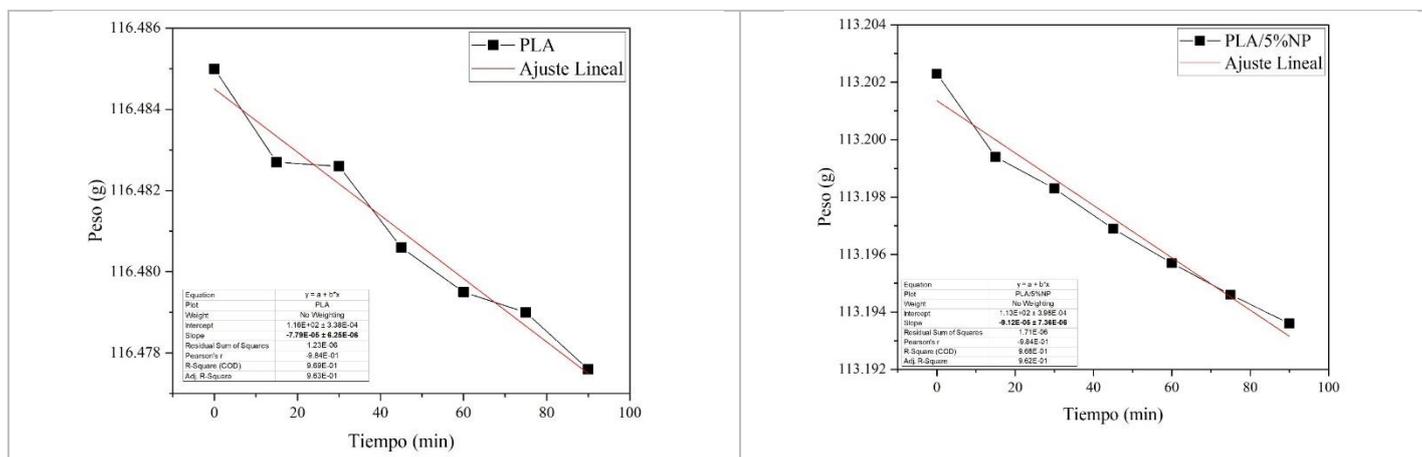


Figura 5. Gráfica de WVT para film de PLA conteniendo: (a) 0% y (b) 5% de NP.

Además, los estudiantes tuvieron la oportunidad de volcar sus conocimientos en el podcast, donde compartieron sus nuevos conocimientos sobre los polímeros y su relación con el medio ambiente. Este intercambio de ideas no solo permitió a los estudiantes consolidar su comprensión de la temática, sino que también les ofreció una plataforma para comunicar sus investigaciones y reflexiones sobre la sostenibilidad y la aplicabilidad de sus innovaciones.

Finalmente, los resultados de las encuestas realizadas a los estudiantes reflejan un alto nivel de satisfacción con el enfoque y la metodología implementados. Los comentarios positivos destacan, entre otros aspectos, la mejora en la comprensión de los conceptos y el aumento del interés por la materia. Un estudiante comentó...*Las materias y los polímeros resultaron muy interesantes. Es una temática muy extensa que a su vez a veces dan ganas de indagar más. Se hace muy llevadero cuando los temas son explicados por alguien que realmente transmite sus conocimientos con pasión y con ganas de que el otro aprenda. Respecto al podcast me pareció una idea genial, que sale de lo común, y nos lleva a desenvolvemos de otra manera. Como así también aprender e indagar sobre esos temas de edición, por ejemplo, que escapan de la carrera...mientras que otro señaló...Me resultaron más interesantes los biopolímeros porque contribuyen a la economía circular y pueden ser utilizados en diversas aplicaciones industriales y médicas, promoviendo la sostenibilidad.* Estos testimonios subrayan la efectividad de las estrategias utilizadas, evidenciando un impacto positivo en la experiencia educativa y en los aprendizajes de los estudiantes.

Finalmente, estudiantes de Ciencia de los Materiales usaron su experiencia y conocimientos adquiridos sobre SolidWorks para realizar piezas de otras asignaturas de la carrera.

Conclusiones

La experiencia adquirida por los estudiantes en diversas cátedras ha sido crucial para el desarrollo y la optimización de soluciones innovadoras en el manejo del scrap de ácido poliláctico (PLA) proveniente de la impresión 3D. El dominio de las herramientas ha permitido a los estudiantes implementarlo en otras asignaturas de la carrera demostrando la capacidad de los conocimientos adquiridos.

Desde la perspectiva de la sostenibilidad, el estudio ha demostrado que el empleo adecuado del scrap puede transformar un residuo en un recurso valioso. Al aplicar técnicas de manera interdisciplinar para un mejor aprovechamiento del PLA, se puede reducir significativamente el impacto ambiental asociado con la impresión 3D y encontrar su uso en una segunda cadena de valor.

Agradecimientos

Este trabajo está dedicado, en parte, a la memoria de Gaspar Anthonioz, que participó como estudiante en la cátedra de Polímeros. Agradecemos a la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) por el apoyo financiero a través de los PID 2023 PAECF0010103 y MAPPSF0010172.

Referencias

ASTM E96 / E96M-16 Standard test methods for water vapor transmission of materials.

Cabrera Frías, L., & Córdova Esparza, D. M. (2023). "La impresión 3D como herramienta educativa para desarrollar el pensamiento creativo: revisión sistemática". *Apertura (Guadalajara, Jal.)*, 15(2), 88-103.

Dölle, K. (2023). "Moisture Transfer of Paper for Food Packaging Applications: A Laboratory Study". *Journal of Engineering Research and Reports*, 25(11), 177-185.

Lipson, H., & Kurman, M.:2013. *Fabricated: The New World of 3D Printing*. John Wiley & Sons.

Mikula, K., Skrzypczak, D., Izydorczyk, G., Warchoń, J., Moustakas, K., Chojnacka, K., & Witek-Krowiak, A. (2021). "3D printing filament as a second life of waste plastics—a review". *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 12321-12333.

Peelman, N., Ragaert, P., De Meulenaer, B., Adons, D., Peeters, R., Cardon, L., ... & Devlieghere, F. (2013). Application of bioplastics for food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 32(2), 128-141.

Shao, L., Chang, Y. C., Hao, C., Fei, M. E., Zhao, B., Bliss, B. J., & Zhang, J. (2022). A chemical approach for the future of PLA upcycling: from plastic wastes to new 3D printing materials. *Green Chemistry*, 24(22), 8716-8724.

Caracterización de Catalizadores Zn/MnCO₃ empleados en la Síntesis de Benzaldehído

Characterization of Zn/MnCO₃ Catalysts used in Benzaldehyde Synthesis

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Pablo J. Luggren

Grupo de Investigación en Ciencia e Ingeniería Catalíticas (GICIC)

Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina.

pluggren@fiq.unl.edu.ar

Hernán A. Duarte

Grupo de Investigación en Ciencia e Ingeniería Catalíticas (GICIC)

Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina.

hduarte@fiq.unl.edu.ar

Juan Zelin

Grupo de Investigación en Ciencia e Ingeniería Catalíticas (GICIC)

Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina.

jzelin@fiq.unl.edu.ar

M. Eugenia Sad

Grupo de Investigación en Ciencia e Ingeniería Catalíticas (GICIC)

Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina.

mesad@fiq.unl.edu.ar

Verónica K. Díez

Grupo de Investigación en Ciencia e Ingeniería Catalíticas (GICIC)

Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina.

verodiez@fiq.unl.edu.ar

J. Isabel Di Cosimo

Grupo de Investigación en Ciencia e Ingeniería Catalíticas (GICIC)

Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina.

dicosimo@fiq.unl.edu.ar

Resumen

Se investigaron las propiedades superficiales, “bulk” y catalíticas durante la conversión de alcohol bencílico en benzaldehído, de catalizadores económicos basados en MnCO₃ modificado con Zn (x ZnMn). Se prepararon sólidos x ZnMn con un amplio rango de cargas de Zn por impregnación a humedad incipiente. La caracterización por XRD, TPN₂ (descomposición en N₂ a temperatura programada) y XPS mostró que los sólidos x ZnMn poseen diferentes fases cristalinas. En estas fases, el estado de oxidación del Mn cambia de 2+ a 3+ y 4+ a medida que aumenta el contenido de Zn debido a que el MnCO₃ se transforma a ZnMn₂O₄ y óxidos MnO_x.

La oxidación de alcohol bencílico con O₂ se realizó empleando condiciones moderadas. El mayor rendimiento a benzaldehído (~70 %) se obtuvo sobre 15.4ZnMn después de 6 h de reacción. El desempeño catalítico superior de 15.4ZnMn se atribuyó a una interacción sinérgica entre el Zn y Mn.

Palabras clave Catalizadores $x\text{ZnMn}$, caracterización por XRD, TPN_2 y XPS, oxidación de alcohol bencílico, benzaldehído

Abstract

Surface, bulk and catalytic properties during benzyl alcohol conversion toward benzaldehyde of inexpensive Zn modified- MnCO_3 catalysts ($x\text{ZnMn}$) were studied. $x\text{ZnMn}$ solids were prepared with a wide range of Zn loadings by incipient wetness impregnation. XRD, TPN_2 (temperature-programmed decomposition in N_2) and XPS characterization showed that $x\text{ZnMn}$ solids have different crystalline phases. In these phases Mn oxidation state changes from 2+ toward 3+ and 4+ as Zn content increases entailing the transformation of MnCO_3 to ZnMn_2O_4 and MnO_x oxides.

Benzyl alcohol oxidation with O_2 was carried out at mild reaction conditions. The highest benzaldehyde yield (~70 %) was obtained on 15.4ZnMn after 6 h of reaction. The superior catalytic performance of 15.4ZnMn was attributed to a synergistic interaction of Zn and Mn.

Keywords: $x\text{ZnMn}$ catalysts, characterization by XRD, TPN_2 and XPS, benzyl alcohol oxidation, benzaldehyde

Introducción

El MnCO_3 ha acaparado mucha atención en los últimos años, debido a su bajo costo y su gran abundancia en la naturaleza. Se lo utiliza comúnmente como catalizador o soporte para la oxidación selectiva de alcoholes debido a su alta actividad y estabilidad y por ser un sólido amigable con el medio ambiente. La oxidación de alcoholes aromáticos a aldehídos juega un papel crucial en la industria química y permite la producción de intermediarios claves como aldehídos, epóxidos, cetonas y ácidos orgánicos (Rezaeifard et al., 2011). En especial, el benzaldehído es un importante intermedio muy utilizado en las industrias farmacéutica, agroquímica, de colorantes, alimenticia y de fragancias (Yu et al., 2010).

La síntesis tradicional de aldehídos a través de la oxidación de alcoholes implica métodos que involucran catalizadores homogéneos tóxicos como reactivos a base de cromo (VI) o ácido nítrico y oxidantes inorgánicos como H_2O_2 , dimetilsulfóxido y permanganatos, con las consecuentes preocupaciones ambientales debido a problemas de eliminación de estas sustancias. Al emplear catalizadores sólidos y oxígeno se superan los problemas asociados con los procesos tradicionales, se forma agua como único subproducto y el catalizador puede recuperarse y ocasionalmente reutilizarse.

Se ha demostrado que varios catalizadores basados en Mn (MnCO_3 , MnO_2 , Mn_2O_3 y Mn_3O_4) son activos y selectivos durante la oxidación de alcoholes. En particular, las propiedades redox de los catalizadores basados en Mn los hacen adecuados para la síntesis de benzaldehído a partir de alcohol bencílico y O_2 . La actividad catalítica de estos materiales suele mejorarse añadiendo promotores como ZnO, CeO_2 , CuO y Fe_2O_3 .

Durante este trabajo, nos focalizamos en la síntesis y caracterización de sólidos económicos, ecológicos y fácilmente escalables basados en MnCO_3 modificado con Zn para su empleo como catalizadores en la oxidación de alcohol bencílico (BA) a benzaldehído (B). De esta manera, se prepararon catalizadores ZnO/ MnCO_3 con un amplio rango de contenidos de Zn (1.0, 2.0, 4.3, 8.7, 15.4, 22.6 % en peso de Zn) y los mismos se caracterizaron empleando diferentes técnicas fisicoquímicas y espectroscópicas. Se dilucidó la evolución de las propiedades de los sólidos, tales como cambios en el estado de oxidación del Mn y el desarrollo de diferentes especies superficiales y tridimensionales que contienen Mn y/o Zn al aumentar el contenido de Zn. La caracterización realizada permitió interpretar los resultados obtenidos durante la reacción de oxidación de BA a la luz de los resultados obtenidos por XRD, XPS y experimentos de descomposición a temperatura programada en N_2 (TPN_2).

Metodología

Preparación y caracterización de catalizadores ZnO/ MnCO_3

Los sólidos ZnO/ MnCO_3 se prepararon por impregnación a humedad incipiente de MnCO_3 comercial (Laring, 93 %) empleando soluciones acuosas de $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ de modo de variar el contenido de Zn en un amplio rango. Las muestras impregnadas fueron secadas en estufa a 363 K y posteriormente tratadas térmicamente en N_2 a 573 K durante 2 h. Los catalizadores se llamaron $x\text{ZnMn}$, siendo x el contenido de Zn en % en peso ($x = 1.0, 2.0, 4.3, 8.7, 15.4, 22.6$ % de Zn).

El contenido de Zn en los catalizadores $x\text{ZnMn}$ se midió mediante espectrometría de absorción atómica (AAS) en un espectrómetro Perkin Elmer PinAAcle 900T. Las superficies específicas BET (SA) y los volúmenes de poro fueron medidos por fisisorción de N_2 a 77K empleando un sortómetro Micromeritics modelo ASAP 2020.

Las propiedades estructurales de los sólidos $x\text{ZnMn}$ se determinaron por difracción de rayos X (XRD) en un difractómetro Shimadzu XD-D1 equipado con un ánodo de Cu giratorio que produce una radiación $\text{CuK}\alpha$ filtrada con Ni ($\lambda = 1.5405 \text{ \AA}$). Se aplicó el método de Rietveld para calcular la contribución de cada fase presente en los sólidos utilizándose el software Malvern Panalytical HighScore Plus v4.1 y la Crystallography Open Database (COD, <http://www.crystallography.net>).

Los sólidos $x\text{ZnMn}$ y MnCO_3 puro fueron analizados mediante descomposición a temperatura programada en flujo de N_2 (TPN_2). Como las muestras contienen carbonatos, se libera CO_2 durante su descomposición, el cual es analizado en un metanador. Los experimentos con TPN_2 se llevaron a cabo en un microrreactor cargado con 0.05 g de muestra utilizando N_2 como gas portador.

El estado de oxidación de los diferentes elementos químicos y la composición superficial de las muestras de $x\text{ZnMn}$ se analizaron cuantitativamente mediante espectroscopía de fotoelectrones de rayos X (XPS). Se utilizó un instrumento Specs Multitechnical que opera bajo ultra alto vacío (presión $< 1.0 \cdot 10^{-9}$ mbar).

Actividad catalítica

Los catalizadores $x\text{ZnMn}$ se evaluaron en la oxidación de BA (Ineos 99 %) a B. La reacción en fase líquida se llevó a cabo a 373 K en un reactor de vidrio de cinco bocas a presión atmosférica durante 6 h. Se utilizó tolueno con una relación molar $n^{\circ}_{\text{To}}/n^{\circ}_{\text{BA}} = 48.9$ y O_2 como reactivo oxidante. El BA sin reaccionar y los productos de reacción se analizaron por cromatografía gaseosa utilizando un GC Shimadzu 2014 equipado con un detector FID y una columna capilar Innowax de 30 m.

Resultados y discusión

Caracterización química, textural, estructural y superficial de los catalizadores $x\text{ZnMn}$.

Las propiedades químicas, texturales y estructurales de los catalizadores de $x\text{ZnMn}$ y de las muestras puras MnCO_3 y ZnO se resumen en la Tabla 1. El ZnO exhibe valores de superficie específica (SA) y volumen de poros ($V_p = 0.0776 \text{ cm}^3/\text{g}$) altos, en buen acuerdo con su estructura microporosa. Por el contrario, la SA del MnCO_3 resultó baja y el valor de V_p fue de $0.0245 \text{ cm}^3/\text{g}$. La impregnación de MnCO_3 con contenidos crecientes de Zn mejora las propiedades texturales de los sólidos $x\text{ZnMn}$. La SA aumenta monótonicamente cuando x crece de 1.0 a 15.4 % en peso debido a la generación de porosidad durante el procedimiento de impregnación y tratamiento térmico posterior. Para 22.6ZnMn se observa una disminución en el valor de SA, debido probablemente a la formación de cristalitos tridimensionales de ZnO que bloquearían la estructura porosa.

Las características estructurales se analizaron por XRD. Los difractogramas obtenidos (Figura 1) revelan que a medida que aumenta el contenido de Zn, diferentes fases cristalinas se desarrollan en los sólidos $x\text{ZnMn}$. Las señales indexadas a la rodocrosita se identificaron en MnCO_3 ($2\theta = 31.4^\circ$ y 51.5°), mientras que la especie cristalina en ZnO fue wurtzita. Las muestras 1.0ZnMn y 2.0ZnMn exhiben picos de difracción compatibles con la fase rodocrosita. La muestra 4.3ZnMn presenta una fase incipiente de wurtzita superpuesta a la principal fase de MnCO_3 detectada y una estructura incipiente de espinela de hetaerolita (ZnMn_2O_4) con señal característica a $2\theta = 36.4^\circ$. Los resultados también muestran que la intensidad de los picos de ZnO y ZnMn_2O_4 aumenta para contenidos altos de Zn ($8.7 \leq x \leq 22.6$) a la vez que se observa una disminución de las señales del MnCO_3 . La contribución de la fase de rodocrosita MnCO_3 , determinada empleando el método de refinamiento de Rietveld, disminuye con el contenido de Zn variando desde 99.8 % en 1.0ZnMn a 20.4 % en 22.6ZnMn (Tabla 1). Por otro lado, la contribución de las fases que contienen Zn (ZnO y ZnMn_2O_4) crecen con x . De esta manera, el contenido de ZnO aumenta de 0.0 a 7.7 % y el de ZnMn_2O_4 de 0.1 a 62.2 % cuando la carga de Zn varía de 1.0 a 22.6 %. Claramente, el refinamiento de Rietveld revela que la hetaerolita (ZnMn_2O_4) es la fase principal en las muestras $x\text{ZnMn}$ con altos valores de x .

Los cambios estructurales de $x\text{ZnMn}$ a medida que aumenta x también se analizaron por descomposición a temperatura programada en N_2 (TPN_2). Los perfiles TPN_2 (Figura 2) muestran una única señal centrada entre 680-745K que es asignada a la descomposición del MnCO_3 . Además, los máximos de los perfiles TPN_2 se desplazan hacia temperaturas más bajas cuando x aumenta, sugiriendo que la cantidad de MnCO_3 disminuye con el

contenido de Zn. En efecto, la cuantificación del $MnCO_3$ a partir de experimentos TPN₂ para $MnCO_3$ puro, 4.3ZnMn y 15.4ZnMn (Tabla 1, última columna) muestra, que el contenido de $MnCO_3$ disminuye cuando crece x ya que la fase de $MnCO_3$ se transforma dando lugar a otras fases estructurales conteniendo Mn^{n+} o $Zn^{2+}-Mn^{n+}$.

La composición superficial y los estados de oxidación de los elementos en $MnCO_3$ y $xZnMn$ se investigaron por XPS (Figura 3). Los espectros XPS obtenidos en la posición C1s (no mostrados) exhiben dos picos. El que aparece a 284.6 eV se asigna a C adventicio y se toma como referencia en la escala de energía de enlace (EE). El otro pico a ~ 289 eV corresponde a $O=C-O$ en especies carbonato y, por lo tanto, es relevante en $MnCO_3$ puro y disminuye con x . También se analizaron las señales en la región del O1s (Fig. 3A). El espectro del $MnCO_3$ exhibe un pico principal a 531.4 eV. En $xZnMn$ los espectros muestran, además de la señal a 531.4 eV, el desarrollo de hombros o picos a EE más bajas y más altas. Las señales en el rango de EE entre 526 y 536 eV fueron deconvolucionadas en tres contribuciones (O_I , O_{II} , O_{III}) de acuerdo a la literatura (Fig. 3A). La contribución de O_I (529.4-529.5 eV) se asignó al oxígeno reticular de óxidos metálicos. El pico O_{II} en valores intermedios de EE (531.2-531.4 eV), es atribuido a especies de CO_3^{2-} superficiales. Finalmente, el pico O_{III} (532.5-532.8 eV) corresponde a las especies de oxígeno superficial adsorbidas. Se determinó la contribución de las especies oxígeno O_I , O_{II} y O_{III} integrando las áreas de cada pico. Las contribuciones de las señales O_{II} y O_{III} disminuyen con x , mientras que la señal O_I sigue la tendencia opuesta

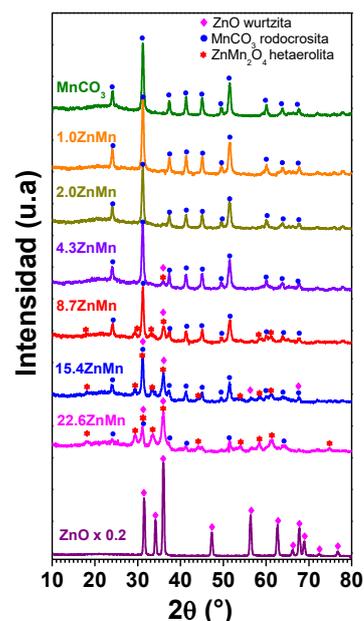


Figura 1. Difractogramas de los sólidos $xZnMn$, $MnCO_3$ y ZnO .

Tabla 1: Propiedades químicas, texturales y estructurales de los catalizadores $xZnMn$

Catalizador	Contenido de Zn, x^a (% en peso)	Superficie específica BET, SA (m ² /g)	Análisis estructural				Contenido de $MnCO_3^d$ (g/g de muestra)
			Contribución de las fases detectadas (%) ^b				
			$MnCO_3$ rodocrosita	ZnO wurtzita	$ZnMn_2O_4$ hetaerolita	MnO_x^c	
$MnCO_3$	-	10	100.0	0.0	0.0	0.0	0.91
1.0ZnMn	1.0	17	99.8	0.0	0.1	0.1	n.d.
2.0ZnMn	2.0	16	99.4	0.0	0.6	0.0	n.d.
4.3ZnMn	4.3	22	93.6	0.1	6.0	0.3	0.72
8.7ZnMn	8.7	22	72.5	0.6	24.4	2.6	n.d.
15.4ZnMn	15.4	33	44.7	7.9	33.8	13.5	0.46
22.6ZnMn	22.6	30	20.4	7.7	62.2	9.8	n.d.
ZnO	80.3	127	0.0	100.0	0.0	0.0	n.d.

^a por AAS; ^b por XRD y calculada usando el método de refinamiento de Rietveld; ^c MnO_x involucra MnO_2 pirolusita y Mn_3O_4 hausmanita; ^d por TPN₂, n.d.: no determinado.

(Fig. 4A). La contribución de las especies O_I también se cuantificó como relación de área $O_I/(O_I, O_{II}, O_{III})$. Como ya se mencionó, O_{II} está asociado con especies CO_3^{2-} y la señal de O_I , con especies óxidos y así, estos resultados sugieren que no solo la composición estructural cambia a medida que aumenta x , sino que también la superficie de las muestras de $xZnMn$ se transforma gradualmente de carbonato a óxidos (ZnO , MnO_x , $ZnMn_2O_4$).

Los espectros XPS tomados en la región Zn2p se muestran en la Fig. 2B. Todas las muestras exhiben dos picos a 1043.9 eV y 1020.9 eV, correspondientes a $Zn2p_{1/2}$ y $Zn2p_{3/2}$, respectivamente. La división espín-órbita entre ambos picos para todas las muestras es de 23.1 eV, lo que sugiere que el estado de oxidación del Zn es 2+ y no cambia con el contenido de Zn. Finalmente, se analizaron los espectros de la región Mn3p (Fig. 3C). Los espectros exhiben un pico alrededor de 48-49 eV con un hombro a EE más altas. Para el $MnCO_3$ puro, la señal principal aparece a 48.2 eV, mientras que en $xZnMn$ el pico se desplaza hacia mayores EE y este desplazamiento aumenta con x . De esta manera, el máximo del pico en 22.6ZnMn aparece a

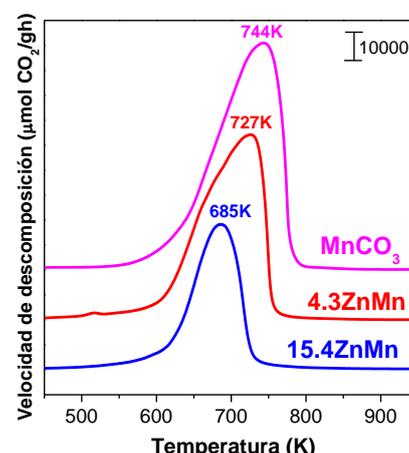


Figura 2. Perfiles de TPN₂ de $MnCO_3$, 4.3ZnMn y 15.4ZnMn.

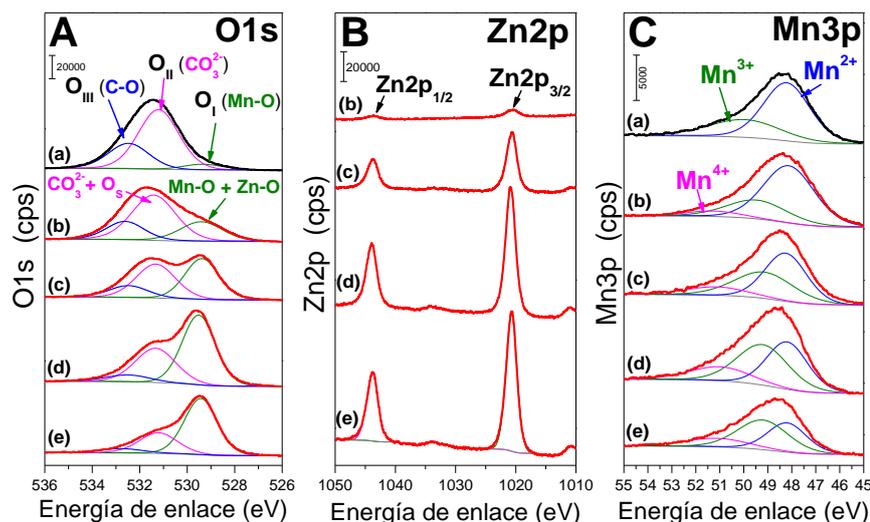


Figura 3. Espectros XPS de (a) MnCO_3 puro, (b) 1.0ZnMn , (c) 8.7ZnMn , (d) 15.4ZnMn y (e) 22.6ZnMn en la región de EE de (A) C1s, (B) O1s y (C) Mn3p.

48.7eV. Este corrimiento, confirma un cambio en el estado de oxidación del Mn desde $2+$ a valores más altos.

Se calcularon las contribuciones superficiales de las especies Mn^{2+} , Mn^{3+} y Mn^{4+} en los sólidos $x\text{ZnMn}$ por integración de las áreas de los picos respectivos. En la Fig. 3B se ve que el MnCO_3 exhibe principalmente especies de Mn^{2+} y en menor medida especies oxidadas (Mn^{3+}). En los sólidos $x\text{ZnMn}$, se aprecia una disminución de la contribución de Mn^{2+} a medida que aumenta el contenido de Zn, a expensas de las especies Mn^{3+} y Mn^{4+} . Este resultado está de acuerdo con los análisis de XRD y TPN_2 discutidos anteriormente. Además, la relación $\text{Mn}^{2+}/(\text{Mn}^{3+}+\text{Mn}^{4+})$ disminuye rápidamente de 2.12 para el MnCO_3 puro a 0.56 para 22.6ZnMn a medida que x aumenta (Fig. 4B).

La caracterización por XRD, TPN_2 y XPS permitió postular un esquema simplificado de cambios superficiales y estructurales que ocurren en los sólidos $x\text{ZnMn}$ a medida que x aumenta (Figura 5). A bajos valores de x las especies de Zn se pueden visualizar como pequeños agregados bidimensionales y así, los catalizadores 1.0ZnMn y 2.0ZnMn se pueden considerar como MnCO_3 puro con escasos y pequeños agregados de ZnO superficiales (Fig. 5A). Al aumentar el contenido de Zn, es decir, para muestras con $4.3\% \leq x \leq 15.4\%$, los agregados conteniendo Zn se vuelven especies tridimensionales más grandes. En estas muestras la intensidad de las señales de XRD asociadas a las fases ZnO y ZnMn_2O_4 aumentan mientras que la señal principal del MnCO_3 sigue la tendencia opuesta y se produce una interacción íntima entre Zn^{2+} y las especies Mn^{3+} o Mn^{4+} que da lugar a las especies espinela y MnO_x (Fig. 5B). Finalmente, la conformación estructural de 22.6ZnMn involucra principalmente fases de ZnMn_2O_4 y MnO_x (Fig. 5C).

Conversión de alcohol bencílico sobre los catalizadores $x\text{ZnMn}$.

Los catalizadores de $x\text{ZnMn}$ se aplicaron en la reacción de oxidación del BA con O_2 molecular a B. El mecanismo de oxidación de BA se discutió previamente en la literatura y, aunque se encontraron discrepancias se acepta ampliamente que la reacción procede a través de un mecanismo Mars-van Krevelen (MvK). Este mecanismo implica dos ciclos redox como se muestra en la Figura 6. Específicamente, BA se activa en los pares de sitios $\text{Zn}^{2+}-\text{O}^{2-}$ o $\text{Mn}^{4+}-\text{O}^{2-}$. Luego, en el primer ciclo redox, tiene lugar la formación de B con la reducción simultánea de la especie Mn^{4+} a Mn^{2+} . Se postula un mecanismo de carbocatión y se produce un reordenamiento con eliminación de H^+ . El segundo ciclo redox implica la reoxidación de Mn^{2+} a Mn^{4+} utilizando O_2 molecular y la liberación de una molécula de H_2O .

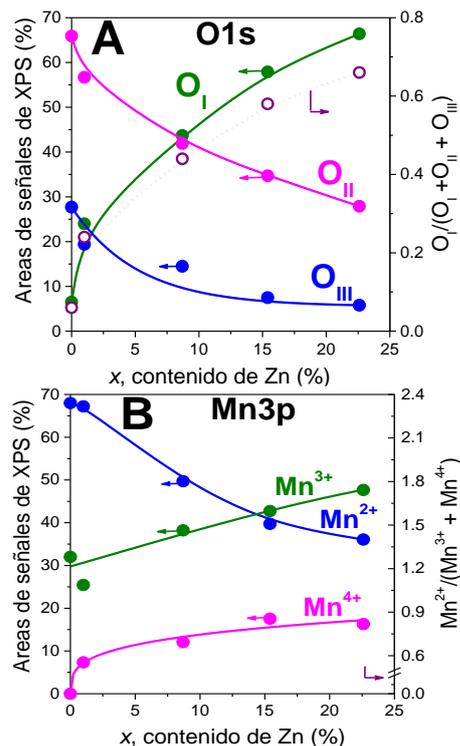


Figura 4. Áreas de señales XPS vs. x para deconvoluciones de (A) especies oxígeno y (B) especies Mn.

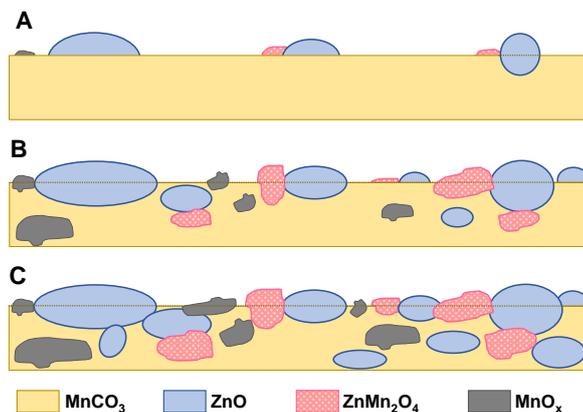


Figura 5. Evolución estructural y superficial de los catalizadores $x\text{ZnMn}$ en función de x .

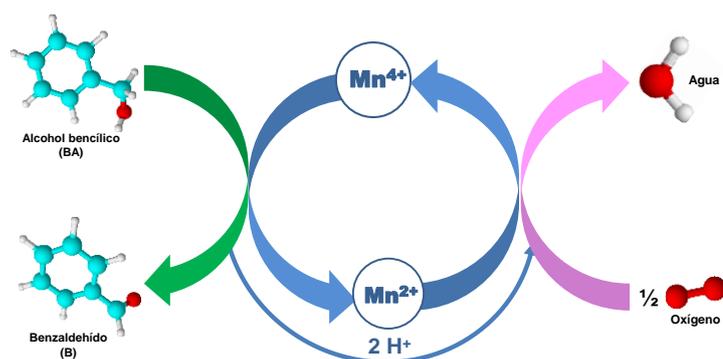


Figura 6. Mecanismo Mars-van Krevelen (MvK) para la oxidación de BA sobre catalizadores $x\text{ZnMn}$.

La Figura 7 muestra el efecto de la carga de Zn de los catalizadores $x\text{ZnMn}$ sobre la conversión de BA (X_{BA}) y los rendimientos de producto (Y_i) a 1 y 6 h de reacción. MnCO_3 y ZnO no convirtieron BA en las condiciones de reacción empleadas (373K y 1atm), indicando que las especies Mn^{2+} y Zn^{2+} no promueven la reacción.

La impregnación de MnCO_3 con Zn hace que los sólidos sean aptos para catalizar la oxidación de BA. Después de 1 h de reacción, la X_{BA} aumentó monótonicamente de 12 % a 32 % similar a los valores de 6 h (32 % a 70 %) cuando el contenido de Zn se incrementó de 1.0 % a 15.4 %.

Un aumento adicional del valor de x (22.6ZnMn) resulta perjudicial para convertir BA.

El rendimiento a benzaldehído (Y_B) sigue la misma tendencia que la X_{BA} al aumentar x , es decir, se obtuvo un Y_B máximo sobre 15.4ZnMn. El valor de Y_B más alto resultó de 69 % a 6 h de reacción y a 373 K.

Los resultados obtenidos pueden explicarse considerando las propiedades superficiales de los catalizadores discutidas previamente. Como se explicó, las muestras $x\text{ZnMn}$ con bajo contenido de Zn (1.0ZnMn y 2.0ZnMn) pueden representarse como MnCO_3 con pocos y pequeños agregados de especies de Zn (Figura 5). La falta de actividad del MnCO_3 para convertir BA (Figura 7) explica los bajos valores de X_{BA} y Y_B obtenidos en estos sólidos.

Los agregados bidimensionales de ZnO se convierten en tridimensionales cada vez más grandes a medida que aumenta el contenido de Zn y, finalmente, se produce un contacto íntimo entre Zn^{2+} y las especies de Mn altamente oxidadas (Mn^{3+} o Mn^{4+}) con la formación de nuevas especies Zn-Mn tridimensionales. El contenido óptimo de Zn fue 15.4 % que permitió alcanzar el mayor rendimiento de B (Figura 7). Sobre este catalizador el rol del ZnO está relacionado con su capacidad para quimisorber el BA mientras que las especies de Mn oxidadas (principalmente Mn^{4+}) participarían en el mecanismo redox MvK de oxidación del BA. Finalmente, una explicación para la caída de la X_{BA} y el Y_B en la muestra 22.6ZnMn es que la superficie del catalizador está cubierta por especies de espinela ZnMn_2O_4 , que es más difícil de reducir que los MnO_x .

Conclusiones

Se lograron preparar catalizadores económicos, ecológicos y fácilmente escalables basados en MnCO_3 modificado con Zn con un amplio rango de composiciones ($1.0 \leq \% \text{ peso Zn} \leq 22.6$). La caracterización realizada empleando gran variedad de técnicas fisicoquímicas y espectroscópicas, mostró que los sólidos $x\text{ZnMn}$ contienen diferentes fases cristalinas que involucran especies de Mn y Zn-Mn con distintos estados de oxidación del Mn.

Todos los sólidos ZnO/MnCO_3 resultaron activos y selectivos durante la conversión de BA a B en presencia de oxígeno. El desempeño catalítico superior del catalizador 15.4ZnO/ MnCO_3 se atribuyó a una interacción sinérgica entre ambos metales (Zn, Mn) que favorece la reacción de oxidación a través de un mecanismo Mars-van Krevelen.

Referencias

Rezaeifard, A., Jafarpour, M., Naeimi, A. (2011). "A practical innovative method for highly selective oxidation of alcohols in neat water using water-insoluble iron and manganese porphyrins as reusable heterogeneous catalysts". *Catal Commun*, 16 (1), 240-244.

Yu, Y.Y., Lu, B., Wang, X.G., Zhao, J.X., Wang, X.Z., Cai, Q.H., "Highly selective oxidation of benzyl alcohol to benzaldehyde with hydrogen peroxide by biphasic catalysis", *Chem. Eng. J.* 162 (2010) 738-742.

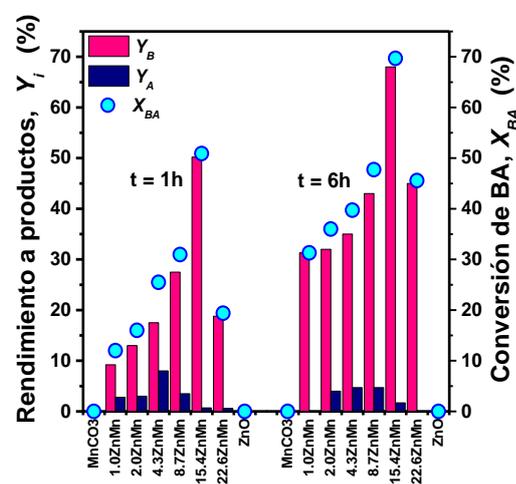


Figura 7. Efecto del contenido de Zn sobre los rendimientos a 1 y 6 h.

Síntesis y Caracterización de Materiales Compuestos de Interés Tecnológico a partir de Lignina Kraft fenolada de frondosas

Synthesis and Characterization of Composite Materials of Technological Interest from Phenolated Hardwood Kraft Lignin

Presentación: 23-24/10/2024

Micaela B. Peralta

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, GPól, Departamento de Ingeniería Química, Argentina
Micaelaperalta25@gmail.com

Santiago Dobler

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, GPól, Departamento de Ingeniería Química, Argentina
santiagodobler@hotmail.com

Mateo Lesta

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, GPól, Departamento de Ingeniería Química, Argentina
ajlesta59@gmail.com

Cristian A. Ferretti

Grupo de Síntesis Orgánica y Materiales (Instituto de Química Aplicada del Litoral) – Argentina
cferretti@fiq.unl.edu.ar

Verónica V. Nicolau

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, GPól, Departamento de Ingeniería Química, Argentina
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) – Argentina
vnicolau@sanfrancisco.utn.edu.ar

Resumen

La lignina Kraft puede sustituir al fenol en la síntesis de resinas de fenol-formaldehído. En este estudio, se desarrollaron resoles reemplazando entre el 30% y el 50% de fenol por lignina Kraft fenolada bajo condiciones alcalinas. Se observó que un mayor contenido de lignina aumenta la cantidad de formaldehído libre. Al reemplazar el fenol con lignina fenolada, el tiempo de gelificación primero aumenta, pero luego disminuye a concentraciones más altas, lo que indica cambios en la velocidad de reacción y en el reticulado. Los laminados de alta presión con un 30% de lignina fenolada mostraron resistencia al agua hirviendo y a la flexión similares a los laminados industriales convencionales, con aumentos del 38% en el módulo elástico y del 25% en la resistencia a la flexión. Este estudio sugiere que la fenolación alcalina de lignina Kraft es una alternativa prometedora para mejorar las propiedades de los laminados de alta presión.

Palabras clave: Lignina Kraft; Fenolación Alcalina; Laminados Decorativos de Alta Presión

Abstract

Kraft lignin can replace phenol in the synthesis of phenol-formaldehyde resins. In this study, resols were developed by replacing 30% to 50% of phenol with phenolated hardwood Kraft lignin under alkaline conditions. It was observed that an increase in lignin content leads to a higher level of free formaldehyde. As phenol is replaced with phenolated lignin, the gelation time initially increases but then decreases at higher concentrations, indicating changes in the reaction rate and cross-linking. High-pressure laminates with 30% phenolated lignin demonstrated boiling water and bending resistance comparable to conventional industrial laminates, with

increases of 34% in elastic modulus and 25% in flexural strength. This study suggests that alkaline phenolation of hardwood Kraft lignin is a promising alternative for improving the properties of high-pressure laminates.

Keywords: Kraft Lignin; Alkaline Phenolation; High-Pressure Decorative Laminates

Introducción

Los laminados termoestables basados en papel se fabrican a partir de láminas de papel saturadas con resinas termo-endurecibles, clasificándose en decorativos o estructurales de acuerdo con su aplicación final. Los laminados decorativos de alta presión (HPDL) se utilizan en muebles y revestimientos de interiores debido a su resistencia química, térmica y mecánica. Los HPDL están compuestos por capas de papel Kraft saturado con resina de fenol-formaldehído (PF) del tipo resol, y una superficie de papel decorativo de α -celulosa saturado con resina de melamina-formaldehído (MF). La producción de HPDL incluye tres etapas básicas: síntesis de resinas, impregnación y secado de papeles, y curado mediante compresión a alta presión y temperatura (Nemec, Hájková and Hýsek, 2023).

La búsqueda de soluciones sostenibles ha llevado al uso de biomasa para desarrollar productos químicos que puedan sustituir el fenol (P) en resinas de PF, reduciendo así el impacto ambiental.

La lignina (LG), un polímero natural de la biomasa y subproducto del proceso de fabricación de papel, es una opción prometedora debido a su funcionalidad fenólica, aunque su estructura compleja la hace menos reactiva que el P. Su menor reactividad podría implicar tiempos de prensado más largos y/o temperaturas de prensado más altas si la LG no se funcionaliza. Existen varios métodos químicos para la modificación y activación de la LG, entre los que se destacan la hidroximetilación y la fenolación. Si bien existen numerosos estudios sobre la hidroximetilación de la LG para aplicaciones en HPDL (Taverna et al., 2017), la información sobre fenolación en condiciones alcalinas es escasa. Por otra parte, la eficiencia de la hidroximetilación y fenolación de la LG está influenciada por el tipo de LG utilizada, debido a las diferencias en su estructura química, reactividad y solubilidad. Es crucial considerar las características de la LG disponible para optimizar el proceso de modificación y alcanzar las propiedades deseadas en los resoles resultantes.

Mediante la fenolación (Fig. 1), se pueden aumentar los grupos fenólicos con dos sitios reactivos y reducir el peso molecular de la LG, mejorando la solubilidad y reactividad de la misma, facilitando su uso en resinas, adhesivos y otros materiales avanzados (Gan and Pan, 2019).

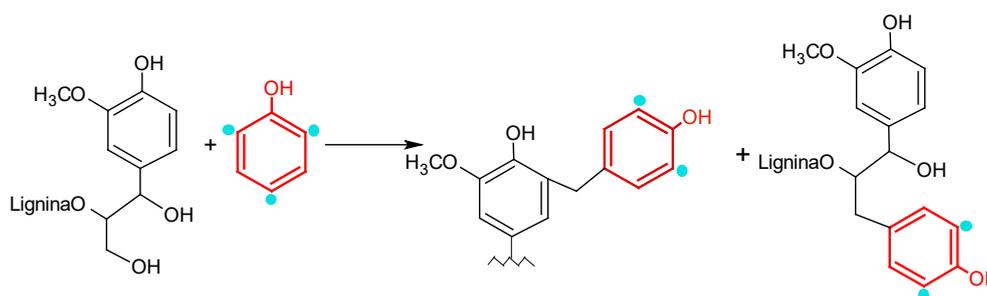


Figura 1. Reacción de fenolación de la LG en condiciones alcalinas.

Actualmente no se produce LG en Argentina, siendo Brasil (Suzano S.A.) el único productor mundial de LG de madera dura.

En trabajos anteriores del grupo se analizaron reemplazos de P con LG Kraft de eucalipto, proporcionada por Suzano S.A. y modificada mediante hidroximetilación para aplicaciones en HPDL (Peralta and Nicolau, 2021, 2022, 2023).

Este trabajo se persiguen dos objetivos: en primer lugar, explorar una nueva vía para la modificación de una LG Kraft de madera dura disponible comercialmente, con la posibilidad de escalar esta técnica en la empresa Centro S.A., productora de HPDL en San Francisco, Córdoba, Argentina. En segundo lugar, se busca estimular el interés de las industrias papeleras locales en la producción de un producto con valor agregado.

Desarrollo

I. Síntesis y caracterización de los resoles

Se sintetizó un resol convencional (PF) y tres resoles por reemplazo de un 30, 40 y 50 % en peso de P por LG Kraft de eucalipto (Suzano S.A.), denominados 30P-LPF, 40P-LPF y 50P-LPF, respectivamente.

La síntesis de todos los resoles se llevó a cabo en un balón de 500 mL equipado con termómetro, condensador, agitador mecánico y manta calefactora. La velocidad de agitación se mantuvo entre 500-600 rpm.

La síntesis de los resoles modificados con LG se llevó a cabo en dos etapas: 1) fenolación alcalina de la LG Kraft, y 2) condensación de la LG fenolada con formaldehído (F).

Para la fenolación de la LG, el balón se cargó con solución de P 91 % y se ajustó a pH entre 9-10. Luego, se agregó lentamente la LG bajo agitación y se reajustó el pH. Se emplearon reemplazos del P inicial en PF del 30, 40 y 50 % por LG. La mezcla se calentó a una velocidad de 1,8 °C/min hasta temperatura de reflujo durante 60 min. Para la etapa de condensación se empleó $[F]^{\circ} = 5,78 \pm 0,26$ mol/L y el pH se ajustó entre 8,5-9. Las reacciones se llevaron a cabo a temperatura de reflujo y se empleó el ensayo de punto de enturbiamiento para el corte de las reacciones.

Para la síntesis de PF, el pH se ajustó entre 8,5-9 con solución de NaOH 34 % empleando una relación molar F/P inicial de $[F]^{\circ}/[P]^{\circ} = 1,05$ y $[P]^{\circ} = 5,7$ mol/L. La mezcla se calentó hasta alcanzar la temperatura de reflujo la cual se mantuvo hasta punto de enturbiamiento positivo. Este ensayo cualitativo consiste en observar la formación de turbidez o “hilo” de resina en agua a temperatura ambiente. El punto de enturbiamiento sirve como un indicador indirecto del grado de polimerización. La solubilidad de la resina en agua disminuye con el incremento del grado de condensación y se manifiesta como un aumento en la turbidez de la solución.

Aunque los resoles 30P-LPF, 40P-LPF y 50P-LPF resultaron ser emulsiones estables, el resol PF mostró separación de fases. Antes de ajustar el índice de fluidez de todos los resoles a $13 \pm 0,5$ s empleando alcohol como diluyente y alcanzando contenidos de sólidos entre el 40-45 %, se descartó la fase acuosa del resol PF.

Al final de las reacciones, luego de la adición del diluyente, se midió pH a 25 °C utilizando un pHmetro marca HANNA modelo HI 8424, tiempo de flujo en copa Ford #4 a 30 °C, sólidos a 105 °C durante 2 h, y tiempo de gelificación cuyo ensayo consiste en medir el tiempo que demoran en gelificar 5 g de resina en un baño de silicona a 150 °C. Además, se midió el F libre por el método de oximación volumétrico (ISO 11402), que se basa en la reacción del F con clorhidrato de hidroxilamina.

II. Impregnación y secado de papeles

Los resoles se emplearon para la impregnación de papeles del tipo Kraft de 140 g/m². La impregnación se realizó manualmente sumergiendo los papeles en resina y eliminando el exceso por compresión entre dos varillas de vidrio. Los papeles impregnados se secaron en estufa a 105 °C durante 8 min.

El contenido de volátiles y de materia soluble en acetona son mediciones indirectas del grado de condensación y reticulación de las resinas. La carga y el contenido de volátiles se calculó según las ecuaciones (1) y (2). Para ello se pesaron muestras de papel Kraft crudo y de los papeles impregnados secos de 5x5 cm (m_1 y m_2 , respectivamente). Luego, los papeles impregnados secos se secaron en estufa a 105 °C durante 5 min, se enfriaron en desecador y se volvieron a pesar (m_3).

$$\text{Carga, \%} = \frac{(m_2 - m_1)}{m_2} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Volátiles, \%} = \frac{(m_2 - m_3)}{m_2} \times 100 \quad (2)$$

Para la cuantificación de materia soluble en acetona se curaron papeles impregnados secos de 5x5 cm durante 0 (materia soluble inicial), 5, 15, 30 y 45 min a 105 °C en estufa y se sumergieron en acetona durante 10 min.

III. Manufactura de HPDL

Los laminados sin superficie decorativa (HPL) se obtuvieron mediante moldeo compresión de un conjunto de tres papeles impregnados secos, mientras que para los HPDL se adicionó un papel decorativo blanco saturado con resina de MF con el propósito de identificar problemas de difusión de la resina de color marrón a la superficie (Fig. 2). El curado se llevó a cabo en una prensa de laboratorio que emplea vapor de agua como fluido calefactor y agua para el enfriamiento. Se trabajó a una temperatura de 150 °C y una presión de 70 kg/cm². El ciclo de curado

involucró una rampa de calentamiento desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de curado, la cual se mantuvo durante 10 min, seguido de una etapa de enfriamiento hasta alcanzar la temperatura ambiente.



Figura 2. HPL (arriba) y HPDL (abajo) manufacturados en prensa de laboratorio.

Se realizó una inspección visual de la superficie de los HPDL y se evaluó su resistencia al agua hirviendo conforme a la norma IRAM 13367, la cual consistió en medir los incrementos de masa y espesor de los HPDL luego de 2 h de inmersión en agua hirviendo. Para aquellos HPDL que no mostraron defectos (delaminación o ampollado), se evaluó el desempeño en flexión en tres puntos de los correspondientes HPL utilizando una Máquina de Testeo Universal INSTRON modelo 4467. El ensayo se realizó por quintuplicado utilizando probetas de 58x12 mm. Además, los resultados se compararon con las mediciones de un HPL industrial basado en PF convencional.

Resultados y discusión

En la Tabla 1 se muestran los resultados de caracterización de los resoles finales, de los papeles impregnados secos y los HPDL.

Tabla 1. Caracterización de los resoles, papeles impregnados secos y HPDL. Desviaciones entre paréntesis.

		PF	30P-LPF	40P-LPF	50P-LPF
<i>Resoles:</i>	F libre, %	0,06 (0,01)	1,42 (0,01)	1,82 (0,06)	2,47 (0,01)
	Tiempo de gelificación, min	15,51 (0,72)	19,81 (1,74)	17,97 (0,75)	14,33 (2,86)
	Tiempo de flujo, s	13,89 (0,69)	13,21 (0,18)	13,74 (0,28)	13,68 (0,06)
	Sólidos, %	45,10 (0,30)	45,11 (0,82)	43,63 (0,85)	40,24 (0,95)
<i>Papeles impregnados:</i>	Carga, %	33,5	31,2	30,5	29,1
	Volátiles, %	5,55	5,38	5,08	5,12
<i>HPDL:</i>					
Resistencia al agua hirviendo	Δ Masa, %	8,82 (0,66)	7,46 (0,18)	12,17 (0,16)	25,87 (1,38)
	Δ Espesor, %	11,74 (1,43)	9,27 (1,69)	18,14 (0,54)	23,85 (3,97)

Al final de las reacciones, el F libre aumenta con el incremento de LG posiblemente debido a la menor reactividad de la LG en comparación con el P. De modo similar, para un reemplazo del 30 % de P por LG, el tiempo de gelificación aumenta de 15,5 a 19,8 min, indicando que la LG está reduciendo la velocidad de la reacción de polimerización debido a su menor reactividad. Sin embargo, los valores de tiempo de gelificación disminuyen con el incremento de LG sugiriendo un mayor grado de condensación. Al aumentar el reemplazo a 50 %, el tiempo de gelificación disminuye a 14,3 min, lo que podría indicar que una mayor proporción de LG está generando efectos diferentes, como un mayor reticulado o un cambio en la dinámica de la reacción. Estos cambios pueden ser atribuidos a la interacción entre la LG y otros componentes de la mezcla como el F libre, así

como a la influencia de la concentración de LG en la red de polimerización que serán motivo de estudio en próximos trabajos.

Al final de la etapa de impregnación y secado, todos los papeles impregnados secos exhibieron valores de carga y volátiles en el rango de 29,1-33,5 % y 5,1-5,6 %, respectivamente (Tabla 1). Sin embargo, los valores de materia soluble inicial fueron de 25,4 % para PF y de 18,2 %, 7,6 % y 3,2 % para 30P-LPF, 40P-LPF y 50P-LPF, respectivamente. Estos resultados sugieren un mayor grado de solubilidad de PF en acetona dado su mayor carácter hidrofóbico (separación de fases durante la síntesis) en comparación a los resoles modificados con LG. Por otra parte, en la Fig. 3 se muestran las evoluciones del contenido de materia soluble en función del tiempo de curado. Como era de esperar, el contenido de materia soluble disminuye con el incremento del tiempo de curado debido al mayor grado de reticulación de las resinas. Este efecto aumenta con el incremento de LG de manera consistente con los valores de tiempo de gelificación.

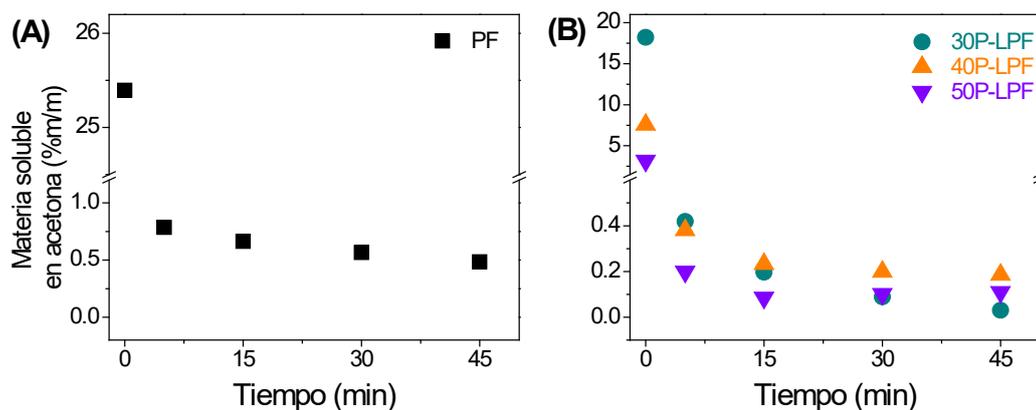


Figura 3. Materia soluble en acetona de papeles saturados con: (A) Resol convencional, y (B) Resoles fenolados.

No se observaron problemas de traspase de la resina en ninguno de los HPDL (Fig. 2). Para el ensayo de resistencia al agua hirviendo, se observaron defectos como delaminación en 50P-LPF, y ampollado en 40P-LPF (Tabla 1). Los incrementos de masa y espesor aumentan conforme aumenta el contenido de LG Kraft, debido a una mayor hidrofiliicidad de la resina. Los resultados cumplen con la norma AS/NZS 2924.1:1998 (Δ masa < 19 %, Δ espesor < 21 %) hasta un 40 % de reemplazo en peso de P.

El HPL saturado con resina 30P-LPF fue sometido a ensayos de resistencia al agua hirviendo y flexión en tres puntos, comparándolo con un HPL industrial (Tabla 2). Ambos incrementos, en masa y en espesor, cumplen con la norma AS/NZS 2924.1:1998, siendo ligeramente mayores para HPL modificado con LG. Además, se observó un incremento del 34% del módulo elástico y del 25 % de la resistencia a la flexión para HPL modificado con 30 % de LG fenolada en comparación con el laminado industrial.

Tabla 2. Caracterización de HPL. Desviaciones entre paréntesis.

Ensayo	HPL	30P-LPF laboratorio	PF industrial
Flexión	Módulo Elástico, GPa	19,3 (2,0)	14,0 (1,2)
	Tensión, MPa	201 (11,2)	161 (11,1)
Resistencia al agua hirviendo	Δ Masa, %	15,1 (2,8)	13,5 (0,9)
	Δ Espesor, %	13,7 (0,7)	4,2 (1,9)

Conclusiones

El incremento de LG en la síntesis de resoles obtenidos a partir de LG fenolada afecta tanto la reacción de polimerización como las propiedades finales del material. A medida que se reemplaza P con LG fenolada, se observa un aumento inicial en el tiempo de gelificación, lo que sugiere una reducción en la velocidad de reacción. Sin embargo, a mayores concentraciones de LG, el tiempo de gelificación disminuye, indicando un posible aumento en el reticulado o un cambio en la dinámica de la reacción.

En cuanto al contenido de materia soluble en los papeles impregnados secos, éste disminuye con el tiempo de curado, lo que sugiere un mayor grado de reticulación, especialmente con mayores cantidades de LG, de acuerdo con los valores de tiempo de gelificación. Sin embargo, los ensayos de resistencia al agua hirviendo en los HPDL revelan ciertos defectos, como delaminación en resinas con un 50 % de P y ampollado en aquellas con un 40 %.

El HPL obtenido a partir de un 30 % de LG no mostró defectos significativos y cumplió con la norma AS/NZS 2924.1:1998, aunque presentó ligeros incrementos en masa y en espesor en comparación con un HPL industrial. Además, el HPL obtenido a partir de LG fenolada exhibió un incremento del 38 % en el módulo elástico y del 25 % en la resistencia a la flexión.

Estos resultados demuestran el potencial de la LG de frondosas fenolada como sustituto parcial de P en la producción de HPDL. En trabajos futuros, se validará esta tecnología en entorno relevante y se avanzará hacia la obtención de un prototipo industrial.

Referencias

AS/NZS 2924.1:1998. ISO 4586-1:1995. High-pressure decorative laminate sheets made from thermosetting resins.

Gan, L., y Pan, X. (2019). "Phenol-Enhanced Depolymerization and Activation of Kraft Lignin in Alkaline Medium", *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 58(19), 7794–7800.

IRAM 13371(1970). "Laminados plásticos termoestables, decorativos. Método de determinación de la resistencia superficial al agua hirviendo".

ISO 11402:2004. Phenolic, amino and condensation resins — Determination of free-formaldehyde content (2004).

Nemec, M., Hájková, K., y Hýsek, S. (2023). "Paper-Based Laminates Impregnated with a Hybrid Lignin-Phenol-Formaldehyde". *Materials*, 16, 2669-2683.

Peralta, M. B., y Nicolau, V. V. (2021). "Proceso para la Hidroximetilación de Lignina Kraft de Eucalipto: Diseño y Optimización", *Jornadas de Ciencia y Tecnología 2021*, 267–273.

Peralta, M. B., y Nicolau, V. V. (2022). "Evaluación de defectos en superficie y volumen de un laminado decorativo biobasado: Síntesis de resina de lignina-fenol-formaldehído", *Jornadas de Ciencia y Tecnología 2022*, 306–311.

Peralta, M. B., y Nicolau, V. V. (2023). "Lignin-Phenol-Formaldehyde Resol for High Pressure Decorative Laminates: Evaluation of Lignin Levels on Final Properties", *WCCE11 - 11th World Congress of Chemical Engineering*.

Taverna, M. E., Tassara, O., Morán, J., Sponton, M., Frontini, P., Nicolau, V., y Estenoz, D. (2017). "Effect of Kraft Lignin from Hardwood on Viscoelastic, Thermal, Mechanical and Aging Performance of High Pressure Laminates", *Waste and Biomass Valorization*, 10(3), 585–597.

Diseño de un Sistema de Gasificación Catalítica para el procesamiento combinado de residuos sintéticos y naturales

Design of a Catalytic Gasification System for the combined processing of synthetic and natural waste

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Franco Nardi

Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (CONICET/UNL)
fnardi@fiq.unl.edu.ar

Juan Manuel Badano

Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (CONICET/UNL)
jbadano@fiq.unl.edu.ar

Mariana Busto

Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (CONICET/UNL)
mbusto@fiq.unl.edu.ar

Liza Dosso

Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (CONICET/UNL)
ldosso@fiq.unl.edu.ar

Resumen

En Argentina se producen anualmente más de 8 millones de toneladas de residuos biomásicos y más de 3 millones de toneladas de materias prima y manufacturas plásticas. Con el objetivo de estudiar la valorización energética de estos residuos, se diseñó y construyó un Sistema de Gasificación Catalítica (SGC), cuyo producto es un gas con un bajo o moderado poder calorífico. El SGC consiste en un reactor de lecho fluidizado para la gasificación de residuos, un reactor radial de lecho fijo para el reformado de alquitranes y un tren de lavado de gases. El SGC posee versatilidad en cuanto al material que puede gasificar (polímeros naturales, sintéticos o una mezcla de estos), a los agentes gasificantes que pueden utilizarse (aire, vapor, oxígeno o combinaciones de estos) y al régimen energético (isotérmico o autotérmico). Los criterios de diseño adoptados han permitido superar las limitaciones y desventajas de un gasificador preexistente.

Palabras clave: Gasificación Catalítica, Aprovechamiento Energético de Residuos, Diseño de Reactores

Abstract

Argentine produce more than 8 million tons of biomass waste and more than 3 million tons of raw materials and plastic products annually. In order to study the energy recovery of these wastes, a Catalytic Gasification System (CGS) was designed and built, whose product is low or medium heating value fuel gas. The CGS consists of a fluidized bed reactor for waste gasification, a fixed bed radial reactor for tar reforming and a gas treatment train. The CGS is versatile in terms of the material that can be gasified (natural and synthetic polymers or a mixture thereof), the gassing agents that can be used (air, steam, oxygen or combinations thereof) and the energy regime (isothermal or autothermal). The limitations and drawbacks of an existing gasifier were overcome by the design criteria adopted.

Keywords: Catalytic Gasification, Waste-to-Energy, Reactor Design

Introducción

En Argentina, se generan anualmente más de 8 millones de toneladas de residuos biomásicos de origen agrícola y forestal (FAO, 2020: 70-77), junto con más de 3 millones de toneladas de plásticos (Ministerio de Hacienda, 2019: 1:5), muchos de los cuales carecen de un circuito de recuperación adecuado debido a limitaciones tecnológicas y comerciales (Ragaert et ál., 2017: 24-58). En este contexto, se está estudiando la gasificación catalítica como alternativa para la degradación térmica controlada de estos residuos plásticos y biomásicos. Este proceso produce un residuo sólido carbonoso, cenizas y un gas de bajo poder calorífico compuesto principalmente por H_2 , CO , CO_2 , CH_4 y N_2 (Sansaniwal et ál., 2017: 363-384). El gas de síntesis generado puede utilizarse para producir diversos productos químicos, purificarse para obtener H_2 o emplearse con fines energéticos (Rauch et ál., 2013: 343-362; Arena et ál., 2014: 735-743). Sin embargo, este gas contiene altas concentraciones de alquitranes, compuestos orgánicos aromáticos condensables que deben reducirse a menos de 100 mg Nm^{-3} para su uso en motores, turbinas y en la síntesis de nuevos compuestos (Guan et ál., 2016: 450-461).

Experiencias de gasificación catalítica de aserrín de pino desarrolladas en INCAPE (CONICET/UNL) permitieron obtener un gas con poder calorífico de hasta 7 MJ Nm^{-3} , relación $H_2:CO$ cercana a la unidad y contenido de alquitranes menor a 600 mg Nm^{-3} . Para ellas, se utilizó un reactor de lecho fluidizado autotérmico a escala banco en serie con un reactor de reformado de lecho fijo. Los catalizadores utilizados para la gasificación fueron dolomita y residuo de pirólisis, mientras que para el reformado de alquitranes se usó Fe sobre carbón, Ni/Mo sobre alúmina, dolomita y residuo de pirólisis. Las experiencias fueron realizadas en un rango de relación de equivalencia (ER) de entre 0.35 y 0.45, mientras que el agente gasificante fue aire, aire enriquecido con vapor y aire enriquecido con oxígeno (García, 2023: 1-225).

Los reactores y dispositivos utilizados para las experiencias mencionadas poseían una serie de limitaciones y desventajas. La ausencia de calefacción externa en el reactor de gasificación impedía la operación a una temperatura específica deseada y dificultaba el procedimiento de arranque del reactor. Además, el uso de un reactor de reformado de lecho fijo y flujo axial generaba una pérdida de carga alta y la consiguiente presurización indeseada del reactor de gasificación. La falta de sello neumático en el sistema de alimentación del material a gasificar implicaba la necesidad de trabajar con una tolva cerrada, complejizando la recarga durante la operación. Por último, el diseño del tornillo de alimentación y las altas temperaturas alcanzadas en el mismo impedían la alimentación de polímeros sintéticos, restringiendo así la operación exclusivamente a residuos biomásicos.

El presente trabajo aborda el diseño de un nuevo Sistema de Gasificación Catalítica (SGC) a escala banco que supera las limitaciones del sistema anterior y permite la gasificación combinada de residuos biomásicos y plásticos. El SGC garantiza la operación isotérmica, evita las sobrepresiones y optimiza procedimientos operativos como el arranque y la recarga de material. El SGC es versátil en cuanto al material a gasificar, al agente gasificante y al material lecho catalítico o no catalítico utilizado.

Desarrollo

Se diseñó el sistema para la alimentación continua de entre 0.5 y 2 Kg h^{-1} de polímeros orgánicos sólidos tanto naturales como sintéticos. El sistema está conformado por las siguientes partes, las cuales pueden observarse en la Figura 1:

- Sistema de alimentación: compuesto por una tolva (1), una válvula rotativa (2) y un tornillo de alimentación refrigerado (3).
- Sistema de ingreso de gases (4).
- Gasificador de lecho fluidizado (5): consiste en tres tramos de tubo de acero inoxidable con hornos eléctricos externos tipo "libro".
- Sistema de retención de material particulado (6): compuesto por un ciclón con colector de partículas y un filtro de lana calefaccionado.
- Reformador catalítico (7): consiste en un reactor de lecho fijo de flujo radial con horno eléctrico externo.
- Torre de lavado de gases (8): consiste en una ducha acuosa a contracorriente, con su respectivo tanque reservorio y bomba elevadora Lusqtoff.
- Acondicionamiento final y medición (9): compuesto por un filtro de carbón activado, botellas con dos burbujeadores impinger y un medidor final de gas.
- Medición y control: sistema de medición, control y registro de temperaturas y presiones mediante electrónica y software diseñado *ad hoc*.

En la Figura 2 puede observarse el SGC en el Área de Trabajo de Equipos Escala Piloto (ATEEP) de INCAPE una vez concluida su construcción. A continuación se describe cada una de sus partes y sus criterios de diseño.

Agente gasificante

El agente gasificante provee el oxígeno necesario para que se desarrollen las reacciones de la gasificación y para que ocurra la fluidización en el reactor de lecho fluidizado. El SGC puede trabajar con hasta 3 agentes gasificantes en forma simultánea. Para la gasificación con aire se dispone de un compresor BTA TOOLS modelo IA272063 con rotámetro ODIN para la medición de su caudal. Para la alimentación de vapor se cuenta con una bomba dosificadora GRUNDFOS y un evaporador eléctrico. Además, se dispone de tubos de oxígeno con controlador de flujo másico AALBORG para el enriquecimiento del aire o del vapor, o para la operación con mezclas de las tres sustancias.

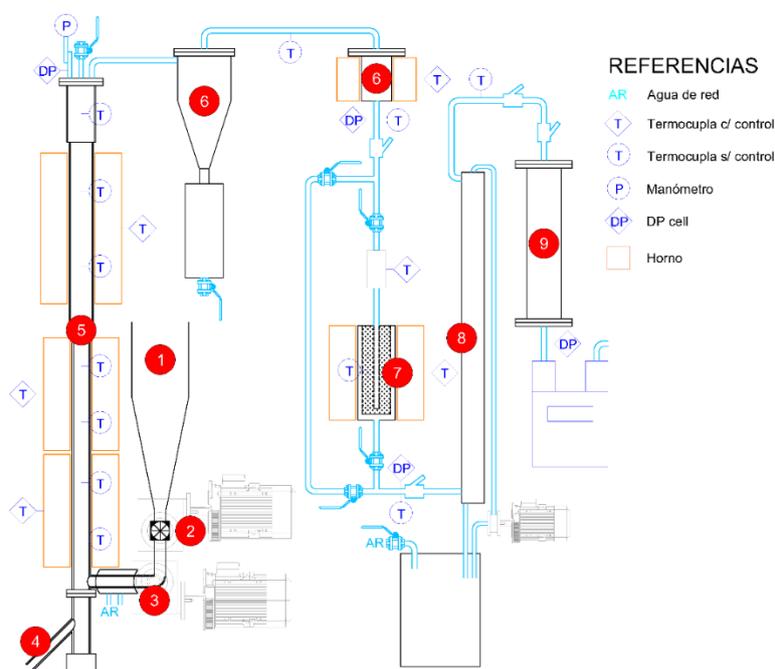


Figura 1. Diagrama del Sistema de Gasificación Catalítica de INCAPE. Los números en rojo coinciden con las partes mencionadas anteriormente.



Figura 2. Sistema de Gasificación Catalítica en el Área de Trabajo de Equipos Escala Piloto (ATEEP) de INCAPE.

Cuando el agente gasificante utilizado es aire, se obtiene un gas con bajo poder calorífico, en el rango de 6 a 8 MJ Nm⁻³, debido al alto contenido de N₂. En cambio, al utilizar vapor como agente, se eleva el poder calorífico por encima de 15 MJ Nm⁻³; la relación H₂:CO se ve favorecida con el uso de vapor. La gasificación con mezclas de ambos agentes da como resultado un gas con propiedades intermedias. Por otro lado, el enriquecimiento con oxígeno disminuye la concentración de alquitranes en el gas (García, 2023: 1-225).

La variable de operación más importante relacionada con el agente gasificante es la relación de equivalencia (ER, *equivalence ratio*), la cual relaciona los moles de oxígeno alimentados al reactor con los moles estequiométricos necesarios para realizar la combustión completa del material. Además, cuando el agente gasificante es vapor, suele utilizarse la relación másica vapor a combustible (StF, *steam to fuel ratio*), mientras que si se utiliza vapor y oxígeno es útil también la relación vapor a oxígeno (StO₂, *steam to oxygen ratio*) (Parrillo et ál., 2024: 53-62). El SGC fue diseñado para que la operación se mantenga dentro de los rangos establecidos en datos provenientes de experiencias anteriores: ER entre 0.05 y 0.45, y StF entre 0.3 y 2.5 (García, 2023: 1-225).

Sistema de alimentación

El sistema de alimentación del material a gasificar comienza con una tolva abierta a presión atmosférica, realizada mediante impresión 3D en el Taller Mecánico de INCAPE. Para garantizar el sello neumático entre la tolva y el resto del sistema, se utiliza una válvula rotativa en acero inoxidable. La válvula fue diseñada y construida *ad hoc* para el SGC con 7 compartimentos en forma de “V”. Además, a partir del control de la velocidad de giro del rotor de la válvula se dosifica el caudal deseado de material al tornillo de alimentación. El tornillo se construyó en acero inoxidable y su función es inyectar el material al reactor de lecho fluidizado rápidamente, garantizando un flujo continuo y no pulsante. El sector del tornillo más cercano al reactor posee una camisa exterior por la cual circula agua de red y evita el sobrecalentamiento. El diseño optimizado del sistema de alimentación permite la operación tanto con materiales derivados de la biomasa como con residuos plásticos, o con mezclas de ambos.

Reactor de gasificación de lecho fluidizado

El reactor de lecho fluidizado consiste en tres tramos de tubo de acero inoxidable. El primer tramo posee una altura de 700 mm y un diámetro de 41 mm. En este tramo se concentran las reacciones químicas de la gasificación y su temperatura puede elevarse cerca de los 1000°C, por lo que se seleccionó acero inoxidable 310S austenítico como material. El segundo tramo es el primer *freeboard*, de acero inoxidable 304L, altura de 500 mm y 57.5 mm de diámetro. Por último, se adicionó al reactor un tercer tramo *freeboard* en acero inoxidable 304L, con 150 mm de altura y 70.2 mm de diámetro, para asegurar la retención del material fluidizante dentro del reactor y evitar su pérdida a lo largo de las experiencias. Para garantizar la operación isotérmica, se incorporaron al reactor tres hornos eléctricos externos tipo libro de 2000 W de potencia cada uno: dos en el tramo inferior y uno en el tramo intermedio. Los hornos también proveen de aislación térmica en caso de que se desee operar en forma autotérmica.

El dimensionamiento del reactor se realizó teniendo en cuenta la capacidad deseada del sistema y los caudales de aire, oxígeno y vapor correspondientes. De esta manera, los diámetros y alturas seleccionados garantizan la fluidización del material de lecho con los distintos agentes gasificantes dentro del rango de alimentación de diseño y para un amplio rango de ER y StF mencionados anteriormente. Para el estudio de las velocidades de fluidización se utilizó una réplica transparente del tramo inferior, alimentada con material a gasificar (caucho triturado y aserrín de pino) y con el material de lecho catalítico y no catalítico (dolomita y arena).

El parámetro principal de seguimiento del proceso de gasificación depende de cuál sea el objetivo con el que se lo utiliza. Si el objetivo es la generación de energía eléctrica, el parámetro más importante es el poder calorífico del gas (LHV). En cambio, si el objetivo es utilizar el gas para la síntesis química, el parámetro más importante es la relación H₂:CO; la mayoría de las aplicaciones de síntesis requieren un valor mínimo de 2 (Rauch et ál., 2013: 343-362). Además de estos parámetros, en ambos casos debe considerarse el rendimiento a gas Y_{gas} , definido como el volumen de gas generado por unidad de masa del material gasificado. Otras eficiencias utilizadas para evaluar la performance del proceso de gasificación son la eficiencia de gas frío (CGE, *cold gas efficiency*) y la eficiencia en conversión de carbono (CCE, *carbon conversion efficiency*). La ecuación (1) corresponde a la CGE, que relaciona la energía aprovechable en el gas generado con la que estaba contenida en el material a gasificar (*fuel*) (Choi et ál., 2021: 1-11).

$$CGE = \frac{LHV_{gas} \times Y_{gas}}{LHV_f} \times 100\% \quad (1)$$

Por otro lado, la CCE es el cociente entre la masa de carbono presente en el gas de síntesis y la masa de carbono presente en el material a gasificar (Choi et ál., 2021: 1-11). En la ecuación (2) se expone su cálculo, en la cual $M_C = 0.012 \frac{Kg}{mol}$ es la masa molar del carbono, $V_m = 0.0224 \frac{Nm^3}{mol}$ es el volumen molar normal de un gas, w_{C_f} es la fracción másica de carbono en el material a gasificar, y_i es la fracción molar de cada componente del gas de síntesis generado y α_{C_i} son los moles de carbono por mol de i .

$$CCE = \frac{Y_{gas} \times M_C \times \sum_i \alpha_{C_i} y_i}{V_m \times w_{C_f}} \times 100\% \quad (2)$$

Tren de lavado de gases

El tren de lavado de gases inicia con un ciclón de acero inoxidable 304L, con una eficiencia del 85%. Fue dimensionado según Mujumdar (2015: 49-75), en el que la velocidad de ingreso es el parámetro de diseño. Para eliminar las partículas remanentes, se usa un filtro de lana mineral calefaccionado a 350°C para prevenir condensación y reformado de alquitranes (Choi et al., 2021: 1-11). Luego, el gas pasa por una torre de lavado de 90 cm con agua para reducir alquitranes y enfriar el gas. Finalmente, el gas se filtra con carbón activado y atraviesa dos burbujeadores impinger refrigerados antes de entrar al medidor de caudal G6K.

Reactor de reformado

El reactor de reformado de alquitranes tiene como objetivo la remoción de estos compuestos aromáticos y su conversión a gas de síntesis. Este se ubica entre el filtro caliente y la torre de lavado. Se dispone de un bypass que permite al SGC operar sin reformado de alquitranes.

Para evitar la alta pérdida de carga que genera el uso de un reactor de lecho fijo y flujo axial, se planteó el diseño de un reactor de lecho fijo y flujo radial. Este tipo de reactores permite disminuir la caída de presión considerablemente manteniendo la misma velocidad espacial (WHSV, *weight hourly space velocity*). En él, la alimentación se distribuye por todo el largo y fluye en la dirección radial a través del lecho catalítico contenido entre dos mallas perforadas concéntricas (Li, 2021: 1-16).

El dimensionamiento del reactor se realiza asegurando un WHSV de entre 1 h⁻¹ y 6 h⁻¹ para todo el rango de operación de diseño, según lo recomendado por Arnold and Hill (2019: 656-672). Los diámetros interior y exterior del lecho catalítico se seleccionan en 2 cm y 8 cm, respectivamente, en forma similar a Khan et ál. (2021: 77-84). De esta manera, la altura del lecho catalítico se define en 15 cm. Por último, la dirección de flujo es seleccionada desde el centro hacia la periferia, debido a que es la recomendada para reacciones de reformado y a que genera una distribución de flujo más uniforme (Weng et ál., 2022: 1-13). El reactor se encuentra calefaccionado por un horno externo de 1500 W, lo que garantiza la operación isotérmica.

Técnicas analíticas, control y registro

El SGC cuenta con un sistema de medición y control de temperaturas y presiones. Este consiste en una serie de termocuplas tipo K y medidores de presión (*DP cells*) ubicados a lo largo del reactor de lecho fluidizado, en el filtro caliente, en el reformador y en algunas conexiones entre equipos. Se desarrolló *ad hoc* un sistema de placas electrónicas y software basado en LabView® que permite el registro de las distintas lecturas de presión y temperatura, así como el control de la temperatura de los hornos y su lectura en tiempo real en una interfaz gráfica.

Para la determinación de la composición del gas de síntesis generado, se utiliza cromatografía gaseosa (cromatógrafo Shimadzu GC-2014 con detector TCD). Por otro lado, para determinar el contenido de alquitranes en el gas se han puesto a punto los métodos de adsorción en fase sólida (SPA) y extracción en fase sólida (SPE) (García, 2023: 1-225), luego de los cuales se utiliza cromatografía gaseosa (cromatógrafo Shimadzu GC-2014 con detector FID). El SGC cuenta con dos puntos de toma de muestras gaseosas: uno a la salida del filtro caliente y otro a la salida del reactor de reformado.

Conclusiones

El Sistema de Gasificación Catalítica diseñado y construido en INCAPE permite realizar la gasificación catalítica y no catalítica combinada de residuos de biomasa y plásticos, con una capacidad de entre 0.5 y 2 Kg h⁻¹. Se dispone de aire, vapor, oxígeno o una combinación de estos para utilizar como agente gasificante, en un amplio rango de ER y StF. Su

diseño optimizado permitió superar las limitaciones del antiguo gasificador de biomasa, en relación a la versatilidad en la alimentación, la generación de sobrepresiones, el control de la temperatura y las dificultades en el arranque.

A partir del uso del SCG, se estudiará la gasificación de residuos plásticos cuyo circuito de recuperación esté poco desarrollado por limitaciones económicas y/o tecnológicas, así como su procesamiento combinado con biomasa. Se buscará optimizar las variables de operación con el objetivo de lograr altos poderes caloríficos con bajo contenido de alquitranes. Además, el SGC se encuentra disponible para el estudio del potencial energético de los residuos tanto naturales como sintéticos producidos en la región.

Agradecimientos

Los autores agradecen al personal técnico del Taller Mecánico de INCAPE por llevar a cabo la construcción del Sistema de Gasificación Catalítica y por el soporte técnico durante su diseño. Además, agradecen el financiamiento recibido de la Agencia Santafesina de Ciencia, Tecnología e Innovación (ASaCTeI DTT 2022-013), de la Agencia I+D+i (PICT 2019-02065), de la Universidad Nacional del Litoral (CAI+D 50620190100103LI) y del CONICET (PIBAA 28720210100356CO).

Referencias

- Arena, U., Di Gregorio, F. (2014). "Energy generation by air gasification of two industrial plastic wastes in a pilot scale fluidized bed reactor". *Energy*, 68, 735-743.
- Arnold, R. A., & Hill, J. M. (2019). "Catalysts for gasification: a review". *Sustainable Energy & Fuels*, 3, 656-672.
- Choi, M.J., Jeong, Y.S., Kim, J.S. (2021). "Air gasification of polyethylene terephthalate using a two-stage gasifier with active carbon for the production of H₂ and CO". *Energy*, 223, 120122
- FAO. Colección de Documentos Técnicos N°19. Buenos Aires, 2020.
- García, L.V. (2023) "Gasificación catalítica a escala banco de residuos biomásicos para la generación de energía". Tesis doctoral. <https://hdl.handle.net/11185/7190>.
- Guan, G., Kaewpanha, M., Hao, X., Abudula, A. (2016). "Catalytic steam reforming of biomass tar: Prospects and challenges". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 450-461.
- Khan, M. M., Xu, S., Wang, C. (2021). "Catalytic gasification of coal in a decoupled dual loop gasification system over alkali-feldspar". *Journal of the Energy Institute*, 98, 77-84.
- Li, J. C. H. (2021). "Radial-Flow Packed-Bed Reactors". Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.
- Ministerio de Hacienda. Informes de Cadena de Valor: petroquímica – plástica. Buenos Aires, 2019
- Mujumdar, A. S. (2015). Handbook of Industrial Drying, 4th Edition. CRC Press.
- Parrillo, F., Ardolino, F., Calì, G., Pettinau, A., Materazzi, M., Sebastiani, A., Arena, U. (2024). "Plastic waste gasification using oxygen-enriched air and steam: Experimental and model results from a large pilot-scale reactor". *Waste Management*, 183, 53-62.
- Ragaert, K., Delva, L., Van Geem, K. (2017). "Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste". *Waste Management*, 69, 24-58.
- Rauch, R., Hrbek, J., Hofbauer, H. (2013). "Biomass gasification for synthesis gas production and applications of the syngas". *WIREs Energy Environ*, 3, 343-362.
- Sansaniwal, S., Pal, K., Rosen, M., Tyagi, S. (2017). "Recent advances in the development of biomass gasification technology: A comprehensive review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 72, 363-384.
- Weng, J., Zhang, Q., Yu, J., Yu, Q., Ye, G., Zhou, X. (2022). "Radially layered configuration for improved performance of packed bed reactors". *Chemical Engineering Science*, 260, 117917.

Diseño de un gel post solar con *Aloe saponaria* y microcápsulas biopoliméricas de mentol

Obtaining post-sun gel with menthol biopolymeric microcapsules

Presentación: 23 y 24 de octubre

Silvina Soledad Guzmán

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Grupo Productos Naturales y Materiales (ProNaM), Argentina
silvyguzman@hotmail.com

Deisy Inés Galuppo

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Grupo Productos Naturales y Materiales (ProNaM), Argentina
deisy.galuppo@gmail.com

Matías Iván Nari

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Grupo Productos Naturales y Materiales (ProNaM), Argentina
matiasnari92@gmail.com

María Candela Acuña

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Grupo Productos Naturales y Materiales (ProNaM), Argentina
candela.acu47@gmail.com

Candelaria Masera

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Grupo Productos Naturales y Materiales (ProNaM), Argentina
candemasera@gmail.com

Regina Toninetti

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Grupo Productos Naturales y Materiales (ProNaM), Argentina
rtoninetti@gmail.com

María Victoria Schultheis

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Grupo Productos Naturales y Materiales (ProNaM), Argentina
mv_schultheis@hotmail.com

Vanina Alejandra Guntero

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Grupo Productos Naturales y Materiales (ProNaM), Argentina
vguntero@sanfrancisco.utn.edu.ar

Resumen

En la actualidad, existe un gran interés en el desarrollo de productos farmacéuticos y cosméticos encapsulados, con el fin de preservar las propiedades y la vida útil de los principios activos. En el presente trabajo se diseñó un gel post solar, a partir de un gel natural de *Aloe saponaria* al 10 % de concentración, como uno de los componentes activos. Además, se agregó mentol un terpeno natural que posee diversas e importantes propiedades entre las que se destaca antipruriginosas y antisépticas. También nuestra finalidad se basó en la obtención de un material con propiedades térmicas estabilizantes. La relevancia de esta investigación consistió

en aplicar la técnica de encapsulación, como método para preservar las propiedades del mentol por ser inestable bajo ciertas condiciones pH, temperatura, etc. A continuación, se incorporó una matriz de alginato de sodio con el fin de formar una cápsula protectora, por su capacidad de formar hidrogeles. Cabe destacar que en este trabajo se emplearon los métodos de inyección y emulsificación con cloruro de calcio. Luego de realizar los ensayos correspondientes, se evidenció que en medios básicos las cápsulas son más resistentes a la absorción de líquido y a la disgregación del entorno.

Palabras clave: Encapsulación, Aloe saponaria, mentol, hidrogeles.

Abstract

Currently, there is a great interest in the development of encapsulated pharmaceutical and cosmetic products, in order to preserve the properties and shelf life of the active ingredients. In the present work, a post-solar gel was developed, from a natural *Aloe saponaria* gel at 10% concentration, as one of the active components. In addition, menthol was added, a natural terpene that has various and important properties, among which antipruritic and antiseptic properties stand out. Our aim was also based on obtaining a material with stabilizing thermal properties. The relevance of this research consisted in applying the encapsulation technique, as a method to preserve the properties of menthol because it is unstable under certain conditions as pH and temperature. Next, a sodium alginate matrix was incorporated in order to form a protective capsule, due to its capacity to form hydrogels. It should be noted that in this work, injection and emulsification methods with calcium chloride were used. After carrying out the corresponding tests, it was shown that in basic media the capsules are more resistant to the absorption of liquid and to the disintegration of the environment.

Keywords: Encapsulation, Aloe saponaria, menthol, hydrogels.

Introducción

El desarrollo sostenible es pieza fundamental en el diseño de productos de consumo masivo en la industria cosmética. El continuo crecimiento de la industria cosmética a nivel mundial, se evidencia en las ganancias generadas, en el 2023 fueron cercanas a 801.610 millones de dólares. Cobrando interés los productos fabricados de base biológica y biodegradables con características seguras, para satisfacer la alta demanda de los consumidores (Lourith & Kanlayavattanakul, 2023).

La exposición prolongada a rayos ultravioletas (UV) emitidos por el sol, pueden provocar envejecimiento de la piel, incluso una sobreexposición podría generar una quemadura. Por eso los especialistas recomiendan el uso de protectores solares antes de la exposición y, posterior, colocarse un gel post solar que permita alcanzar y mantener el balance hídrico.

Los hidrogeles son redes poliméricas tridimensionales reticuladas capaces de absorber y retener grandes volúmenes de agua (Ramirez et al., 2016). Es por ello que los hidrogeles son materiales muy versátiles y con gran potencial para ser considerados biomateriales, dado que su naturaleza hidrofílica y reticulante les otorga una excelente biocompatibilidad.

Entre los materiales para diseñar un gel post solar, se destaca el *Aloe saponaria* porque contribuye con la regeneración celular en caso de quemaduras y evita la posterior aparición de manchas en la piel (Silva et al., 2013). Por otro lado, el mentol también es utilizado en dicha industria por sus propiedades térmicas estabilizantes, antifúngicas, antibacterianas, antiinflamatorias, antipruriginosas, antitusivas, antisépticas, anticancerígenas y antivirales (Mira et al., 2021). Pero es inestable en ciertas condiciones: pH, la temperatura y la luz; presenta otro inconveniente, es insoluble en agua (Sarunya Phunpee et al., 2016). Por ello, resulta de gran interés desarrollar métodos para preservar sus propiedades, entre ellos se destaca la incorporación a un hidrogel.

Una forma de preservar los compuestos activos es mediante la técnica de encapsulación, que consiste la incorporación de un principio activo dentro de una matriz (Nava Reyna et al., 2015). Dicha matriz ejerce un efecto

protector sobre la molécula bioactiva, que conlleva una serie de beneficios significativos (Turek & Stintzing, 2013). Entre ellos, el aumento de la solubilidad y biodisponibilidad de los compuestos encapsulados; asimismo, facilita el empaque y transporte, enmascara propiedades indeseables como el olor y sabor, previene la degradación de los ingredientes durante los procesos de manipulación y almacenamiento (Gómez et al., 2018).

El material utilizado para la matriz puede ser seleccionado a partir de un amplio espectro de polímeros. Entre ellos se encuentra el ácido algínico, un polímero monosacárido conformado por enlaces glucosídicos, que se extrae de la pared celular de las algas. Este compuesto se comercializa principalmente en forma de sal, conocida como alginato de sodio, debido a su mayor estabilidad. Se caracteriza por poseer una estructura molecular lineal, presenta características biodegradables y biocompatibles, lo que lo hace especialmente versátil para un amplio espectro de aplicaciones (Frent et al., 2022). Además, se destaca por su bajo costo y fácil adquisición. Se utiliza ampliamente en la encapsulación por su capacidad de formar hidrogeles capaces de mejorar la estabilidad y la bioaccesibilidad de los compuestos encapsulados (Pedrali et al., 2023).

La formación de geles de alginato por el método iónico se puede dar por dos métodos, denominados gelificación externa (GE) y gelificación interna (GI). En el primer caso, el cloruro de calcio (CaCl_2) se utiliza como agente reticulante, al ser soluble en agua, los iones calcio se difunden al interior del alginato, de esta manera el gel de alginato se forma instantáneamente (Paques et al., 2014). Por otra parte, en el método de GI, se utiliza como especie reticulante una sal insoluble en agua (ej. CaCO_3) que se mezcla con la solución de alginato, a diferencia del método anterior, los iones calcio se liberan desde el interior de la mezcla, a partir de una disminución de pH, o bien, al aumentar la solubilidad de los iones calcio, se da la formación del gel a través de un proceso más lento comparado con la GE (Martínez Estrada, 2022).

En este contexto, nuestro trabajo se basó en el diseño y desarrollo de un gel post solar, compuesto por una alta concentración de gel natural *Aloe saponaria* y mentol como principio activo, con el fin de proporcionarle a sus propiedades refrescantes estabilidad durante un largo período de tiempo, encapsulando el mentol en una matriz biopolimérica, logrando que se disgregue y la liberación controla del principio activo.

Desarrollo

1. Obtención del extracto natural de *A. saponaria*

1.1 Material vegetal

El *A. saponaria* utilizado en este experimento fue extraído de una plantación orgánica localizada en Miramar, que se encuentra situada en el departamento San Justo, en la provincia de Córdoba

1.2 Extracción de *A. saponaria*

El extracto de *A. saponaria* se obtuvo en estado puro a partir de la capa interna de la hoja, mediante un proceso pelado mecánico donde se retira la corteza exterior, espinas y la capa de látex (aloína) intermedia entre la pulpa y la corteza. La pulpa se sometió a un proceso físico de molienda, luego se filtró, con el fin de lograr homogeneidad en el extracto, posteriormente se estabilizó inmediatamente con un conservante universal en una concentración del 1% P/V. Para denominar este extracto, se estableció el lote GAS3003.

2. Obtención de microcápsulas de mentol

2.1 Preparación de soluciones

Se preparó una solución alcohólica de mentol cristal al 2% m/v y una solución acuosa al 2% de alginato de sodio. Luego se agregó la solución de mentol a la solución de alginato de sodio, obteniéndose una solución de mentol al 0,1%.

2.2 Encapsulación del mentol

Una vez finalizada la mezcla de soluciones, se procedió a encapsular el mentol en cloruro de calcio al 4% m/v. La solución iónica sirve como medio para la formación de cápsulas de mentol. Este proceso ocurre siguiendo el método de gelificación externa (Lupo Pasin et al., 2012), la solución de mentol al 0,1% se introduce

en la solución de cloruro de calcio al 4% m/v, utilizando un atomizador, logrando la obtención de cápsulas de menor tamaño en comparación al que podría proporcionar una gota de la solución.

2.3 Caracterización de las microcápsulas

A las microcápsulas obtenidas se les realizó la siguiente caracterización:

Contenido de humedad: Se midió la cantidad de agua ligada que se desprende, a través del método gravimétrico, en estufa a 105°C hasta peso constante (AOAC, 1998).

Diámetro: Se registra utilizando un micrómetro manual Schwyz con un rango de medida entre 0 y 25 mm, y una precisión de 0,01 mm.

Comportamiento de hinchamiento: Para este ensayo, se someten las cápsulas de mentol a soluciones amortiguadoras con el fin de analizar cómo reacciona el biopolímero que contiene estos compuestos activos. Mediante esta determinación, se registró el tiempo en el que se degradó la cápsula y se comenzó a liberar el mentol.

3. Obtención del gel post solar con microcápsulas de mentol

3.1 Preparación y caracterización de gel post solar.

Inicialmente, se mezcló por agitación magnética el agua destilada con el gel de *A. saponaria*, luego se introdujo el gelificante seleccionado, alginato de sodio, muy lentamente para obtener una solución homogénea y evitar la acumulación de partículas del mismo. Seguidamente, se agregó 1 gota de colorante alimentario de tonalidad azul, glicerina que le confiere al gel propiedades hidratantes y protectoras cuando se aplica en la piel, y esencia de hierbas que aromatizó el producto. Por último, se introdujeron gotas de trietanolamina, con el objetivo de elevar el pH a valores cercanos a 7, donde el gel toma la consistencia y firmeza apropiadas.

Al gel post solar obtenido se le realizó la siguiente caracterización:

Determinación de pH: Se realizó mediante un peachímetro digital (Hanna, Combo waterproof).

Índice de refracción: Se empleó un refractómetro (Ludwig 2WAJ).

Densidad: Se usó un densímetro (MIV, 0,800-1,100).

Conductividad: Se realizó mediante un conductímetro digital (Hanna, Combo waterproof).

3.2 Agregado de microcápsulas

Las perlas de alginato de sodio con mentol en su interior se introdujeron lentamente al gel post solar preparado en el punto 3.1, mediante constante agitación, para lograr una distribución homogénea de las mismas obteniendo el producto final. Luego se refrigeró y después de un breve tiempo a baja temperatura, el producto quedó listo para su uso.

Resultados

1. Cápsulas Biopoliméricas

Contenido de sólidos totales: A partir de la Ec. 1 se calculó el contenido de humedad de una muestra de 1 g de microcápsulas. Las mismas fueron llevadas a estufa a 105° C hasta alcanzar una masa constante. Teniendo en cuenta el valor inicial y final de la masa de las microcápsulas (m_o y m_f respectivamente), se obtiene un contenido de sólidos totales de 0,515 %. Este dato interesa ya que, tanto el contenido de sólidos totales como la proporción del material de la pared, influyen sobre las características y propiedades funcionales de las cápsulas (Muchiutti et al., 2019).

$$ST (\%) = \left(1 - \frac{m_o - m_f}{m_o}\right) 100\% = 0,515 \% \quad (1)$$

Diámetro: Luego de medir el diámetro de una muestra de cápsulas, fue posible obtener un diámetro promedio de 4,54 mm con un desvío estándar de 0,22 mm. Este resultado coincide con lo reportado por (Degreef, 2023) en el que se explica que, al producir pequeñas gotas de una suspensión del compuesto de interés en un hidrocoloide, como es el alginato, y el cual es forzado a pasar a través de una boquilla que se gotea sobre una solución de CaCl_2 , las dimensiones obtenidas pueden variar entre 2 y 5 mm, dependiendo del diámetro de salida de la boquilla, la altura de goteo, la velocidad de agitación y la viscosidad.

Comportamiento de hinchamiento: En el análisis al comportamiento de hinchamiento, se determinó que las cápsulas son más estables en condiciones básicas, moderadamente estables en condiciones neutras y menos estables en condiciones ácidas, ya que en la solución de pH 4, se disolvió al cabo de 5 minutos, mostrando la mayor y más rápida disminución en la masa. La relación masa/tiempo se observa en la Fig. 3.

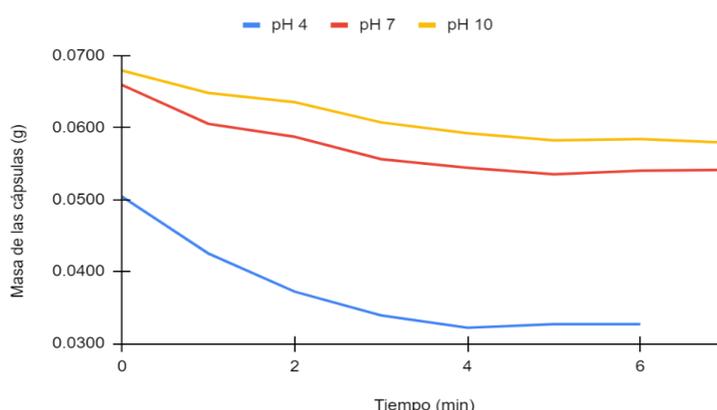


Figura 3. Comportamiento de hinchamiento, relación masa/tiempo.

De acuerdo con el análisis de hinchamiento, un parámetro relevante para evaluar la capacidad de las cápsulas en retener y liberar sustancias de manera controlada (Guevara-cordova, Fernando; Gomez-Luna, 2023); en la solución de pH 10 las cápsulas adquirieron una capacidad de absorción menor, pudiendo concluir de esta manera que las cápsulas son más resistentes a la absorción de líquido y a la desintegración en un entorno básico.

2. Gel Post Solar

Determinación de la densidad, pH, índice de refracción y conductividad: Los valores obtenidos se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Parámetros determinados

Densidad	pH	Índice de Refracción	Conductividad
1,0365 g/ml	5,65	1,339	1,91 mS

Conclusiones

En el presente trabajo se obtuvo un gel post solar con un extracto natural de *A. saponaria* y mentol como principios activos. El producto obtenido demostró poseer excelentes propiedades térmicas, estabilizantes y protectoras de la piel. Además, su aspecto es visualmente agradable, de consistencia no pegajosa y posee un aroma atractivo. De manera que, la técnica de encapsulación con alginato desarrollada, permitió la protección del mentol en cápsulas cuyo diámetro medio fue de $4,54 \pm 0,22$ mm, valores que están dentro de lo esperable para una cápsula con estabilidad mecánica para el proceso de encapsulación aplicado.

Agradecimientos

Los autores agradecen el financiamiento otorgado por la Universidad Tecnológica Nacional mediante el Proyecto de Investigación y Desarrollo PAPPSF0008588.

Referencias

Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN (AJEA) (2024). Normas de Publicación. Disponible en <<https://rtyc.utn.edu.ar/index.php/ajea/normas>>.

- Frent, O. D., Vicas, L. G., Duteanu, N., Morgovan, C. M., Jurca, T., Pallag, A., Muresan, M. E., Filip, S. M., Lucaciu, R. L., & Marian, E. (2022). Sodium Alginate—Natural Microencapsulation Material of Polymeric Microparticles. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(20). <https://doi.org/10.3390/ijms232012108>
- Gómez, B., Barba, F. J., Domínguez, R., Putnik, P., Bursac Kovačević, D., Pateiro, M., Toldrá, F., & Lorenzo, J. M. (2018). Microencapsulation of antioxidant compounds through innovative technologies and its specific application in meat processing. *Trends in Food Science and Technology*, 82, 135–147. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.10.006>
- Guevara-cordova, Fernando; Gomez-Luna, B. E. H.-M. R. (2023). *Caracterización de cápsulas a base de alginato de sodio y carboximetilcelulosa para la encapsulación de rizobacterias* *Characterization of sodium alginate and carboxymethylcellulose beads for the encapsulation of Resumen Introducción Metodología*. 1–6.
- Lourith, N., & Kanlayavattanukul, M. (2023). Sustainable approach to natural makeup cosmetics containing microencapsulated butterfly pea anthocyanins. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 32, 101005. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101005>
- Martínez Estrada, V. M. (2022). *Desarrollo y evaluación in vitro de un implante hormonal de liberación prolongada para la inducción del desove en peces*. 78.
- Muchiutti, G. S., López Novello, L. H., Córscico, F. A., & Larrosa, V. J. (2019). Cápsulas de alginato para la protección de polifenoles presentes en el aceite esencial de orégano. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 30(59 nov-abr), 297–309. <https://doi.org/10.33255/3059/687>
- Nava Reyna, E., Michelena Álvarez, G., Iliná, A., & Martínez Hernández, J. L. (2015). Microencapsulación de componentes bioactivos. *Investigación y Ciencia de La Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 66, 64–70. <https://doi.org/10.33064/iycuaa2015663571>
- Pedrali, D., Scarafoni, A., Giorgi, A., & Lavelli, V. (2023). Binary Alginate-Whey Protein Hydrogels for Antioxidant Encapsulation. *Antioxidants*, 12(6), 1–17. <https://doi.org/10.3390/antiox12061192>
- Phunpee, S., Saesoo, S., Sramala, I., Jarussophon, S., Sajomsang, W., Puttipipatkajorn, S., Soottitantawat, A., & Ruktanonchai, U. R. (2016). A comparison of eugenol and menthol on encapsulation characteristics with water-soluble quaternized β -cyclodextrin grafted chitosan. *International Journal of Biological Macromolecules*, 84, 472–480. <https://doi.org/10.1016/j.IJBIOMAC.2015.11.006>
- Ramirez, A., Benítez, J. L., De Astudillo, L. R., & De Gáscue, B. R. (2016). Materiales polimeros de tipo hidrogeles: Revisión sobre su caracterización mediante FTIR, DSC, MEB y MET. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 36(2), 108–130.
- Turek, C. and Stintzing F. C. (2013). Stability of Essential Oils: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(1), 40-53. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12006>
- Silva, M. A., Trevisan, G., Klafke, J. Z., Rossato, M. F., Walker, C. I. B., Oliveira, S. M., Silva, C. R., Boligon, A. A., Flores, F. C., Silva, C. D. B., Athayde, M. L., & Ferreira, J. (2013). Antinociceptive and anti-inflammatory effects of Aloe saponaria Haw on thermal injury in rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 146(1), 393–401. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2012.12.055>

Contenido de polifenoles totales en aceites de *Cannabis sativa*

Total polyphenols content in *Cannabis sativa* oils

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Sofía I. Ruiz Miraglio

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Ingeniería de Procesos Sustentables, San Francisco, (2400), San Francisco, Argentina.
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina.
sruizmiraglio@facultad.sanfrancisco.utn.edu.ar

Matías Raspo

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Ingeniería de Procesos Sustentables, San Francisco, (2400), San Francisco, Argentina.
Centro Regional de Educación Superior San Francisco, (2400), San Francisco, Córdoba, Argentina.
IAPC Básicas y Aplicadas, Universidad Nacional de Villa María, (5900) Villa María, Argentina.
mraspo@sanfrancisco.utn.edu.ar

Nicolás Gañan

IPQA-Universidad Nacional de Córdoba-CONICET, (5000), Córdoba, Argentina.
nico.ganan@gmail.com

Alfonsina E. Andreatta

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Ingeniería de Procesos Sustentables, San Francisco, (2400), San Francisco, Argentina.
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina.
aandreatta@sanfrancisco.utn.edu.ar

Resumen

Cannabis sativa, es conocida por sus propiedades medicinales desde 2700 a.C. Estas propiedades se les atribuyen a familias químicas, como terpenos, polifenoles y fitocannabinoides. El presente trabajo tiene como objetivo evaluar los polifenoles totales de 6 aceites disponibles de *Cannabis* y sus carriers utilizando la metodología Folin ciocalteu con algunas modificaciones. Los resultados se expresaron en mg de ácido gálico/ mg de aceite. Los resultados muestran variaciones en la concentración de polifenoles en los diferentes aceites disponibles de *Cannabis*, que pueden deberse a diferencias en su composición química y procesamiento. Estos mismos aceites fueron evaluados en su actividad antimicrobiana frente a bacterias *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 y ATCC 29213 y *Escherichia coli* ATCC 25922. Ninguna inhibición han demostrado tener estos aceites.

Palabras clave: Resina de *Cannabis sativa*, polifenoles totales, aceite Carrier, inhibición.

Abstract

Cannabis sativa has been known for its medicinal properties since 2700 b.C. These properties are attributed to chemical families such as terpenes, polyphenols and phytocannabinoids. The aim of this work is to evaluate the total polyphenols content of 6 available *Cannabis sativa* oils and their carriers using the Folin ciocalteu methodology with some modifications. The results were expressed in mg of gallic acid/mg oil. The results show

variations in the concentration of polyphenols in the different *Cannabis* oils available, which may be due to differences in their chemical composition and processing. These oils were evaluated for their antimicrobial activity against *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 and ATCC 29213 and *Escherichia coli* ATCC 25922 bacteria. These oils have not been shown to have any inhibition.

Key words: *Cannabis sativa* resin, total polyphenols, carrier oil, inhibition.

Introducción

Cannabis sativa, es una angiosperma perteneciente a la familia de las *Cannabaceae*, especie sativa con las subespecies sativa, indica, ruderalis. Es conocida con varios nombres a nivel mundial como marihuana en América. (ElSohly et al., 2017). Desde alrededor del año 2700 a.C., se ha reconocido su valor medicinal debido a sus diversas propiedades como antiinflamatoria, anticonvulsivante, analgésico, sedante y antimicrobiana. Estas, se atribuyen a las diversas familias químicas que componen la planta, tales como terpenos, polifenoles, aminoácidos y fitocannabinoides. Se sabe que los cannabinoides y los terpenos interactúan de manera sinérgica, potenciando así los efectos fisiológicos del *Cannabis* (Chacón, 2020).

Los polifenoles son metabolitos secundarios presentes en una amplia variedad de plantas, constituyendo el grupo más extenso de fitoquímicos. Estos compuestos se sintetizan como parte del metabolismo secundario de las plantas y desempeñan diversas funciones biológicas fundamentales. Entre estas funciones se incluyen el transporte de hormonas, la atracción de agentes polinizadores, la dispersión de semillas y la protección contra el daño oxidativo (Dueñas, 2017). Estructuralmente, los polifenoles se caracterizan por poseer uno o más anillos de benceno y uno o más grupos hidroxilo, a menudo acompañados de elementos comunes como ésteres, ésteres de metilo y glicósidos. Estos compuestos exhiben propiedades beneficiosas para la salud, siendo la actividad antioxidante una de las más destacadas. Los polifenoles se clasifican en tipos distintos, siendo los más conocidos los flavonoides, los fenoles no flavonoides y los ácidos fenólicos.

La cantidad de compuestos polifenólicos y tipos presentes en una especie vegetal, varía en función de la especie, variedad, parte del vegetal utilizado (fruto, semillas, brotes, hojas), horas de exposición solar, grado de madurez, condiciones cultivo, procesado, condiciones de almacenamiento, etc. (García et al., 2015)

Los polifenoles presentes en la planta de *Cannabis* se encuentran principalmente en sus hojas, tallos y flores. Estos compuestos juegan un papel importante en los efectos medicinales atribuidos al *Cannabis*, incluyendo la reducción del estrés oxidativo en el cuerpo y la potencial protección contra enfermedades crónicas como el cáncer, las enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas. Además, los polifenoles pueden influir en el sabor, el aroma y la calidad general de la planta. Específicamente, los flavonoides, un tipo de polifenoles, también presentes en el *Cannabis*, pueden ayudar a mitigar los efectos secundarios del tetrahidrocannabinol (Perez, 2018).

Por su parte, la resistencia a los antibióticos es uno de las mayores preocupaciones en el área de salud, debido a la adaptación de los patógenos (Translated et al., 2018). Este continuo crecimiento ha justificado la búsqueda de nuevos agentes antimicrobianos y es por eso que se han investigado los extractos de plantas como posibles antimicrobianos por la presencia de una amplia gama de metabolitos secundarios que le confieren esta propiedad.

El objetivo de esta investigación fue determinar el contenido de polifenoles totales presentes en 6 aceites disponibles de *Cannabis sativa* que fueron preparados a través de la dilución de la resina en un aceite vegetal utilizado como carrier. Cada uno de los aceites carriers también fue analizado como blanco de la determinación. Además, se determinó la actividad antimicrobiana frente a bacterias *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 y ATCC 29213 y *Escherichia coli* ATCC 25922 tanto para los aceites con *Cannabis* y sus respectivos carriers. Para la determinación de polifenoles totales se utilizó la metodología de Folin Ciocalteu con algunas modificaciones (Ivanova et al., 2011) mientras que la actividad antimicrobiana se realizó mediante el método de difusión en agar (Malbrán, 2012).

Desarrollo

Aceite de *Cannabis sativa*

La determinación de polifenoles totales se llevó a cabo sobre 6 aceites disponibles que contienen *Cannabis sativa*: Kanbis® del laboratorio Elea (cannabidiol 100mg/ml), aceite de *Cannabis full spectrum* de Aa (200mg), aceite *full spectrum* de L+(200mg), aceite sativa *full spectrum* de EBo, aceite *full spectrum* puro CBD de EBo y aceite CBD de L (5.35% CBD).

Aceite carrier

Los aceites de *Cannabis sativa* presentan un aceite vegetal como aceite carrier o aceite conductor. El aceite de *Cannabis full spectrum* de Aa posee como carrier el aceite de cadena media de triglicéridos (MCT), el aceite sativa *full spectrum* y el aceite *full spectrum* puro CBD de EBo poseen como carriers a el aceite de oliva; el aceite Kanbis® del laboratorio Elea y aceite CBD de L tienen como carrier el aceite de sésamo, mientras que el aceite *full spectrum* del L+ el aceite de uva. Por este motivo, se utilizaron los siguientes aceites carriers como referencia: aceite MCT proporcionado por Aa, aceite de oliva (Cocinero, Buenos Aires), aceite de sésamo (Solazteca, Buenos Aires), y aceite de uva (Cedro azul, Mendoza), estos últimos adquiridos comercialmente.

Determinación del contenido total de polifenoles

Para la preparación de la muestra diluida, se pesó la pequeña cantidad de la presentación disponible de *Cannabis sativa* y se diluyó en un volumen conocido de dimetilsulfoxido.

Para determinar los polifenoles totales en los diferentes aceites disponibles de *Cannabis sativa* y sus respectivos carriers, se empleó la metodología de Folin Ciocalteu descrito por (Ivanova et al., 2011) con adaptaciones. En un tubo de ensayo se añadió 1 mL de muestra diluida en 5 mL de agua destilada, seguido de 0,2 mL del reactivo de Folin-Ciocalteu, dejándolo reposar durante 3 minutos. Posteriormente, se adicionaron 1,5 mL de una solución acuosa de carbonato de sodio al 5 % (p/p) y se ajustó el volumen final a 10 mL con agua destilada. La mezcla fue sometida a ultrasonido a 50°C durante 20 minutos y luego se enfrió a temperatura ambiente. Finalmente, se determinó la absorbancia a 765 nm utilizando un espectrofotómetro UV-visible. La concentración de polifenoles totales se calculó utilizando una curva estándar de ácido gálico y los resultados se expresaron como mg de ácido gálico/mg de aceite.

Determinación de la actividad antimicrobiana

La actividad antimicrobiana se evaluó mediante el método de difusión en agar midiendo el diámetro de la zona de inhibición producida por un disco de papel de filtro embebido con 5 µL de aceite con *Cannabis sativa* (Malbrán, 2012). Cada uno de sus carriers también fue evaluado. Las bacterias ensayadas fueron *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, ATCC 29213 (Gram +) y *Escherichia coli* ATCC 25922 (Gram -).

Se prepararon suficientes cajas de Petri con una superficie de tripteína de soja agarizada previamente inoculada con cada una de las bacterias estudiadas. El ensayo se realizó por triplicado. El inóculo se preparó siguiendo el método de suspensión directa de colonias en solución salina para obtener una densidad de 0,5 en la escala de Mc Farland; (McFarland, 1907) que se corresponde, aproximadamente con una concentración de $1,5 \times 10^8$ UFC/mL. Se aplicó el inóculo con un hisopo embebido en la solución estandarizada y se distribuyó uniformemente sobre el medio de cultivo agarizado. Se colocaron sobre la superficie inoculada los discos de 5 mm de diámetro papel de filtro y se embebieron con 5µL para cada uno de los aceites con *Cannabis sativa*. El mismo procedimiento se realizó para los carriers (control negativo) y para una concentración de amoxicilina conocida (control positivo). Posteriormente, las cajas de Petri se incubaron a 37 grados 24 horas y se observó formación o no de una zona de inhibición alrededor de los discos.

Resultados

La Tabla 1, muestra la cantidad de polifenoles totales para los 4 aceites carriers (MTC, oliva, sésamo y uva), juntamente con los aceites de *Cannabis sativa* formulados con cada uno de ellos. Los valores representan el promedio de tres mediciones, el desvío estándar y el coeficiente de variación porcentual. De la observación de los valores, se puede inferir que los aceites con *Cannabis sativa* han aumentado el contenido de polifenoles totales respecto a sus carriers. Los resultados muestran variaciones en la concentración de polifenoles en los diferentes aceites disponibles de *Cannabis sativa*, que pueden deberse a diferencias en su composición química y procesamiento.

Tabla 1. Polifenoles totales en aceites carriers y aceites disponibles con *Cannabis sativa* ^a

Tipo de Aceite	Carrier/ aceite con <i>Cannabis sativa</i>	Polifenoles totales (mg de ácido gálico/mg de aceite)	CV%
Carrier	Aceite MCT	0,00662 ± 0,00022	3,32
Aceite con <i>Cannabis</i>	Full spectrum Aa	0,01779 ± 0,00047	2,66
Carrier	Aceite de oliva	0,00227 ± 0,00006	2,49
Aceite con <i>Cannabis</i>	Full spectrum puro CBD EBo	0,00258 ± 0,00010	3,75
Aceite con <i>Cannabis</i>	Sativa full spectrum EBo	0,00287 ± 0,00012	4,33
Carrier	Aceite de sésamo	0,00419 ± 0,00028	6,66
Aceite con Cannabidiol	Kanbis®	0,00697 ± 0,00017	2,49
Aceite con <i>Cannabis</i>	CBD L	0,01736 ± 0,00087	5,02
Carrier	Aceite de Uva	0,00886 ± 0,00048	5,37
Aceite con <i>Cannabis</i>	Full spectrum L+	0,01071 ± 0,00026	2,41

a. Promedio de tres mediciones ± desvío standard.

En cuanto a la evaluación de la actividad antimicrobiana de cada uno de estos aceites, se observó que ninguno de ellos presentó halo de inhibición al igual que los controles negativos de los carriers siendo el control positivo para la amoxicilina el único que dio inhibición. Posiblemente, se debe a que estas presentaciones disponibles contienen muy bajo contenido de los compuestos cannabinoides a los cuales se les atribuye esta capacidad.

La Figura 1, muestra el ensayo antimicrobiano para el aceite *full spectrum* L+ frente a *Staphylococcus aureus* ATCC 29213 (a) y *Escherichia coli* ATCC 25922 (b). Para ambas bacterias, se observa que el aceite no presentó inhibición, siendo el control positivo la concentración de amoxicilina (c).



Figura 1. Ensayo antimicrobiano para el aceite *full spectrum* L+ frente a *Staphylococcus aureus* ATCC 29213 (a) y *Escherichia coli* ATCC 25922 (b). Control positivo para una solución con amoxicilina (c).

En este sentido, el cannabidiol, ha sido objeto de estudio en relación con su actividad antimicrobiana. Sin embargo, los resultados de diversas investigaciones muestran una imagen mixta sobre su eficacia. Si bien, algunos estudios han sugerido que el cannabidiol aislado puede tener propiedades antimicrobianas, (Lakes et al., 2024), estos hallazgos no son consistentes en todas las investigaciones. Un estudio específico indica que el cannabidiol no mostró actividad antimicrobiana significativa contra los microorganismos *Cutibacterium acnes*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pyogenes* y *Staphylococcus epidermidis* en las concentraciones ensayadas (Roa Robles, 2022).

Sin embargo, extractos de *Cannabis* en contraste con el cannabidiol aislado, han demostrado una mayor actividad antimicrobiana. El estudio de Jacobi Pacheco et al., (2023) indica que los aceites de *Cannabis* pueden tener efectos significativos contra varias cepas bacterianas, incluyendo algunas Gram positivas y Gram negativas (*S. aureus* - ATCC 25923, *K.pneumoniae* - ATCC 700603, *E.coli* - ATCC 25922, *P.aeruginosa* - ATCC 27853). También, diversas investigaciones han demostrado que los cannabinoides presentes en extractos de *Cannabis* tales como cannabidiol, cannabichromene, cannabigerol, Δ^9 -tetrahydrocannabinol y cannabinol presentan en diferentes grados, actividad antimicrobiana frente a *Staphylococcus aureus* resistentes a la meticilina (Appendino et al., 2008). Esto sugiere que la combinación de compuestos en extractos completos podría ser más efectiva que el uso del cannabidiol aislado.

Además, en la literatura se ha encontrado que los extractos de *Cannabis* poseen un efecto antimicrobiano mayor frente a bacterias Gram positivas que a bacterias Gram negativas; atribuida a la diferencia que existe en la estructura de la pared celular de las mismas siendo la pared celular de las Gram negativas una membrana externa formada por una capa de liposacáridos junto a proteínas que actúan de barrera dificultando la difusión de los agentes antimicrobianos (Tandon, C. 2017; Kaur et al., 2015; KR, Kirtikar y BS, 1968)

Conclusiones

Los resultados del contenido de polifenoles totales, proporcionan información relevante sobre la composición química de los aceites de *Cannabis sativa* disponibles, destacando diferencias que pueden influir en sus propiedades terapéuticas y beneficios potenciales para la salud. Se puede observar, además, que el agregado de resina de *Cannabis sativa* a los aceites carriers aumenta el contenido de polifenoles totales en todas las muestras. Se prevé ampliar la caracterización de estos aceites en contenido de terpenoides y actividad antioxidante. Además, se puede decir, que estos aceites disponibles con *Cannabis sativa* no han presentado actividad antimicrobiana frente a bacterias *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 y ATCC 29213 y *Escherichia coli* ATCC 25922, posiblemente por su bajo contenido de cannabinoides dado que se encuentran diluidos en sus respectivos aceites carriers.

Podemos decir, que, aunque hay indicios de que el cannabidiol podría tener alguna actividad antimicrobiana, especialmente contra bacterias Gram positivas, la evidencia no es concluyente y varía según el estudio y la metodología utilizada. Sin embargo, a diferencia del cannabidiol aislado, los aceites de cannabis pueden tener efectos significativos contra varias cepas bacterianas, incluyendo algunas Gram positivas y Gram negativas. Para obtener resultados más consistentes sobre la actividad antimicrobiana de los extractos, se requieren más investigaciones que consideren diferentes concentraciones y combinaciones de compuestos presentes en el *Cannabis*.

Referencias

- Appendino, G., Gibbons, S., Giana, A., Pagani, A., Grassi, G., Stavri, M., Smith, E., & Rahman, M. M. (2008). Antibacterial cannabinoids from *Cannabis sativa*: A structure-activity study. *Journal of Natural Products*, 71(8), 1427–1430. <https://doi.org/10.1021/np8002673>
- Chacón, S. (2020). Efecto antibacteriano in vitro del aceite esencial de *Cannabis sativa* sobre *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 comparado con Gentamicina. 1–42.
- C.Tandon. (2017). *Cannabis sativa* L. (Bhang): A possible source of new antibacterial medicament. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 44(2), 221–227.

- Dueñas, J. (2017). Optimización de las condiciones de extracción de compuestos fenólicos a partir de cascara de uva variedad quebranta(ICA, PERU). Empleando técnicas convencionales y extracción asistida por ultrasonido. *Tesis Para El Grado de Magister En Química. Pontificia Universidad Católica Del Perú*.
- ElSohly, M. A., Radwan, M. M., Gul, W., Chandra, S., & Galal, A. (2017). Phytochemistry of Cannabis sativa L. In *Progress in the chemistry of organic natural products* (Vol. 103). https://doi.org/10.1007/978-3-319-45541-9_1
- García, E., Fernández, I., & Fuentes, A. (2015). Determinación de polifenoles totales por el método de Folin- Ciocalteu. *Etsiamn*, 9.
- Ivanova, V., Dörnyei, Á., Márk, L., Vojnoski, B., Stafilov, T., Stefova, M., & Kilár, F. (2011). Polyphenolic content of Vranec wines produced by different vinification conditions. *Food Chemistry*, 124(1), 316–325. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.039>
- Jacobi Pacheco, T., Gauto Lesme, M. H., & Meireles Duarte, G. F. (2023). Evaluación de la Actividad Antibacteriana In Vitro de los Aceites de Cannabis Indica y Cannabis Híbrida Frente a Cepas de Microorganismos: Evaluación de la Actividad Antibacteriana In Vitro de los Aceites de Cannabis Indica y Cannabis Híbrida Frente a Cepas de Microorganismos. *Revista MEDUCP*, 3(5), 55–60. <https://doi.org/10.59085/2789-7818.2023.74>
- Kaur, S., Sharma, C., Chaudhry, S., & Aman, R. (2015). Antimicrobial potential of three common weeds of kurukshetra: An in vitro study. *Research Journal of Microbiology*, 10(6), 280–287. <https://doi.org/10.3923/jm.2015.280.287>
- KR, Kirtikar y BS, B. (1968). *Plantas medicinales Indias*.
- Lakes, J. E., Ferrell, J. L., Berhow, M. A., & Flythe, M. D. (2024). Antimicrobial effects of cannabidiol on select agriculturally important Clostridia. *Anaerobe*, 87, 102843. <https://doi.org/10.1016/J.ANAEROBE.2024.102843>
- Perez, F. M. (2018). *Optimización De La Obtención Del Extracto Hidroalcohólico De Las Influrencias De Cannabis*. 1–108.
- Roa Robles, J. (2022). *Efecto antimicrobiano del aislado de CBD y aceite de CBD full spectrum en microorganismos causantes del acné*. Pontificia Universidad Javeriana.

Aplicaciones del modelo atómico de electrones en capas

Applications of the electron shell atomic model

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Matías Alejandro Raspo

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina
mraspo@sanfrancisco.utn.edu.ar

Silvina Soledad Guzmán

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina
silvyguzman@hotmail.com

Edgardo Remo Benvenuto Pérez

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina
remoben@hotmail.com

Resumen

El modelo de electrones en capas es un enfoque inicial para describir la disposición de los electrones en un átomo neutro, que permite justificar, por ejemplo, propiedades periódicas de los elementos químicos (analogías electrónicas), uniones entre partículas, tanto átomos como moléculas, reacciones redox. En este trabajo, se aplica el modelo de capas de electrones a las leyes naturales de Rydberg y Moseley para analizar las propiedades periódicas, carga nuclear efectiva y energía de ionización. Los resultados muestran una correlación cuantitativa entre las frecuencias de los espectros de rayas y las energías de ionización con las leyes mencionadas, lo cual valida el modelo de capas electrónicas y su aplicación en la química periódica. Además, se justifica cualitativamente las propiedades periódicas de los elementos y las uniones químicas, proporcionando un marco coherente para entender la estabilidad y los espectros electromagnéticos discontinuos de los átomos.

Palabras clave: Espectro electromagnético, Propiedades periódicas, Ley de Rydberg, Ley de Moseley

Abstract

The electron shell model is an initial approach for describing the arrangement of electrons in a neutral atom, which allows for the justification of periodic properties of chemical elements (electronic analogies), bonding between particles, both atoms and molecules, and redox reactions. In this study, the electron shell model is applied to Rydberg and Moseley's natural laws to analyze periodic properties, effective nuclear charge, and ionization energy. The results show a quantitative correlation between the frequencies of line spectra and ionization energies with the aforementioned laws, thereby validating the electron shell model and its application in periodic chemistry. Additionally, the periodic properties of elements and chemical bonding are qualitatively justified, providing a coherent framework for understanding the stability and discontinuous electromagnetic spectra of atoms.

Keywords: Electromagnetic spectrum, Periodic properties, Rydberg law, Moseley law

Introducción

El átomo es la partícula eléctricamente neutra de un elemento químico (EQ) indivisible en un fenómeno químico electrónico o clásico (no nuclear). Un átomo aislado AtA tiene igual número o cantidad de electrones, e^- , y de protones, p^+ , (Z).

En el siglo XIX se descubrió que los átomos emitían un espectro electromagnético de rayas. Los espectros de rayas elementales del hidrógeno, H, y de los “iones hidrogenoides” (iones con 1 e^-), lógicamente desordenados de un fenómeno complejo, sin embargo, cumplen con una ley natural matemática simple (Rydberg, 1890).

El descubrimiento del electrón, e^- , partícula elemental con carga eléctrica negativa que se detecta en toda la materia, exigió la propuesta de modelos atómicos con cargas eléctricas positivas. Al descubrirse el núcleo positivo del átomo, se propone el modelo planetario: núcleo Sol (+) – electrones (e^-) planetas. ¿Pero cómo están ordenados los electrones?

Según la Física Clásica, los electrones, e^- , girando alrededor del núcleo deberían emitir o perder energía como radiación electromagnética, EM, luego los átomos no serían estables (no existirían), los electrones deberían colapsar en el núcleo, la radiación electromagnética (radEM) detectada sería el espectro EM continuo (arco iris), pero es evidente lo contrario: los átomos son estables y tienen un espectro EM discontinuo (de rayas). En 1913 N. Bohr propone el modelo clásico-cuántico (Bohr, 1913).

Los rayos X, que permiten las radiografías y que fueron descubiertos por Röntgen en 1895, son radEM no visibles de longitud de onda (λ) entre 10^{-8} y 10^{-11} m (ancho de banda) que se producen al chocar los rayos catódicos con un cuerpo sólido que se llama anticátodo (blanco). El sólido (anticátodo) emite radEM no visibles llamadas rayos X dependen de los elementos químicos EQ en el anticátodo (Moseley, 1914).

Analizando, por ejemplo, comportamientos químicos, propiedades de los gases nobles, en 1923 N. Bohr, W. Kossel y G. Lewis proponen un modelo de constitución electrones en capas: no 1 electrón e^- por capa ni todos los electrones e^- en una capa.

Cada capa se identifica con un número n (número cuántico de Bohr, la primera capa interior $n = 1$, etc.), la cantidad de e^- en cada capa es variable, la cantidad máxima de e^- en cada capa es $2n^2$: $n = 1$, $2 e^-$; $n = 2$, $8 e^-$; $n = 3$, $18 e^-$; $n = 4$, $32 e^-$; etc.

Las propiedades periódicas que se indican a continuación se refieren a que después de un número variable de elementos químicos EQ, la propiedad se repite aproximadamente (tendencia periódica). Estas son propiedades de los átomos aislados AtA o de cuerpos simples, y dependen de las Capas de Electrones Exteriores (CEE): carga nuclear efectiva (Z_{ef}), estado de oxidación (EdeO), electronegatividad (Elng), radio atómico (RAtom), energía de ionización (E_{ion}) y afinidad electrónica (AfE).

Desarrollo

En 1888 J. Rydberg (1854-1919) propone empíricamente una ecuación matemática simple para el espectro elemental de rayas del átomo de H:

$$\frac{1}{\lambda} = R_L \left[\frac{1}{n_x^2} - \frac{1}{n_y^2} \right]$$

λ es longitud de onda; R_L [1/m] constante de Rydberg (calculada empíricamente con los datos experimentales); n_x y n_y números enteros positivos: cada par de números enteros positivos n_x y n_y corresponde a una λ del espectro elemental del átomo de H, con $n_x < n_y$.

Por ejemplo, si $n_x=2$ y $n_y=3$, se obtiene la longitud de onda λ de la raya roja del espectro elemental del átomo de H llamada Balmer α (656 nm).

El modelo planetario del átomo es incompatible con las leyes de la Física Clásica. Cualquier modelo atómico debe justificar que los átomos son estables y tienen un espectro electromagnético discontinuo o de rayas.

En 1913, Niels Bohr (1885-1962) propuso un modelo cuántico-clásico para el átomo más simple, el átomo de H, formado por 1 protón p^+ y 1 electrón e^- .

Los postulados del modelo de Bohr son:

- el único electrón gira en órbitas circulares y cualquiera sea la órbita, no emite E ni radEM (órbitas estacionarias), luego no se cumplen las leyes de la Física Clásica.
- únicamente algunas órbitas estacionarias son permitidas, cada órbita permitida se identifica con un número entero n ($n = 1, 2, 3, \dots, \infty$), llamado número cuántico principal, cada órbita tiene una energía, E , constante determinada. La órbita de menor energía E es para $n = 1$ (primera órbita interior: estado

fundamental). La energía E del electrón e^- es positiva cuando sale del átomo (e^- libre) y negativa en el interior (e^- con vínculo). La E para el único electrón del átomo de H es:

$$E = -\frac{k}{n^2}$$

Si $n = \infty$, $E = 0$; si $n = 1$, $E = -k$ (estado fundamental de menor E).

- cuando el electrón cambia de órbita desde un estado inicial EI (n_i) a un estado final EF (n_f), hay una variación de energía, ΔE . La variación de ΔE es 1 fotón de frecuencia, ν , según la ley de Planck:

$$\Delta E = h \cdot \nu \quad (h: \text{cte. de Planck}).$$

Cada “salto” o cambio de órbita del electrón es energía ΔE intercambiada en fotones:

$$\Delta E = E_F - E_I = -k \left[\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right] = h\nu$$

Por ejemplo, si el cambio de órbita es E_3 (EI) a E_1 (EF), la E es emitida o perdida, negativa para el átomo (y positiva para el medio ambiente):

$$E_1 - E_3 = -\Delta E = -h\nu \quad (\text{para 1 átomo})$$

Si el cambio es al contrario, es decir de E_1 a E_3 , el mismo valor de energía E es absorbida o ganada, positiva para el átomo (negativa para el medio ambiente). Si la energía E del electrón no es la mínima, $n > 1$ ($n = 1$: estado fundamental, máximo valor negativo), el electrón esta excitado:

$$E > E_{min}$$

El modelo de Bohr justifica el espectro atómico elemental de rayas del átomo de H y calcula teóricamente el valor empírico de la constante de Rydberg, pero no el espectro no elemental (multiplicidad de rayas) del H, ni el de átomos con más de un electrón, además es incoherente con el modelo de Lewis de las uniones entre átomos (UA), aún para la UA simple H-H, una UA simple es un par de electrones compartidos (peC), clásicamente 2 electrones e^- se deberían repeler y no unir 2 átomos de H:



Una verificación fundamental del modelo de Bohr es que el valor de la constante de Rydberg R_L obtenida empíricamente con los resultados experimentales de los espectros elementales, se calcula teóricamente con el modelo de Bohr, es el valor de k (R_L) en la expresión $E = -k/n^2$.

En la Ley de Rydberg para el H (y los iones hidrogenoides) el número cuántico n determina la energía E de la órbita estacionaria:

$$E = -R_E \cdot \frac{Z^2}{n^2} \quad (R_E : \text{constante de Rydberg [J]}; Z : \text{número atómico})$$

Aplicando el modelo de Planck, la energía de 1 fotón es:

$$E = h\nu = hc/\lambda \quad [\text{J/fotón}]$$

Según el modelo de Bohr:

$$\Delta E = E_F - E_I = h\nu = hc/\lambda$$

$$\Delta E = h \cdot \nu = R_E \cdot Z^2 \left[\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right]$$

Para el H y los iones hidrogenoides, se cumple:

$$\Delta E = R_E \cdot Z^2 \left[\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right]$$

$$\frac{1}{\lambda} = R_L \cdot Z^2 \left[\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right]$$

λ es longitud de onda; ΔE : energía del fotón; R_E : constante de Rydberg (en unidades de E [J] o $R_L = R_E/h \cdot c$ en unidades de longitud de onda λ [1/m]); n_i y n_f números enteros, son los números cuánticos de los estados inicial y final (EI y EF); Z : número atómico, cantidad de p^+ en el núcleo del átomo (Ley de Moseley).

Los rayos X, descubiertos por Röntgen en 1895, son radiaciones electromagnéticas EM no visibles de longitud de onda λ entre 10^{-8} y 10^{-11} m (ancho de banda) que se producen al chocar los rayos catódicos con un cuerpo sólido que se llama anticátodo (blanco). El sólido (anticátodo) emite radEM no visibles llamadas rayos X de dependen de los EQ en el anticátodo.

En 1914 Henry Moseley (1887-1915) descubrió una ley natural para la frecuencia ν de los rayos X emitidos:

$$\nu^{1/2} = A(Z - Z_o) \quad (A=\text{cte.}; Z=\text{número entero}; Z_o=\text{cte.})$$

Esta ley es un ejemplo muy importante de los conceptos de medir (ν) y contar indirectamente un número entero Z , que es el número o cantidad de protones p^+ en el núcleo. La frecuencia, ν , se puede medir con baja

desconfianza y con la ley de Moseley se obtiene Z que es el número de p^+ que determina a que elemento químico EQ pertenece el átomo que lo emite.

En ley de Moseley, Z es un número entero que determina el número de orden en la tabla periódica, fundamental para la Química ya que identifica unívocamente cada EQ. No se debe omitir que con la cantidad o número de p^+ (Z) se identifica el elemento químico EQ, no con la cantidad de electrones e^- , únicamente con la cantidad de e^- no se puede identificar el EQ, es imprescindible la información de la carga eléctrica de la partícula.

Los átomos de muchos elementos químicos EQ tienen un espectro de radEM discontinuo (de rayas) y rayos X que identifican cada elemento químico EQ. Según los EQ que contiene el anticátodo, éste emite distintos tipos o series de rayos X (α , β , etc.) y a cada serie le corresponde un valor de A y de Z_o .

Los rayos X de la serie principal se llaman K_α , los valores de la ley de Moseley son:

$$A = 4,97 \times 10^7 \text{ s}^{-1/2} (\text{Hz}^{1/2}); Z_o = 1$$

Un átomo aislado AtA tiene igual número o cantidad de electrones e^- y de protones p^+ (Z). Analizando, por ejemplo, comportamientos químicos, propiedades de los gases nobles, en 1923 Niels Bohr, Walter Kossel (1888-1956) y Gilbert Lewis (1875-1946) proponen un modelo de constitución electrones en capas: no 1 electrón e^- por capa ni todos los electrones e^- en una capa.

Cada capa se identifica con un número n (número cuántico de Bohr, la primera capa interior $n = 1$, etc.), la cantidad de e^- en cada capa es variable, la cantidad máxima de e^- en cada capa es $2n^2$: $n = 1, 2 e^-$; $n = 2, 8 e^-$, $n = 3, 18 e^-$; $n = 4, 32 e^-$; etc.

Entre EQ sucesivos, se agregan los p^+ de a 1 y también de a 1 los e^- , pero únicamente se completan las capas $n = 1 (2 e^-)$ y $n = 2 (8 e^-)$, las siguientes ($n = 3, 4, \dots$) antes de estar completas o llenas se agregan los electrones e^- en la capa siguiente.

Se señala que en las constituciones electrónicas en capas aceptadas hay irregularidades:

- horizontales: al agregar 1 e^- , cambia de capa 1 e^- anterior (2 e^- cambian su posición).
- verticales: los átomos aislados AtA del mismo grupo de la tabla periódica tienen distintas Capas de Electrones Exteriores CEE, las CEE no son iguales.

Se comparan cuantitativamente las leyes naturales de Moseley y Rydberg para iones hidrogenoides y el H aplicando el modelo de capas electrónicas, se calculan las frecuencias ν de la serie K_α de los rayos X para átomos neutros y de Rydberg para iones hidrogenoides y el H .

La ley de Moseley no es una propiedad periódica, la frecuencia ν (y la ΔE) se produce por una variación de E entre las capas de electrones internas de un átomo neutro, en la serie K_α el ΔE es entre las capas 1 y 2.

La ley de Rydberg para iones hidrogenoides y el H , o sea con 1 electrón, la frecuencia ν (y la ΔE) es entre 2 capas, para comparar con Moseley, se calcula entre las capas 1 y 2.

$$\begin{array}{ll} \text{Moseley} & \nu^{1/2} = A(Z - Z_o) \quad K_\alpha: A = 4,97 \times 10^7 \text{ s}^{-1/2} \\ \text{(para átomos neutros)} & Z_o = 1 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \text{Rydberg} & \nu = R_E \cdot \frac{Z^2}{h} \left[\frac{1}{n_F^2} - \frac{1}{n_I^2} \right] \quad R_E = 2,180 \times 10^{-18} \text{ J} \\ \text{(iones hidrogenoides)} & h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ J.s} \end{array}$$

Los resultados de la frecuencia ν para 1 átomo o ión se pueden observar en la Tabla 1:

Tabla 1. Comparación Ley de Moseley y Rydberg

	ν Moseley	ν Rydberg
${}_1H$	0	$(R_E/h)0,75 = A^2$
${}_2He$	A^2	No es hidrogenoide
He^+	No aplica	$(Z = 2) = 4A^2$
${}_3Li$	$4A^2$	No aplica
Li^{2+}	No aplica	$(Z = 3) = 9A^2$
${}_4Be$	$9A^2$	No aplica

Las frecuencias ν son iguales para:

$$\begin{aligned} Ryd\ H\ (1\ p^+ - 1\ e^-) - Mos\ He\ (2\ p^+ - 2\ e^-\ K) &= A^2 \\ Ryd\ He^+\ (2\ p^+ - 1\ e^-) - Mos\ Li\ (3\ p^+ - 2\ e^-\ K / 1\ e^-\ L) &= 4A^2 \\ Ryd\ Li^{2+}\ (3\ p^+ - 1\ e^-) - Mos\ Be\ (4\ p^+ - 2\ e^-\ K / 2\ e^-\ L) &= 9A^2 \end{aligned}$$

Se comparan la Energía de ionización (E_{Ion}) y Ley de Rydberg.

La energía de ionización E_{Ion} se define como variación de energía (ΔE) que interviene en el siguiente fenómeno:



El superíndice n indica el estado eléctrico de la partícula: 0 (átomo neutro), 1, 2,

La primera energía de ionización (E_{Ion}) es la variación de energía ΔE del sistema cuando 1 mol de átomos $A(g)$ pierde 1 mol (número de Avogadro: N_A) de e^- y se forma 1 mol de iones $A^+(g)$. Luego la segunda E_{Ion} , etc.

El valor de la energía de ionización es siempre positivo $\Delta E > 0$ ya que $E_F > E_I$, endoenergético, el sistema gana o absorbe energía E del medio ambiente (MA) que lo pierde o entrega.

Las energías de ionización y la electronegatividad (E_{Ion} y E_{Ing}) aparentemente podrían tener alguna relación porque en ambas interviene la diferencia de las CEE de los AtA con los de los átomos nobles (grupo 18), pero las definiciones son muy distintas.

Para comparar las E_{Ion} de iones hidrogenoides y el H con la ley de Rydberg:

$$\Delta E = R_E \cdot Z^2 \left[\frac{1}{n_I^2} - \frac{1}{n_F^2} \right] \quad n_I = 1, n_F = \infty; R_E \cdot N_A = 2,180 \times 10^{-18} \cdot 6,022 \times 10^{23} \ [J/mol]$$

Tabla 2. Comparación de la Energía de Ionización por tablas y por Ley de Rydberg

	Rydberg	De Tablas
<i>Hidrogeno H</i> 1ra E_{Ion} : $A^0(g) \rightarrow A^+(g) + N_A e^-$ $\Delta E_1 = E_F - E_I = E_{Ion1}$	$R_E \cdot N_A = 1,313 \times 10^6 \frac{J}{mol}$	$1,312 \times 10^6 \frac{J}{mol}$
<i>Helio He+</i> 2da E_{Ion} : $A^+(g) \rightarrow A^{2+}(g) + N_A e^-$ $\Delta E_2 = E_F - E_I = E_{Ion2}$	$= Z^2 \cdot R_E \cdot N_A = 4 \cdot R_E \cdot N_A =$ $= 5,251 \times 10^6 \frac{J}{mol}$	$5,250 \times 10^6 \frac{J}{mol}$
<i>Litio Li²⁺</i> 3ra E_{Ion} : $A^{2+}(g) \rightarrow A^{3+}(g) + N_A e^-$ $\Delta E_3 = E_F - E_I = E_{Ion3}$	$= Z^2 \cdot R_E \cdot N_A = 9 \cdot R_E \cdot N_A =$ $= 11,817 \times 10^6 \frac{J}{mol}$	$11,815 \times 10^6 \frac{J}{mol}$

Conclusiones

Los resultados de comparar la Ley de Moseley para átomo neutros y la ley de Rydberg para iones hidrogenoides y el H justifican que, por ejemplo, la ν_{Ryd} para el H ($1\ p^+ - 1\ e^-$) es igual que la ν_{Mos} para el He porque $1\ e^-$ K apantalla a $1\ p^+$ y el sistema queda $1\ p^+ - 1\ e^-$ K.

Igual para la ν_{Ryd} para el He^+ ($2\ p^+ - 1\ e^-$ K) y el ν_{Mos} para el Li porque $1\ e^-$ K apantalla a $1\ p^+$ y el sistema queda $2\ p^+ - 1\ e^-$ K.

Este análisis se puede aplicar para ν_{Ryd} Be^{3+} ($4\ p^+ - 1\ e^-$ K) y el B ($5\ p^+ - 2\ e^-$ K / $3\ e^-$ L).

Estos resultados son coherentes con la propiedad periódica carga nuclear efectiva Z_{ef} , que es la carga central sobre los electrones exteriores apantallados que intervienen en los fenómenos químicos clásicos.

Los resultados de comparar la ley de Rydberg con los datos experimentales de las E_{Ion} son una verificación experimental de la validez del modelo de capas electrónicas y de la ley de Rydberg.

Los resultados numéricos del trabajo justifican cuantitativamente los modelos de capas de electrones, las leyes naturales de Moseley y Rydberg, y las propiedades periódicas energía de ionización E_{Ion} y carga nuclear efectiva Z_{ef} .

Con el modelo de capas de electrones exteriores CEE se pueden justificar cualitativamente las propiedades periódicas químicas de los elementos químicos EQ (analogías electrónicas), uniones entre átomos UA (modelo de Lewis) o uniones entre moléculas UM.

Referencias

Rydberg, J. R. (1890). Recherches sur la constitution des spectres d'émission des éléments chimiques. *Kungliga vetenskapsakademiens handlingar*, 23(11).

Moseley, H. G. J. (1914). LXXX. The high-frequency spectra of the elements. Part II. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 27(160), 703–713.

Bohr, N. (1913). On the constitution of atoms and molecules. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 26(151), 1-25.

Seguimiento de la Viabilidad y Concentración de Células de Levaduras Líquidas durante su Almacenamiento

Monitoring the Viability and Cell Concentration of Liquid Yeasts during Storage

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Tobías Aramburu

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario, Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Alimentos (CIDTA), Argentina.

Gianfranco Boz Magni

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario, Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Alimentos (CIDTA), Argentina.

Milagros Rubio Bonnet

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario, Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Alimentos (CIDTA), Argentina.

Sofia Rey

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario, Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Alimentos (CIDTA), Argentina.

Candela Modica

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario, Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Alimentos (CIDTA), Argentina.

Lisandro Rudolf

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario, Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Alimentos (CIDTA), Argentina.

Ezequiel Godoy

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario, Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Alimentos (CIDTA), Argentina.

ezgodoy@frro.utn.edu.ar

Germán Competelli

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario, Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Alimentos (CIDTA), Argentina.

Roxana Martinet

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario, Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Alimentos (CIDTA), Argentina.

guadamar67@gmail.com

Resumen

La utilización de levaduras líquidas por parte de productores de cervezas artesanales presenta la dificultad de la logística de traslado y requerir el almacenamiento a bajas temperaturas, lo cual conlleva una elevada inversión y altos costos operativos. En este contexto, el objetivo del presente trabajo fue realizar el seguimiento de la viabilidad y concentración de células de levaduras líquidas producidas en Santa Fe y almacenadas en condiciones subóptimas luego de su comercialización. A los efectos, muestras de levaduras líquidas almacenadas durante 15 días a 6°C fueron analizadas para determinar la factibilidad de su utilización en la producción de cervezas artesanales. Los resultados obtenidos mostraron valores de viabilidad de alrededor de 95 % y concentraciones de células vivas de $7,6 \cdot 10^8$ durante los primeros 9 días de almacenamiento, siendo así las levaduras adecuadas para su uso en fermentaciones, mientras que dichos valores decrecieron significativamente a partir del día 12 de almacenamiento.

Palabras clave: Levaduras líquidas, Almacenamiento, Viabilidad, Concentración de células.

Abstract

The use of liquid yeasts by craft beer producers presents the difficulty of requiring the maintenance of low temperatures, which entails a high investment and high operating costs. In this context, the objective of this work was to monitor the viability and cell concentration of liquid yeasts produced in Santa Fe and stored in suboptimal conditions after their commercialization. For this purpose, samples of liquid yeast stored for 15 days at 6 °C were analyzed to determine the feasibility of their use in the production of craft beers. The results obtained showed viability values of around 95 % and live cell concentrations of $7.6 \cdot 10^8$ during the first 9 days of storage, thus making the yeasts suitable for use in fermentations, while these values decreased significantly from the day 12 of storage onwards.

Keywords: Liquid yeasts, Storage, Viability, Cell concentration.

Introducción

Las levaduras utilizadas para la fermentación de cervezas se comercializan principalmente en dos modalidades, líquidas y secas. En general, la elección entre una u otra depende del tipo de cerveza que se desea producir, las condiciones de fermentación y las preferencias del cervecero (Bonatto, 2021: 110125).

Las levaduras secas se obtienen usualmente mediante secado por liofilización o secado spray (Fujii et al., 2011: 1981-1985), y se presentan en sobres o paquetes sellados. Estas tienen la ventaja de ser fáciles de almacenar y transportar, ya que no requieren refrigeración, además de tener una vida útil más larga y ser más resistentes a las variaciones de temperatura y a los cambios operativos durante su manipulación.

Por otro lado, las levaduras líquidas se obtienen mediante propagación de cultivos de cepas seleccionadas (Raines-Casselmann, 2005), y se comercializan en viales o paquetes que contienen las células en suspensión. Estas ofrecen en general una mayor variedad de cepas y, en muchos casos, una mejor calidad de fermentación, aunque requieren refrigeración durante su comercialización hasta su utilización, y tienen una vida útil más corta.

En Argentina, las levaduras secas son en general importadas y cuentan con amplia disponibilidad, mientras que hasta hace unos años, solo se producían levaduras líquidas en la Patagonia, lo cual dificultaba su utilización efectiva por productores de cerveza artesanal en el centro del país. Recientemente, se instaló un laboratorio en la ciudad de Santa Fe que produce y comercializa levaduras líquidas. Aún así, persisten las dificultades antes mencionadas para su utilización por parte de cerveceros artesanales, debido a que muchas veces no tienen disponible las instalaciones necesarias para mantener la cadena de frío en condiciones óptimas.

En este contexto, el objetivo del presente trabajo fue realizar el seguimiento de la viabilidad y concentración de células de muestras de levaduras líquidas producidas en la ciudad de Santa Fe y almacenadas en condiciones subóptimas luego de su comercialización, a los efectos determinar la factibilidad de su utilización en la producción de cervezas artesanales.

Desarrollo

Materiales

Se utilizó una cepa de *Saccharomyces cerevisiae* en forma líquida (Laboratorio Vermont, Santa Fe, Argentina). Todos los reactivos químicos utilizados fueron de grado analítico (Cicarelli, Argentina).

Metodología experimental

Las levaduras líquidas fueron almacenadas en recipientes herméticos y estériles a una temperatura de 6 °C durante toda la duración de la experiencia. En los días 1, 2, 5, 6, 8, 9, 12, 14 y 15, se tomaron muestras representativas de las levaduras almacenadas mediante medios estériles. Previo a la toma de cada muestra, ésta fue homogeneizada mediante agitación suave.

Determinación de la viabilidad y concentración de células de las levaduras

El recuento de cantidad de células vivas, muertas y totales en cada muestra de levaduras se realizó a través del método de tinción con azul de metileno (Dalmasso et al, 2020: 119-129; Moreno et al, 2022: 343-348). Se realizaron diluciones de las muestras de levadura hasta 1:50. Como indicador, se utilizó una solución de azul de metileno al 0.01% con el fin de diferenciar las células vivas de las células muertas, donde éstas últimas se tiñen de un color azul intenso. Para realizar el recuento en microscopio, se utilizaron dos cámaras de Neubauer espejadas. Mediante cámara digital acoplada al microscopio, se tomaron imágenes fotográficas de 5 recuadros de la retícula de la cámara de Neubauer. El conteo del número de células vivas, muertas y totales se realizó luego manualmente. La viabilidad de cada muestra de levaduras se determinó según la Ec. (1).

$$Viabilidad (\%) = \frac{Cantidad\ total\ de\ células\ contadas - Cantidad\ de\ células\ muertas\ contadas}{Cantidad\ total\ de\ células\ contadas} \quad (1)$$

La concentración de células de cada muestra de levaduras se calculó según la Ec. (2). La cantidad de células contadas corresponderá al número de células vivas, de células muertas o de células totales, según se desee determinar la respectiva concentración de células.

$$Concentración\ de\ células\ \left(\frac{cel}{ml}\right) = Cantidad\ de\ células\ contadas * 10000 * factor\ de\ dilución \quad (2)$$

Análisis estadístico

Los resultados se presentan como los valores medios y sus desviaciones estándar. Los resultados experimentales se analizaron estadísticamente mediante ANOVA de un factor, con un nivel de significancia de $p < 0,05$. La existencia de diferencias significativas entre los resultados experimentales se reporta con las diferentes letras obtenidas mediante pruebas post-hoc de Tukey. Los análisis estadísticos se realizan en el software R-4.3.2.

Resultados y discusión

La Fig. 1 presenta, a modo de ejemplo, dos imágenes fotográficas utilizadas para el recuento del número de células vivas, muertas y totales de dos muestras de la levadura líquida. Las levaduras líquidas originales (apenas extraídas del recipiente en la cual son provistas por el laboratorio) mostraron una alta viabilidad de $99,28 \pm 0,79$ % (ver imagen de la izquierda). Se destaca que este valor de la viabilidad inicial de las levaduras líquidas fue similar al previamente observado por los autores en muestras de otros batch de las mismas.

En contraste, se reportaron previamente valores de la viabilidad inicial de dos cepas comerciales de levaduras liofilizadas (SafAle S-04 y S-05, Fermentis by Lesaffre, Francia) de $62,52 \pm 1,90$ % y $56,82 \pm 1,71$ % (Boz Magni et al., 2024). Se presume que el proceso de secado por liofilización, utilizado para alargar la vida útil del polvo de levaduras, impacta negativamente en la viabilidad de las levaduras comercializadas en esta modalidad. Por su

parte, las levaduras líquidas muestran una mayor viabilidad inicial, pero requieren mantener la cadena de frío desde su producción hasta su uso, siendo su vida útil recomendada menor a las alternativas liofilizadas.

Como se discutirá más adelante, la viabilidad de las levaduras disminuye durante el almacenamiento debido a la muerte de una fracción significativa de las células (ver imagen de la derecha para el día 14 de almacenamiento).

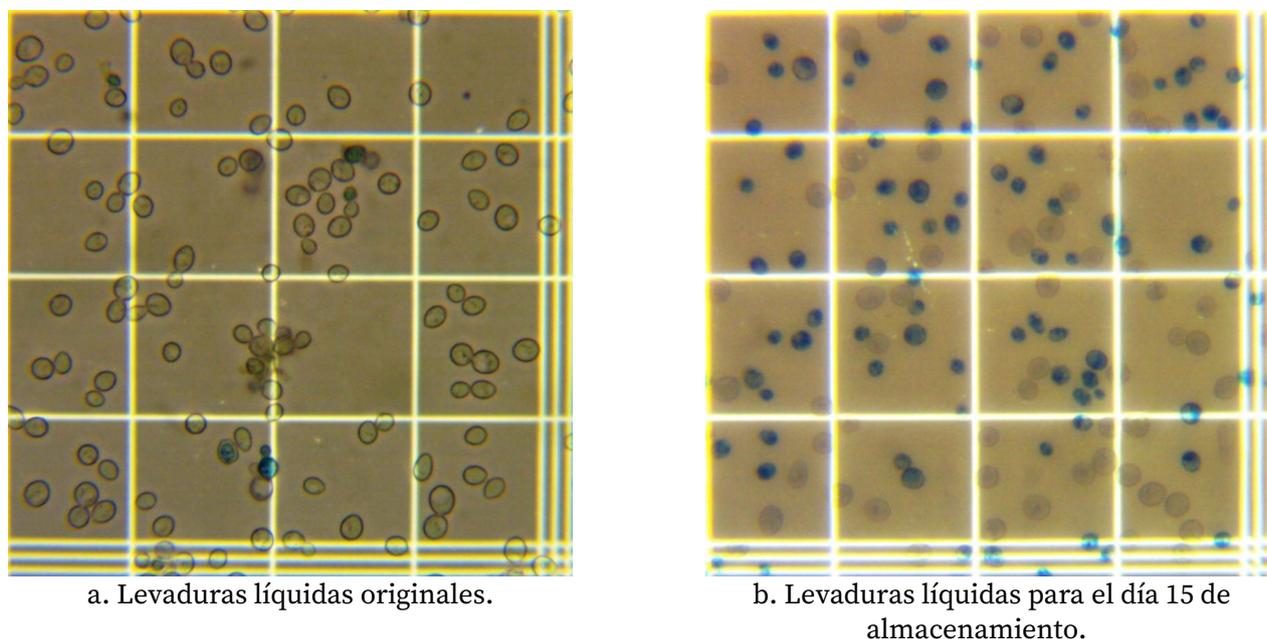


Figura 1. Imágenes utilizadas para el recuento de células vivas y muertas en muestras de las levaduras.

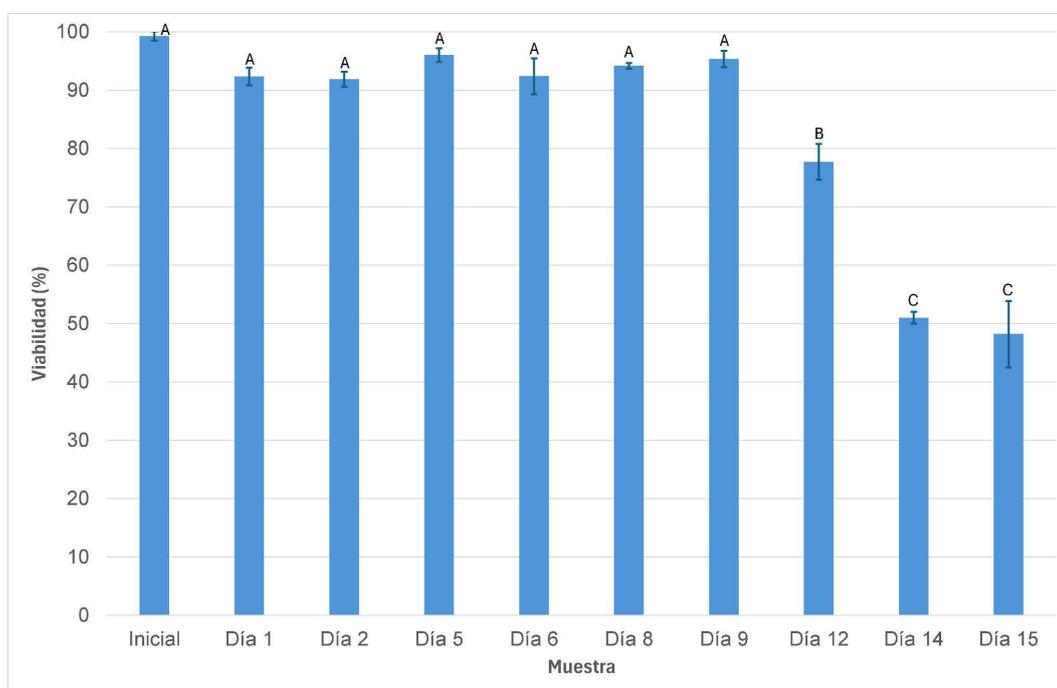


Figura 2. Evolución de la viabilidad durante el almacenamiento de las levaduras líquidas (diferentes letras sobre las columnas indican diferencias significativas respecto al tiempo de almacenamiento).

La Fig. 2 muestra la evolución de la viabilidad de las levaduras líquidas durante dos semanas de almacenamiento a una temperatura de 6 °C. Hasta el día 9 de almacenamiento, se observan valores de viabilidad levemente menores que los iniciales, pero sin diferencias significativas entre los mismos. Por otra parte, a partir del día 12 de almacenamiento, la viabilidad disminuye abruptamente, alcanzando valores de $48,21 \pm 5,69$ % para el día 15 de almacenamiento. En el mismo sentido, la Fig. 3 muestra la evolución de la concentración de células

vivas y de células muertas durante el almacenamiento. Se aprecia aquí que el número de células vivas decrece marcadamente a partir del día 12 de almacenamiento, mientras que la proporción de células muertas se incrementa significativamente a partir del mismo día.

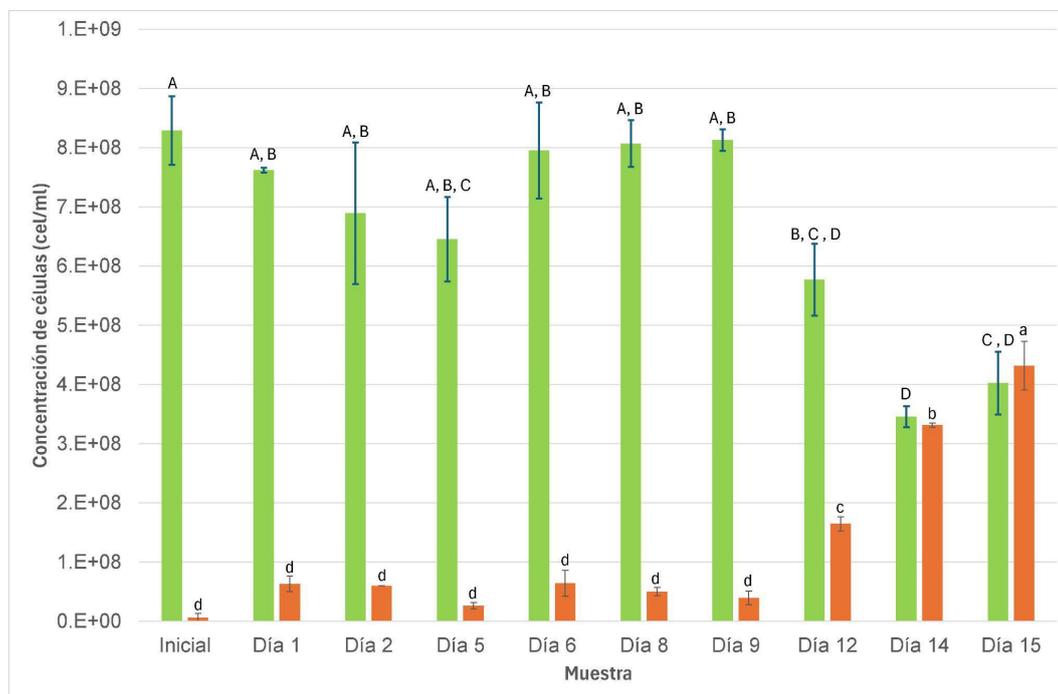


Figura 3. Evolución de la concentración de células vivas y muertas durante el almacenamiento de las levaduras líquidas (diferentes letras sobre las columnas de un mismo color indican diferencias significativas respecto al tiempo de almacenamiento).

Se reportó previamente que la viabilidad de la cepa *S. pastorianus* RIBM 95 fue del 94 % al 98 % cuando la misma fue criopreservada en nitrógeno líquido durante 3 años, a la vez que esta levadura fue metabólicamente más activa post-criopreservación que otras muestras almacenadas en condiciones convencionales a 4 °C (Matoulková & Sigler, 2011: 383-388). No obstante, el almacenamiento a bajas temperaturas, y más aún la criopreservación, pueden resultar prohibitivas a los productores artesanales de cerveza, debido a la necesidad de equipamientos específicos y los altos costos asociados a la operación de los mismos. Durante su almacenamiento en condición ambiente, las levaduras líquidas y las bacterias ácido-lácticas producen compuestos antimicrobianos que hacen que el ambiente sea desfavorable para la supervivencia y la multiplicación de diversos microorganismos (Alaru et al., 2024: 168-182). Este tipo de fenómeno puede explicar el aceleramiento de la muerte celular una vez que la fracción de células no viables comienza a incrementarse durante el almacenamiento de las levaduras líquidas.

Conclusiones

El seguimiento de la viabilidad y concentración de células vivas de levaduras líquidas almacenadas en condiciones subóptimas mostró que las mismas exhiben características adecuadas para su utilización en la fermentación de cervezas artesanales durante 9 días de almacenamiento; mientras que a partir del día 12 de almacenamiento, dichos parámetros empeoraron significativamente, por lo cual su uso en estas condiciones podría impactar negativamente en los rendimientos y características de las eventuales cervezas resultantes. Luego, la utilización de levaduras líquidas producidas en el país y almacenadas en condiciones accesibles para los productores de cervezas artesanales se puede constituir en una opción viable considerando los tiempos usuales de comercialización y almacenamiento, en reemplazo de levaduras liofilizadas importadas cuyo costo suele resultar más elevado.

Como continuación de este trabajo de investigación, se prevé analizar otros parámetros de las levaduras líquidas durante su almacenamiento, así como utilizar las mismas en pruebas de fermentación a pequeña escala en un biorreactor de laboratorio para determinar la performance del proceso fermentativo.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Tecnológica Nacional por el financiamiento a través del proyecto ECA8080TC, y a la cervecería Kalber por el suministro de las levaduras líquidas.

Referencias

- Alaru, P. A. O., Shitandi, A. A., Mahungu, S. M., & Muia, J. M. K. (2024). Impact of Storage Temperature on Microbial Diversity and Probiotic Effect of Liquid Brewers' Yeast. *Open Journal of Animal Sciences*, 14(03), 168-182.
- Bonatto, D. (2021). The diversity of commercially available ale and lager yeast strains and the impact of brewer's preferential yeast choice on the fermentative beer profiles. *Food Research International*, 141, 110125.
- Boz Magni, G., Aramburu, T., Zapata, L., Rubio Bonnet, M., Rey, S., Modica, C. Godoy, E., Capetelli, G., & Martinet, R. (2024). *Optimización de la recuperación y reutilización de levaduras en pequeña escala para la producción de cerveza artesanal*. Villa María, Córdoba, Argentina, Congreso de Investigaciones y Desarrollos en Tecnología y Ciencia (IDETEC 2024).
- Dalmaso, L. P., Gallace, M. E., Cenizo, V. J., Caramutti, V. E., & Ruíz Espínola, M. (2020). *Microbiología cervecera: manual teórico práctico*. Toay, La Pampa, Argentina, Universidad Nacional de La Pampa.
- Fujii, S., Sakamoto, Y., Aso, T., Aktas, T., Yoshimoto, N., & Yamamoto, S. (2011). Drying of yeasts—factors affecting inactivation during drying. *Drying technology*, 29(16), 1981-1985.
- Matoulková, D., & Sigler, K. (2011). Impact of the Long-Term Maintenance Method of Brewer's Yeast on Fermentation Course, Yeast Vitality and Beer Characteristics. *Journal of the Institute of Brewing*, 117(3), 383-388.
- Moreno, A., Stüber, Y., Godoy, E., Martinet, R. Campetelli, G. (2022). *Recuento de levadura cervecera para aplicaciones en escala micro industrial*. San Francisco, Santa Fe, Argentina. Jornadas de Ciencia y Tecnología 2022 (JCT 2022).
- Raines-Casselmann, M. B. (2005). Yeast Propagation and Maintenance: Principles and Practices. *The maltose falcons, California*.

Evaluación del uso de lignina como agente encapsulante de bacterias ácido-lácticas para la producción de ácido láctico

Evaluation of the use of lignin as an encapsulating agent of lactic-acid bacteria to produce lactic acid

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

María Celeste Porporatto

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, GPol, Departamento de Ingeniería Química, Argentina.
celesteporporatto@gmail.com

Valentina Basconi Vilosio

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, GPol, Departamento de Ingeniería Química, Argentina.
vbasconivilosio@gmail.com

Roxana Paez

INCUVA- EEA Rafaela – Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) – Argentina
paez.roxana@inta.gob.ar

Verónica Viviana Nicolau

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, GPol, Departamento de Ingeniería Química, Argentina.
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) – Argentina
vnicolau@sanfrancisco.utn.edu.ar

Resumen

La lignina, uno de los biopolímeros más abundantes en la Tierra, es un recurso prometedor para aplicaciones sostenibles. Las bacterias ácido-lácticas son clave en la bioconversión de permeado de lactosuero (subproducto de la industria quesera) en ácido láctico, donde la inmovilización celular ofrece ventajas operativas.

En este trabajo se evaluó el impacto de la lignina Kraft de eucalipto en el crecimiento de bacterias ácido-lácticas y su uso para encapsularlas en matrices de alginato de sodio y una mezcla de alginato con alcohol polivinílico. Se comparó el rendimiento de las células inmovilizadas con células libres en la fermentación de permeado de suero lácteo, analizando el crecimiento bacteriano y la producción de ácido láctico. Además, se estudió el efecto de la técnica de congelación-descongelación en la viabilidad celular.

Los resultados indicaron que la lignina no afecta el crecimiento de BAL, es viable como agente encapsulante, y la congelación-descongelación no compromete la viabilidad del biocatalizador.

Palabras clave: bacterias ácido-lácticas, encapsulación, fermentación

Abstract

Lignin, one of the most abundant biopolymers on Earth, is a promising resource for sustainable applications. Lactic acid bacteria are key in the bioconversion of whey permeate (cheese industry by-product) into lactic acid, where cell immobilization offers operational advantages.

In this work, the impact of eucalyptus Kraft lignin on LAB growth and its use to encapsulate lactic acid bacteria in sodium alginate and a mixture of alginate with polyvinyl alcohol matrices was evaluated. The performance of

immobilized cells was compared to free cells in the fermentation of whey permeate, analyzing bacterial growth and lactic acid production. Additionally, the effect of the freezing-unfreezing technique on cell viability was studied.

The results indicated that lignin does not affect LAB growth, is viable as an encapsulating agent, and freezing-unfreezing does not compromise the viability of the biocatalyst.

Keywords: lactic-acid bacteria, encapsulation, fermentation

Introducción

La lignina es uno de los biopolímeros más abundantes y ampliamente distribuidos en la Tierra, constituyendo una parte significativa de la biomasa vegetal. A pesar de su abundancia y potencial, las tecnologías y métodos para su aprovechamiento y transformación están en una etapa de evolución y desarrollo continuo. Esto se debe a la complejidad estructural de la lignina y a los retos técnicos asociados con su procesamiento, lo que limita su utilización a gran escala en aplicaciones industriales. Sin embargo, la investigación y el desarrollo en este campo están avanzando, con el objetivo de mejorar la eficiencia de su uso y explorar nuevas aplicaciones sostenibles para este valioso recurso natural.

Se han realizado investigaciones sobre el uso de lignina en matrices de secado para encapsular microorganismos probióticos (Huy Vu, 2021), así como agente de inmovilización en la formulación de bioinoculantes (Tapia-Olivares, 2019) y enzimas para diversos bioprocesos (Benítez-Mateos et al., 2021). No obstante, hasta donde los autores conocen, no se han documentado estudios que exploren el uso de lignina Kraft (LK) para la encapsulación de bacterias ácido-lácticas (BAL) en la producción biotecnológica de ácido láctico (AL).

El AL tiene múltiples aplicaciones en diversas industrias como la alimentaria, la farmacéutica y cosmética, y la industria química (Datta et al., 2006). La producción de AL a través de la vía biotecnológica permite producir enantiómeros específicos (L- o D-ácido láctico) utilizando la cepa adecuada, lo cual es altamente valorado en aplicaciones específicas como la fabricación de bioplásticos; en contraste, a la síntesis química que produce una mezcla racémica.

Las BAL son conocidas por su uso en la producción de AL y compuestos antimicrobianos, así como por su capacidad para mejorar la salud intestinal y reforzar el sistema inmunológico (Holzapfel, 2002; Parvez et al., 2006). A pesar de sus numerosos beneficios y usos, las BAL enfrentan ciertos desafíos cuando se utilizan en aplicaciones industriales. Las condiciones ambientales adversas, que incluyen variaciones en el pH, la temperatura y el estrés osmótico, pueden reducir significativamente su viabilidad y actividad (Ljungh et al., 2006; Salminen et al., 1998). En su forma libre, las BAL son particularmente vulnerables, lo que se traduce en una limitación en su efectividad y estabilidad en productos finales.

La encapsulación en matrices poliméricas se presenta como una solución prometedora para proteger a las BAL y mejorar su viabilidad y funcionalidad. Este proceso implica la inclusión de las BAL en una matriz de material semipermeable polimérico que permita la difusión bidireccional de moléculas, tales como la afluencia de oxígeno, nutrientes, factores de crecimiento y otros, esenciales para el metabolismo celular, así como también la salida de desechos. La encapsulación de células ofrece ciertas ventajas como: separación y reutilización de las células al final de la fermentación, mayor densidad celular, velocidad de reacción y productividad volumétrica, y prevención de la inactivación interfacial. Dentro de los hidrogeles más empleados para la encapsulación de BAL se destacan los hidrogeles de alginato de sodio (S) y alcohol polivinílico (PVA) (Radosavljević et al., 2019).

Por otra parte, el uso de lactosuero como medio de fermentación en la producción de AL ofrece una serie de ventajas significativas. El lactosuero, un subproducto abundante de la industria quesera, es rico en lactosa, el azúcar fermentable que sirve como fuente principal de carbono para las BAL. Aprovechar este subproducto no solo contribuye a la sostenibilidad al reducir el desperdicio de recursos, sino que también disminuye los costos de producción al utilizar una materia prima económica y fácilmente disponible.

El propósito de este estudio fue, en primer lugar, evaluar el efecto de la LK en el crecimiento de las BAL. Luego, encapsular las BAL en dos matrices poliméricas distintas, una con LK y S, y otra con LK, S y PVA, para comparar su rendimiento con células libres en la fermentación de permeado de lactosuero. Finalmente, se analizó el impacto de la técnica de congelación-descongelación en la viabilidad del biocatalizador formulado con LK y S.

Desarrollo

Microorganismo y Preparación de los Cultivos Bacterianos

Se utilizó *Lactobacillus rhamnosus* (LR), cepa nativa perteneciente a la colección del Grupo de Polímeros (GPol, UTN). En todos los casos, se partió de un conservado bacteriano de LR el cual se activó mediante dos repiques sucesivos. Cada repique se realizó adicionando un 2% v/v de inóculo en Caldo Man, Rogosa y Sharpe (MRS) estéril, y luego se incubó 24 h en estufa a 37 °C.

Materiales

Se emplearon los siguientes insumos y materiales: LK de eucalipto industrial (Suzano SA), alginato de sodio industrial, permeado de suero lácteo (Arla Food S.A), caldo MRS (Neogen), agar (Neogen), extracto de levadura (Neogen), peptona de carne (Neogen), Tween 80 (Biopack), sulfato de magnesio (Cicarelli), sulfato de manganeso (Cicarelli), citrato de sodio (Cicarelli), dicloruro de calcio (Cicarelli), y alcohol polivinílico (Cicarelli),

Para las fermentaciones se utilizó un medio estéril formulado a partir de permeado de suero lácteo (lactosa 27,6 g/L, extracto de levadura 2,5 g/L, peptona de carne 2,5 g/L, Tween 80 0,25 mL/L y solución de Mg/Mn 5mL/L) (Lavari et al., 2015).

Síntesis del Biocatalizador

Para la preparación del biocatalizador se adoptó la metodología descrita por Radosavljević et al. (2019). A fin de aumentar la concentración celular, se realizó un tercer repique del cultivo bacteriano al 10% v/v en 500 mL de Caldo MRS, se incubó en estufa a 37 °C durante 24 h y luego se centrifugó a 3000 rpm para obtener el pellet bacteriano, el cual se suspendió y homogeneizó en la solución polimérica estéril.

La mezcla anterior se goteó en 500 mL de una solución estéril de dicloruro de calcio al 2% p/v bajo agitación de 50 rpm en cabina de flujo laminar. Las gotas gelifican en contacto con la solución de dicloruro de calcio atrapando así las células bacterianas en su interior (Fig. 1).

El biocatalizador obtenido (perlas) se mantuvo bajo agitación durante 60 minutos en la solución de dicloruro de calcio para permitir su endurecimiento. Finalmente, el biocatalizador se separó y se lavó con agua destilada (Fig. 2).



Figura 1. Preparación del biocatalizador.



Figura 2. Biocatalizador.

Para la conservación del biocatalizador, se lo suspendió en glicerol estéril como crioprotector y luego se congeló a -4 °C.

Evaluación de la viabilidad celular en presencia de LK

Se prepararon dos cultivos bacterianos en caldo MRS. A uno de los cultivos se le adicionó 1% p/v de LK. Ambos cultivos se incubaron 24 h en estufa a 37 °C y se realizaron los correspondientes recuentos en placa.

Para el recuento en placa de células libres, se tomó 1 mL de la muestra y se realizaron diluciones seriadas en agua peptonada con posterior siembra en placa de Petri con agar MRS. Las placas se incubaron 72 h en estufa a 37 °C y se realizaron los recuentos de colonias, expresándolos en UFC/mL.

Utilización de los biocatalizadores en fermentación

Para la preparación del biocatalizador de matriz SL se utilizaron las siguientes soluciones poliméricas estériles: S 2% p/v y LK 2% p/v, en una proporción 1:1.

Para la preparación del biocatalizador de matriz SLA se utilizaron las siguientes soluciones poliméricas estériles: S 2% p/v, LK 2% p/v y PVA 5% p/v, en una proporción de 1:1:2,5 respectivamente.

Se llevaron a cabo tres fermentaciones en un baño calefactor a 37 °C por 24 h y pH libre (Fig. 3): con células libres, con células encapsuladas en la matriz SL y con células encapsuladas en la matriz SLA; todas por triplicado.

Se realizaron mediciones iniciales y finales de pH, lactosa mediante titulación de Fehling-Causse-Bonnans, acidez expresada en grados Dornic y recuento en placa de las células libres y de las células encapsuladas.



Figura 3. Sistema de fermentación.

Para el recuento en placa de células encapsuladas se disolvieron bajo agitación 1 g de perlas en 9 mL de una solución estéril de citrato de sodio 2% p/v y luego se realizaron diluciones seriadas en agua peptonada con posterior siembra en placa de Petri con agar MRS. Las placas se incubaron 72 h en estufa a 37 °C y se realizaron los recuentos de células viables, expresándolos en UFC/g de biocatalizador.

Evaluación de la viabilidad celular del biocatalizador post congelación

El biocatalizador analizado en esta tarea corresponde a la matriz SL. Luego de la determinación de la concentración celular en el biocatalizador, el mismo se congeló a -4 °C durante 60 días empleando glicerol como crioprotector. Posteriormente, se procedió a su descongelamiento a temperatura ambiente y se determinó la concentración celular post-congelación mediante recuento en placa de células encapsuladas.

Resultados

Con respecto al recuento de células en cultivos con y sin LK, la concentración inicial celular en ambos medios fue de $3,83 \times 10^7$ UFC/mL. Luego de 24 h, se registró un aumento de la viabilidad celular alcanzando $1,70 \times 10^9$ UFC/mL en el cultivo sin LK y $2,42 \times 10^9$ UFC/mL en el cultivo con LK. Estos resultados demostraron que la presencia de LK no afecta el crecimiento celular de las BAL.

En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos de las fermentaciones. Las condiciones iniciales de pH y lactosa en todos los casos fueron de 6,07 y 27,6 g/l, diferenciándose en la concentración inicial celular. Para la fermentación con células libres se partió de una concentración inicial de $1,80 \times 10^7$ UFC/mL, mientras que para las células encapsuladas las concentraciones fueron de $4,55 \times 10^5$ UFC/mL y $9,5 \times 10^5$ UFC/mL para los cultivos encapsulados en SL y SLA, respectivamente; con concentraciones dentro de los biocatalizadores de $2,25 \times 10^7$ UFC/g en la matriz SL y $1,82 \times 10^7$ UFC/g en la matriz SLA.

Tabla 1. Fermentaciones: Mediciones finales de pH, acidez, lactosa y UFC. Factor de conversión sustrato-producto $Y_{(p/s)}$ y productividad.

Biocatalizador	t(h)	pH	Acidez (°D)	lactosa (g/L)	UFC	Y(p/s) (g AL/g lactosa)	Productividad (g/Lh)
LR LIBRE	24	3,26	11,09	20,69	$1,04 \times 10^9$ ^a	1,56	0,46
MATRIZ SL	24	3,56	5,26	26,64	$2,96 \times 10^9$ ^b	1,66	0,22
MATRIZ SLA	24	3,83	4,11	24,60	$3,42 \times 10^9$ ^b	1,20	0,17

^a UFC/mL, y ^b UFC/g.

El crecimiento celular al final de las fermentaciones fue de 2 órdenes log UFC superior tanto para las células libres como para las células encapsuladas.

El factor de conversión sustrato-producto, $Y(p/s)$, se incrementó en el siguiente orden: SLA < BL \cong SL.

En cuanto a la producción de AL, la matriz SL superó a la matriz SLA con una productividad de 0,22 g/Lh. La baja productividad de los biocatalizadores en la producción de AL respecto a las células libres (0,46 g/Lh) puede deberse a la baja carga celular inicial de los biocatalizadores en el medio de cultivo (5 log UFC/ml) en comparación con las células libres (7 log UFC/ml).

En cuanto al estudio de la viabilidad celular en el biocatalizador post congelación podemos decir que antes de la congelación, la concentración en el biocatalizador era de $2,19 \times 10^9$ UFC/g y después de 60 días de congelamiento, la concentración se redujo a $1,22 \times 10^9$ UFC/g. Aunque se observa una disminución en la concentración celular, esta se mantiene dentro del mismo orden de magnitud en la escala logarítmica sugiriendo que la congelación-descongelación es un método viable de conservación del biocatalizador.

Conclusiones

Los resultados experimentales demostraron que la adición de LK al medio de cultivo en una concentración del 1% p/v no afecta el crecimiento de la cepa de LR. En cuanto a las fermentaciones con las BAL encapsuladas, se demostró que la presencia de LK no influye en el crecimiento celular dentro del biocatalizador. Además, la técnica de congelación-descongelación resultó ser efectiva para la conservación de cepas encapsuladas de LR, manteniendo su viabilidad a largo plazo sin comprometer su actividad biológica. Los resultados preliminares indican que la LK de madera dura tiene un potencial prometedor como agente de encapsulación de BAL, lo que sugiere una aplicación valiosa para su valorización.

Referencias

Chávarri, M., Marañón, I., Ares, R., Ibáñez, F. C., F., & Villarán, M. C. (2010). "Microencapsulation of a probiotic and prebiotic in alginate-chitosan capsules improves survival in simulated gastrointestinal conditions". *International Journal of Food Microbiology*, 142(1-2), 185-189.

Datta, R., & Henry, M. (2006). "Lactic acid: recent advances in products, processes and technologies— a review". *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology*, 81(7), 1119-1129.

Dr. Ana I. Benítez-Mateos, Stefania Bertella, Jean Behaghel de Bueren, Prof. Jeremy S. Luterbacher, Prof. Francesca Paradisi. (2021). "Dual Valorization of Lignin as a Versatile and Renewable Matrix for Enzyme Immobilization and (Flow) Bioprocess Engineering". *European Chemical Societies Publishing*. Disponible en <<https://chemistry-europe.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/cssc.202100926>>

Heidebach, T., Först, P., & Kulozik, U. (2009). "Microencapsulation of probiotic cells for food applications". *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 49(4), 354-371.

Holzappel, W. H. (2002). "Appropriate starter culture technologies for small-scale fermentation in developing countries". *International Journal of Food Microbiology*, 75(3), 197-212.

- Huy Vu. (2021). "Food Science and Technology". *Food Science and Technology*, 148, 111725-111735.
- Lavari, L., Rocco, I., Paez, R., Zotta, T., Cuatrin, A., Reinheimer, J., Parente, E., Vinderola, G. (2015). "Growth of *Lactobacillus rhamnosus* 64 in whey permeate and study of the effect of mild stresses on survival to spray drying". *Food Science and Technology*. 63, 322-330.
- Leroy, F., & De Vuyst, L. (2004). "Lactic acid bacteria as functional starter cultures for the food fermentation industry". *Trends in Food Science & Technology*, 15(2), 67-78.
- Ljungh, A., & Wadström, T. (2006). "Lactic acid bacteria as probiotics". *Current Issues in Intestinal Microbiology*, 7(2), 73-89.
- Parvez, S., Malik, K. A., Kang, S. A., & Kim, H. Y. (2006). "Probiotics and their fermented food products are beneficial for health. *Journal of Applied Microbiology*. 100(6), 1171-1185.
- Radosavljevic, M. (2019). "Immobilization of *Lactobacillus rhamnosus* in polyvinyl alcohol/ calcium alginate matrix for production of lactic acid". *Journal of Biotechnology*. 45(3), 123-134.
- Salminen, S., von Wright, A., Morelli, L., Marteau, P., Brassart, D., de Vos, W. M. & Mattila-Sandholm, T. (1998). Demonstration of safety of probiotics—a review. *International Journal of Food Microbiology*, 44(1-2), 93-106.
- Tapia-Olivares. (2019). "Dual revalorization of lignin through its use as a versatile and renewable matrix for enzyme immobilization and (flow) bioprocess engineering". *Molecules*, 24, 4613-4611.

Producción catalítica de levoglucosan a partir de pirolisis de residuos de sorgo

Catalytic production of levoglucosan from pyrolysis of sorghum waste

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Orlando N. Guiñazú

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Centro de Investigación y Tecnología Química (CITeQ-CONICET-UTN), Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina
nicolas.guiazu@gmail.com

Laura E. Moyano

INFIQC, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Cs. Qs., Universidad Nacional de Córdoba, Argentina
lauramoy99@gmail.com

Horacio Falcon

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Centro de Investigación y Tecnología Química (CITeQ-CONICET-UTN), Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina
hfalcon@frc.utn.edu.ar

Resumen

En esta investigación se estudió el efecto del catalizador y la relación másica catalizador/biomasa en la pirolisis rápida de residuos provenientes de la fabricación de harinas de sorgo para la obtención de productos de valor agregado. Se seleccionó como catalizador la Zeolita Ultra-estable (USY), con diferentes relaciones másicas biomasa/catalizador y la temperatura de reacción de 450°C. La reacción de pirolisis se llevó a cabo en un reactor horizontal de cuarzo de lecho fijo a escala de laboratorio, ubicado dentro de un horno. Por medio del análisis de los productos de reacción del biolíquido llevados a cabo en un cromatógrafo de gases acoplado a un espectrómetro de masas (GC-MS) se determinó un rendimiento a Levoglucosano de 46,7% y selectividad de un 74,6%. Este compuesto (Levoglucosano) es muy valioso por sus aplicaciones en la fabricación de plásticos, productos farmacéuticos, resinas, o como base química de Furfural, Levoglucosenona, Sorbitol, entre otros.

Palabras clave: Biomasa; Residuos; Pirólisis; Levoglucosan; Zeolitas

Abstract

In this research, the effect of the catalyst and the catalyst/biomass mass ratio in the fast pyrolysis of waste from the production of sorghum flour to obtain value-added products was studied. Ultra-stable Zeolite (USY) was selected as the catalyst, with different catalyst/biomass mass ratios and reaction temperature of 450°C. The pyrolysis reaction was carried out in a laboratory-scale horizontal fixed-bed quartz reactor, located inside an oven. Through the analysis of the reaction products of the bioliquid carried out in a gas chromatograph coupled to a mass spectrometer (GC-MS), a Levoglucosan yield of 46,7% and selectivity of 74,6% were determined. The catalyst/biomass mass ratio significantly affects the yield. This compound (Levoglucosan) is very valuable for its applications in the manufacture of plastics, pharmaceutical products, resins, or as a chemical base for Furfural, Levoglucosenone, Sorbitol, among others.

Keywords: Biomass; Waste; Pyrolysis; Levoglucosan; Zeolite

Introducción

La biomasa lignocelulósica se puede convertir de manera efectiva mediante la tecnología de pirólisis rápida en compuestos con un alto valor agregado (Lachos-Pérez et ál., 2020). Sin embargo, se han encontrado varias propiedades desventajosas para el bio-oil, incluyendo una composición química compleja, que inhibe las aplicaciones prácticas del bio-oil de manera directa. En consecuencia, muchas investigaciones se han centrado en la pirólisis selectiva, que tiene como objetivo elegir la materia prima adecuada y controlar el proceso de pirólisis para obtener combustibles o bio-oil de alta calidad enriquecidos con productos químicos específicos de valor agregado (Qiu et ál., 2022).

El sorgo es uno de los cereales que está adquiriendo cada vez mayor relevancia en el mundo, debido a su potencial agronómico, nutricional y capacidad de adaptación a diversas condiciones de suelo y clima, lo que ha reportado enormes beneficios en la industria alimentaria, especialmente dirigida a la ganadería (Mathur et ál., 2017). Se sabe que los residuos de sorgo pueden ser transformados eficientemente por procesos térmicos en bioaceites y biocarbón con características interesantes (Poncio et ál., 2020).

Recientemente ha aumentado el interés industrial en la producción de Levoglucosano (LGO) y otros azúcares anhidros (Li et ál., 2020) (Téllez et ál., 2021). Este creciente interés se debe a varios factores. El LGO es potencialmente útil en la industria química para la fabricación de plásticos, surfactantes, productos farmacéuticos, propelentes y resinas, y como sustituto económico de materiales como el sorbitol.

En este trabajo, estudiamos el efecto de pirólisis térmica y catalítica de Sorgo Rojo a $T=450\text{ }^{\circ}\text{C}$, bajo diferentes proporciones de biomasa/catalizador, empleando Zeolita Ultra-estable (USY) como catalizador. Los bioaceites fueron analizados exhaustivamente por cromatografía de gases acoplada a un espectrómetro de masas.

Experimental

Acondicionamiento y caracterización de la biomasa

Se utilizó un híbrido de Sorgo Rojo (Sorgo Rojo SII). Los granos de Sorgo fueron provistos por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (Estación Experimental Anguil, La Pampa, Argentina) y Praga S.R.L (Alejo Ledesma, Córdoba, Argentina). Las muestras de sorgo se acondicionaron con un 12% de humedad, 24 h antes y se descascararon por abrasión, usando un descascarador de arroz de laboratorio (PAZ-DTA1, Brasil). El tiempo de abrasión se estableció en 180 s. Los residuos de sorgo consistieron exclusivamente en cascara obtenida del descarillado del grano.

Se determinó la presencia de material soluble (extractivos) (con agua según TAPPI 207 y con etanol según TAPPI 264), la lignina con el método Klason (norma TAPPI 222), la celulosa con el método Kurschner-Hoffer y por último la hemicelulosa se obtuvo por diferencia entre las anteriores. Para completar se determinaron la humedad (TAPPI 210) y el contenido de cenizas (TAPPI 211) de las muestras estudiadas.

Caracterización del catalizador

El catalizador zeolítico del tipo Zeolita Ultra-estable (USY), se caracterizó texturalmente por sortometría BET y para evaluar el tipo de sitios ácidos, se realizaron mediciones espectrales FT-IR de piridina adsorbida en la muestra.

Experimentos de pirólisis catalítica y no-catalítica

Los experimentos de pirólisis rápida + tratamiento catalítico de los residuos de Sorgo Rojo (SR) se llevaron a cabo en un reactor horizontal de cuarzo y de lecho fijo, ubicado dentro de un horno (Figura 1). En una prueba

típica, la muestra de biomasa sólida y el catalizador se colocaron dentro del reactor, que a través de un reactor auxiliar que tiene una estrangulación, permite separar físicamente la biomasa del catalizador.

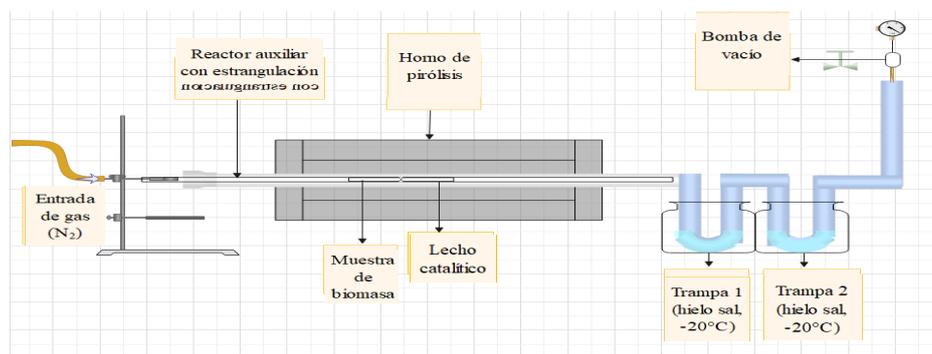


Figura 1. Imagen del equipo de pirólisis rápida + tratamiento catalítico en un solo reactor (“one-pot”)

Un extremo del reactor, opuesto a la entrada de la muestra, está conectado a una bomba de vacío, lo que permite tiempos de residencia muy cortos de los productos formados (< 1 s). Una vez que los productos primarios emergen de la zona de pirólisis, quedan atrapados a temperaturas criogénicas (-20 °C) evitando reacciones secundarias. El flujo de gas de arrastre, nitrógeno ultra seco, ayuda a la transferencia de los productos formados a la zona de condensación. Los experimentos se realizaron con 3 g de biomasa seca, con diferentes cargas de biomasa/catalizador: 10, 20, 30 y 40% p/p, a una presión de 360 mmHg y un flujo de N₂ de 30 mL·min⁻¹. En estas condiciones, se introduce el reactor auxiliar en la zona de calentamiento del reactor, fijándose en 15 min. los tiempos de reacción. La composición química del biolíquido se determinó mediante cromatografía de gases en un equipo Shimadzu QP2020 acoplado a un espectrómetro de masas con columna capilar HP-5 de 30 m × 0,250 mm. La identificación de los productos se realizó por comparación con la librería NIST considerando una coincidencia superior al 80%. Para cada reacción se establecieron los rendimientos de la fracción líquida y sólida por peso directo y la fracción gaseosa se calculó por diferencia.

Resultados y discusión

Caracterización de la biomasa

Se determinó el contenido de humedad de la muestra según el procedimiento establecido en la norma TAPPI210. Se sometió la muestra a un proceso de extracción en un equipo tipo Soxhket según normas TAPPI 207 y TAPPI 264, primero con agua durante 6,5 horas para extraer principalmente azúcares y luego con etanol durante 16 horas para dejarla libre de extractivos (Guiñazú et ál., 2022). Posteriormente se determinó la composición relativa de la biomasa: lignina por el método Klason (TAPPI 222), celulosa por el método Kurschner-Hoffer y hemicelulosa por diferencia. Para completar se determinó el contenido de cenizas (TAPPI 211) de las muestras.

Caracterización del catalizador

Se llevó a cabo la caracterización textural del catalizador por sortimetría BET obteniéndose los resultados mostrados en la tabla 1.

Tabla 1. Análisis Textural del catalizador

Área superficial aparente (m ² /g)	Volumen de poros (cm ³ /g)	Diámetro de poros (nm)
583,56	0,74	4,76

La constante BET (C) obtenida de 975, indico que este material es microporoso del tipo IV y con un bucle de histéresis de tipo H3 según la clasificación IUPAC. El área superficial se obtuvo por la pendiente y la intersección con el eje y en el gráfico de adsorción. El volumen del microporo fue de 0,24 cm³/g, según el análisis del diagrama t con una intersección de 155,07; que es 0,74 del volumen total.

También se evaluó el tipo de sitios ácidos con mediciones espectrales FT-IR de piridina adsorbida en la muestra y desorbida a distintas temperaturas (250, 350 y 400 °C). En la tabla 2 se muestran los valores de área de los tipos de sitios ácidos y las relaciones entre ellos.

Tabla 2. FT IR con adsorción de piridina

Temperatura	L	B	L/B	B/L	L/(L+B)
250°C	3,054	0,799	3,821	0,262	0,793
350°C	1,808	0,021	84,526	0,012	0,988
400°C	0,302	0,044	6,846	0,146	0,873

La determinación del tipo de sitios ácidos presentes en los catalizadores es de suma importancia, ya que de esto depende el tipo de reacciones en que puede ser aplicado (Guiñazú et ál., 2023). La Zeolita ultra-estable (USY), posee sitios ácidos de Lewis y de Brönsted. La combinación de estos sitios permite la existencia de diferentes caminos de reacción, favoreciendo la formación de compuestos determinados. Las propiedades físicas de los catalizadores también son de importancia en cuanto a la actividad de estos y su selectividad. De aquí puede concluirse que es necesario emplear catalizadores heterogéneos de poros espaciosos para lograr degradar la biomasa y obtener una alta proporción de bio-líquido. Como acabamos de discutir, es importante considerar al mismo tiempo el área accesible que el catalizador ofrece a las moléculas que provienen de la pirolisis, la concentración de los sitios ácidos y también la fuerza de estos. Si el área accesible es baja la concentración de la fracción solida es elevada. De esta manera se corrobora que la existencia de barreras difusionales, son las responsables de la menor degradación de la biomasa cuando se emplea catalizadores heterogéneos.

Rendimiento de los productos de pirólisis

En la Figura 2 se muestra los rendimientos (% p/p) de los productos sólidos, líquidos y gaseosos, obtenidos de la pirólisis térmica y catalítica de Sorgo Rojo a T=450 °C, bajo diferentes proporciones de biomasa/catalizador.

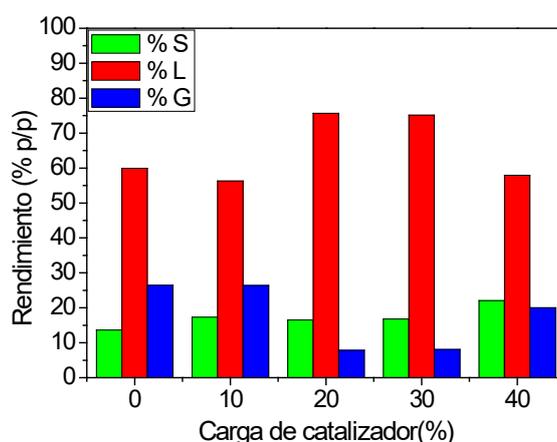


Figura 2. Rendimientos (%) de los productos de pirólisis catalítica y no catalítica de Sorgo Rojo a T=450 °C.

Para la pirolisis sin catalizador, el porcentaje de bio-líquido formado es menor que cuando se utiliza catalizador. Se observó que el empleo de una carga de catalizador entre el 20 y 30% p/p generó un aumento del porcentaje de bio-líquido, alcanzando un máximo de rendimiento del 74% y un rendimiento en fase gaseosa del

11,1%. Cuando la proporción de biomasa/catalizador fue del 40%, el rendimiento de bio-líquido producido por pirólisis disminuyó a un valor del 59,05% y el rendimiento en fase gaseosa fue del 20,1%.

Composición del bio-líquido

Los compuestos del bio-líquido producidos por pirólisis térmica y catalítica de Sorgo Rojo a T=450 °C, se analizaron mediante GC-MS. Las selectividades y los rendimientos de los compuestos que conforman las familias de compuestos presentes en el bio-líquido obtenido utilizando distintas cargas de catalizador se resumen en las figuras 5a y 5b. El examen de los resultados revela un aumento constante en la selectividad hacia la familia de anhidroazúcares del 80%, con el aumento de la carga biomasa/catalizador, mientras que el rendimiento exhibe un aumento inicial seguido de una disminución posterior

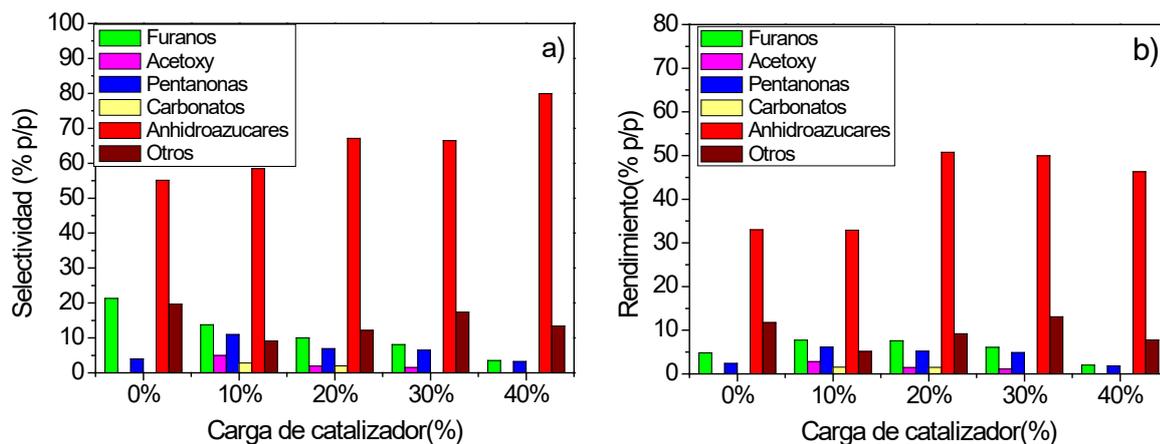


Figura 5. a) Selectividad de las familias de compuestos en el bio-líquido b) Rendimiento de las familias de compuestos

En la tabla 3 se detallan los rendimientos de cada compuesto que conforman el bio-líquido utilizando distintas cargas de catalizador/Biomasa 10, 20, 30 y 40%. Se observó una diferencia significativa en el rendimiento a Levoglucosano del 46,7% para una carga biomasa/catalizador del 20%.

Tabla 3. Rendimientos de los compuestos del bio-líquido

Compuestos	0%	10%	20%	30%	40%
Furfural	1,97	3,44	2,78	2,38	0,96
2-Furanmetanol	7,93	3,07	2,15	2,55	1,06
1-(acetyloxy)-2-propanona	-	1,27	-	-	-
Ciclopentanona	-	1,67	1,33	1,52	0,88
3-metil-ciclopentanona	-	1,11	1,34	1,54	-
Carbonato de propileno	-	1,56	1,49	-	-
1-(acetyloxy)-2-butanona,	-	1,52	1,43	1,13	-
5-metil-2-Furancarboxaldehído	-	1,22	1,34	1,14	-
2-Vinilfurano	-	-	1,28	-	-
3-Metilciclopentan-1,2-diona	2,36	2,28	2,52	1,80	0,96
Pentanal	-	1,078	-	-	-
1,4:3,6-Dianhidro-alfa-d-glucopiranososa	4,60	2,160	-	1,83	1,47
2,3-Anhidro-d-galactosa	-	0,985	1,29	-	-
5-Hidroximetilfurfural	2,85	-	-	-	-
2,3-Anhidro-d-mannosa	-	2,66	2,78	2,16	1,61
1,6-Anhidro-beta-D-glucopiranososa (levoglucosano)	28,40	27,08	46,7	45,90	43,19
Otros compuestos	11,76	5,13	9,19	13,07	7,75

Conclusiones

Se estudió la pirólisis rápida de residuos de sorgo rojo, con la incorporación de un sistema catalítico como estrategia tendiente a obtener productos de mayor valor agregado. Durante el proceso, la presencia del catalizador Zeolita ultra-estable (USY), en una proporción de biomasa/catalizador del 20% p/p, T=450 °C produjo un aumento de bio-líquido y un incremento hacia productos de importancia, tales como anhidroazúcares. El mayor rendimiento del compuesto orgánico correspondió a Levoglucosano con un valor del 46,7%. Los resultados obtenidos por espectroscopia FT IR para la adsorción de piridina, permitieron elucidar el tipo de sitios ácidos en la superficie y la cantidad de estos presentes en el catalizador. Los resultados provisorios de este estudio sugieren que el catalizador Zeolita ultra-estable (USY), puede ser usado como catalizador en pirolisis de residuos biomasicos, para obtener compuestos de mayor valor agregado. La tecnología de pirólisis rápida permite convertir los residuos agroindustriales en bio-líquidos, pudiendo ser utilizados como combustibles alternativos o como materia prima de alto valor para las industrias química y farmacéutica.

Referencias

- Guiñazú, O.N., Poncio, C.E., Cabanas, L., Mayer, S., Moyano, E., Renzini, S., Falcón, H. (2022) "Determinación de la Composición de la Fibra de Batata para su uso en la Obtención de Productos de Mayor Valor Agregado Mediante Pirólisis" 10^o Congreso de Investigaciones y Desarrollos en Tecnología y Ciencia, Villa María, 1 al 4 de noviembre, 440-444.
- Guiñazú, O.N., Poncio, C.E., Sánchez Faba, E., Moyano, L.E., Eimer, G., Falcón, H. (2023). "Evaluation of Catalytic Properties of Mesoporous Materials type Ce-SBA-15 for Transformations of Biomass into Chemical Products" Actas del WCCE -11th Word Congress of Chemical Engineering, Buenos Aires, Argentina, 4 al 8 de Junio, 229-232.
- Lachos-Perez, D., Martins-Vieira, J.C., Missau J., Anshu, K., Siakpebru, O.K., Thengane, S.K., Morais, A., Hiromitsu Tanabe, E., Assumpção Bertuol, D. (2023). "Review on Biomass Pyrolysis with a Focus on Bio-Oil Upgrading Techniques" *Analytica*, 4, 182-205.
- Li K. Wang B., Bolatibieke D., Nan D., Zhang Z., Cui M., Lu Q., (2020). "Catalytic fast pyrolysis of biomass with Ni-P-MCM-41 to selectively produce Levoglucosenone". *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 148, 104824.
- Mathur S., Umakanth A.V., Tonapi V.A., Sharma R., Sharma M.K. (2017). "Sweet sorghum as biofuel feedstock: recent advances and available resources". *Biotechnology for Biofuels*, (10), 146, 2-19.
- Poncio, C.E., Guiñazú, O.N., Mayer, S., Cabanas, L., Falcón, H. (2020) "Efecto del Uso de Catalizadores Ácidos Sobre la Distribución de Productos en la Pirólisis de Residuos Provenientes del Procesamiento de Sorgo" 10^o Congreso de Investigaciones y Desarrollos en Tecnología y Ciencia, Villa María, 21 al 25 de junio, 251-256.
- Qiu, B., Tao, X., Wang, J., Liu, Y., Li, S., Chu, H. (2022) "Research progress in the preparation of high-quality liquid fuels and chemicals by catalytic pyrolysis of biomass: A review". *Energy Conversion and Management*, 261, 115647
- Tellez J.F., Silva M.P., Simister R., Gomez L.D., Fuertes V.C., De Paoli J.M., Moyano E.L. (2021). "Fast pyrolysis of rice husk under vacuum conditions to produce levoglucosan". *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* (156) 105105.

Caracterización y curva de crecimiento de *Escherichia coli* para su posterior aplicación en ensayos con agua activada con plasma no térmico

Characterization and growth curve of *Escherichia coli* for application in non-thermal plasma-activated water assays

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Melisa Romina Baumann

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional de Villa María. Av. Universidad 450 (CP 5900), Villa María, Córdoba, Argentina.

melisabaumann4@gmail.com

Aldana Berenice Cativa Sonzini

Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional de Villa María. Av. Universidad 450 (CP 5900), Villa María, Córdoba, Argentina.

abcativasonzini@gmail.com

Romina Andrea Bachetti

Instituto Multidisciplinario de Investigación y Transferencia Agroalimentaria y Biotecnológica (IMITAB-CONICET). Instituto Académico Pedagógico de Ciencias Básicas y Aplicadas (IAPCByA), Universidad Nacional de Villa María (UNVM). Av. Arturo Jauretche 1555 (CP 5900), Villa María, Córdoba, Argentina.

Fernanda Gabriela Biolé

Instituto Multidisciplinario de Investigación y Transferencia Agroalimentaria y Biotecnológica (IMITAB-CONICET). Instituto Académico Pedagógico de Ciencias Básicas y Aplicadas (IAPCByA), Universidad Nacional de Villa María (UNVM). Av. Arturo Jauretche 1555 (CP 5900), Villa María, Córdoba, Argentina.

Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional de Villa María. Av. Universidad 450 (CP 5900), Villa María, Córdoba, Argentina.

ferbiole@gmail.com

Andrea Gómez Sánchez

Centro de Investigaciones y Transferencia Villa María (CIT-CONICET). Universidad Nacional de Villa María (UNVM). Av. Arturo Jauretche 1555 (CP 5900), Villa María, Córdoba, Argentina.

Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional de Villa María. Av. Universidad 450 (CP 5900), Villa María, Córdoba, Argentina.

aaguar@gmail.com

Resumen

Este estudio inicia con un relevamiento de información sobre bacterias patógenas formadoras de *biofilms*, con especial énfasis en *Escherichia coli*. El objetivo de este trabajo es caracterizar y realizar la curva de crecimiento de

E. coli para conocer la cinética de dicho microorganismo y posteriormente realizar ensayos en laboratorio con agua activada con plasma no térmico (PAW) a fin de inactivar los mismos en agua de establecimientos rurales. Se efectuó la caracterización morfológica macroscópica, microscópica y bioquímica de una cepa pura de *E. coli*. Se evaluó el crecimiento mediante turbidimetría y recuento en placa en superficie. Se construyó la curva de crecimiento en condiciones óptimas y se determinaron los principales parámetros de la cinética de crecimiento, tiempo generacional de $g = 27$ min y constante de velocidad instantánea de crecimiento de $\mu = 0,783 \text{ h}^{-1}$.

Los resultados presentados son el punto de partida y permitirán evaluar el efecto biocida del PAW sobre estos microorganismos.

Palabras clave: Plasma no térmico, bacterias patógenas, *E. coli*, cinética de crecimiento

Abstract

This study begins with a survey of information on pathogenic biofilm-forming bacteria, with special emphasis on *Escherichia coli*. The characterization and growth curve of *E. coli* was carried out to know the kinetics of said microorganism and subsequently carry out laboratory tests with water activated with non-thermal plasma (PAW) with the objective of inactivating them in water from rural establishments. The macroscopic, microscopic and biochemical morphological characterization of a pure strain of *E. coli* was carried out. Growth was evaluated by turbidimetry and surface plate counting. The growth curve was constructed under optimal conditions and the main parameters of growth kinetics were determined, generation time of $g = 27$ min and instantaneous growth rate constant of $\mu = 0.783 \text{ h}^{-1}$.

The results presented are the starting point and will allow evaluating the biocidal effect of PAW on these microorganisms.

Keywords: Non-thermal plasma, pathogenic bacteria, *E. coli*, growth kinetics

Introducción

El agua subterránea es la principal fuente de abastecimiento en numerosas regiones, especialmente en zonas rurales que carecen de suministro de agua potable o de red. En Argentina, más de 1,2 millones de personas dependen de esta fuente para consumo humano, riego, producción de alimentos y limpieza de instalaciones. La región pampeana es una de las zonas agrícolas-ganaderas más importantes del mundo, el 75% de la agricultura y el 90% de la producción lechera se concentra en ella (Bettera et al., 2011).

El agua contaminada puede ser la fuente de grandes epidemias de enfermedades. Según la Organización Mundial de la Salud, casi mil millones de personas carecen de acceso a agua potable y se estima que 500 millones mueren cada año por enfermedades asociadas con fuentes contaminadas (Cheng et al., 2022). El peligro más común y difundido relativo al agua potable es el riesgo de contaminación biológica por los patógenos presentes en las heces de animales. Estos pueden infiltrarse en los cuerpos de agua, lo cual se evidencia por la presencia de bacterias indicadoras de contaminación fecal como *E. coli* (Urseler et al., 2019). Resultados obtenidos afirman que una alta proporción de establecimientos agropecuarios disponen de agua no apta microbiológicamente para los diferentes usos a la que se la destina (Bettera et al., 2011).

Como estrategia de supervivencia, estas bacterias patógenas tienen la capacidad de formar *biofilms* (Xia et al., 2023). Recientemente se han desarrollado nuevas estrategias de control contra los *biofilms*, una de ellas es el agua activada con plasma no térmico (PAW) (Mai-Prochnow et al., 2021). Como producto de desinfección verde, PAW es una alternativa prometedora en relación a los desinfectantes tradicionales aplicados en el agua, la agricultura y la industria alimentaria (Shen et al., 2016).

Cuando el plasma está en contacto con el agua, las especies generadas por la descarga pueden transferirse hacia el líquido, a través de la interfaz gas-líquido, induciendo la generación de nuevas especies reactivas que juegan un papel importante en la actividad antimicrobiana del PAW, tales como OH^\cdot , H_2O_2 , NO_2^- y NO_3^- en medio ácido (Cheng et al., 2022). La interacción del plasma con el agua afecta las propiedades fisicoquímicas del líquido, reduciendo el pH y aumentando el potencial de óxido-reducción (ORP) y la conductividad eléctrica. Estas características del PAW actúan de forma sinérgica con las especies oxidantes que lo componen, se ha demostrado no solo su efectividad en la inactivación de la microbiota natural en agua y alimentos, sino también sobre la capacidad de los microorganismos de formar *biofilms* (Xia et al., 2023). PAW inactiva una importante variedad de

bacterias, como *Escherichia coli* (O157H7), *Listeria innocua*, *L. monocytogenes*, *Pseudomonas aeruginosas*, *Staphylococcus aureus* y *Shewanella putrefaciens*, entre otras (Shen et al., 2016).

Desarrollo

E. coli es un microorganismo perteneciente a la familia *Enterobacteriaceae*. Es un bacilo Gram negativo recto, no esporulado, usualmente móvil (mediante flagelos peritricos), que crece óptimamente a 37°C y a pH neutro (Sussman, 1997). Es anaerobia facultativa, con un tipo de metabolismo que puede ser tanto fermentativo como respiratorio (Conway, 1995). Representa uno de los modelos biológicos más estudiados desde el punto de vista genético, bioquímico y funcional (Santos et al., 2005). Tanto su frecuente estilo de vida comunitario como la disponibilidad de una amplia gama de herramientas genéticas contribuyeron a establecer a *E. coli* como un organismo modelo relevante para el estudio de la colonización de la superficie. Varios factores clave, incluidos diferentes apéndices extracelulares, están implicados en la colonización de la superficie por *E. coli* y su expresión y actividad están finamente reguladas, tanto en el espacio como en el tiempo, para asegurar eventos productivos que conducen a la formación de biopelículas maduras (Beloin et al., 2008). Este modo de crecimiento maximiza la obtención de nutrientes favoreciendo la colonización, permite la cooperación entre las cepas por medio del crecimiento en comunidad y propicia la protección frente a los mecanismos de defensa del hospedador o a sustancias antimicrobianas (Faleiro Neves, 2010).

El conocimiento de cómo una población microbiana puede multiplicarse rápidamente, resulta útil para el diseño de métodos de control de crecimiento microbiano. Su habilidad para colonizar un ambiente requiere la capacidad para alternar períodos de rápida división celular y de crecimiento nulo (Madigan et al., 1999). Las poblaciones microbianas en medios de cultivos pueden presentar distintos comportamientos de crecimiento, esto es representado mediante una curva de crecimiento en la que se distinguen cuatro fases: de latencia (hay aumento de volumen, pero las bacterias no se dividen), logarítmica o exponencial (las células empiezan a duplicarse a un ritmo constante), estacionaria (el número de células no cambia) y de declinación o muerte (el número de células muertas supera a las vivas, hay decrecimiento en la población) (Santos et al., 2005).

Estas curvas se utilizan para calcular la cinética de crecimiento de los microorganismos. Cuando el crecimiento es exponencial, se define matemáticamente como una reacción de primer orden, donde el incremento del número de bacterias respecto al tiempo es proporcional al número de células presentes en aquel momento, con lo cual se obtienen ciertos parámetros de estudio, como el de la tasa de crecimiento (μ), y el tiempo de generación (g), que es el tiempo requerido para que una bacteria duplique el número de células de un cultivo (si este está en crecimiento exponencial). El tiempo de generación, se utiliza para ensayar el efecto positivo o negativo de algún tratamiento sobre cultivos bacterianos (Madigan et al., 1999).

Para aplicar estas ecuaciones, es necesario conocer las concentraciones de las bacterias en distintos intervalos de tiempo, pudiéndose obtener por diferentes métodos, tales como: determinación de la masa celular por turbidimetría y recuento de células viables (Madigan et al., 1999).

Desarrollo Experimental:

Tabla 1. Materiales y equipos utilizados para caracterizar y realizar la curva de crecimiento de *E. coli*

Materiales		Equipos	
Portaobjeto	Tubos Eppendorf	Estufa de cultivo	Balanza
Placas Petri	Erlenmeyer	Microscopio óptico	Pipetas automáticas
Ansa	Mechero	Espectrofotómetro	Cabina flujo laminar
Tubos estériles		Agitador orbital termotizado	

Caracterización de *E. coli*:

Se partió de cultivos puros de una cepa de *E. coli* ATCC 25922, para el aislamiento y diferenciación se sembró la bacteria en medio selectivo diferencial Eosin Methylene Blue Agar (EMB-Levine) y se incubó a 37 °C \pm 1 °C durante 24 h. Este medio es adecuado para el crecimiento de enterobacterias, inhibe el crecimiento de bacterias Gram positivas y permite la diferenciación de bacterias fermentadoras y no fermentadoras de lactosa.

Para la caracterización celular se realizó la tinción de Gram con el kit (Britania) siguiendo las especificaciones del fabricante. Se tomó una colonia con ansa y se fijó el preparado. Se realizó la coloración con Violeta para Gram (20”), se lavó con agua corriente, se cubrió con lugol (30”), se lavó con Decolorante para Gram (10”), se coloreó

con safranina para Gram (20") y se lavó con agua corriente. Finalmente, los preparados se secaron y fueron observados a microscopio óptico Primo Star 3 (Carl Zeiss) y fotografiados con una cámara digital Axiocam 208 Color (Carl Zeiss).

Además, mediante pruebas bioquímicas se caracterizó metabólicamente la cepa. Se empleó un sistema comercial multiprueba Enterotest Individual Base mediante los pasos descritos en el Manual de Instrucción A07070 – A07071. Se realizaron las pruebas a partir de una misma colonia, se sembraron con ansa en cuatro tubos: tubo del medio Glu-Lac-SH2Gas, tubo del medio Indol-Movilidad, tubo del medio Urea y tubo del medio Citrato. Luego, se incubaron en aerobiosis a 35-37 °C durante 24 h.

Por último, se realizó la prueba de la oxidasa que permite determinar la presencia de enzimas oxidasas debido a la existencia de un sistema citocromo oxidasa presentes en organismos aerobios y algunos anaerobios facultativos. Se humedeció el disco de Oxidasa (Britania) con una gota de agua, se colocó una colonia de *E. coli* y luego de 1 minuto a temperatura ambiente se observó la reacción (Positivo: color rosa; Negativo: incoloro).

Curva de crecimiento de *E. coli*:

Se utilizó una cepa pura de *E. coli* conservada en freezer a -80 °C. Se descongeló y repicó en placas con agar Luria-Bertani (LB). Se preparó un cultivo "overnight" (ON) de la bacteria en 5 ml de caldo LB y se incubó en agitación (150 rpm) a 30 °C durante 24 h hasta alcanzar la fase estacionaria (DO₆₀₀ nm 0,746). Se preparó una batería de 3 erlenmeyers de 50 ml con 30 ml de medio LB que se inocularon con 300 µl de cultivo (1% v/v).

Se cuantificó la población de bacterias por dos métodos: 1) Determinación de la masa celular por turbidimetría. Se midió la DO₆₀₀ de los cultivos de *E. coli*. cada 1 h (primeras 2 h), cada 1/2 h (hasta las 4 y 1/2 h) y cada 1 h (hasta las 12 h). 2) Determinación del número de células viables por recuento en placa en superficie. Se tomaron alícuotas de cada cultivo y se realizaron diluciones seriadas decimales, hasta llegar a la dilución 10⁻⁶. Una vez preparadas las diluciones seriadas se sembraron las últimas 3 diluciones en placas con agar LB, en condiciones de esterilidad, mediante la técnica de microgota (entre tres o cuatro gotas de 10 µl), y se incubaron las placas a 30 °C durante 12 h. Luego, se seleccionó la dilución que presentó entre 3 a 30 (UFC/ml). Se realizó el recuento en placa en superficie y se calculó el promedio del número de células viables/ml de cultivo (UFC/ml). Finalmente, se determinó g y µ a partir de las ecuaciones 1 y 2.

$$g = t/n \tag{1}$$

$$\mu = 2,303 \cdot (\log N2 - \log N1)/(t2 - t1) \tag{2}$$

Dónde; t: tiempo de crecimiento exponencial, n: número de generaciones.

Resultados y discusión

Con respecto a la caracterización, en primer lugar, se observaron macroscópicamente las colonias aisladas en agar EMB, y se lograron diferenciar colonias fermentadoras de lactosa ya que presentaron color azulado-negro con el característico brillo metálico (Figura 1.a).

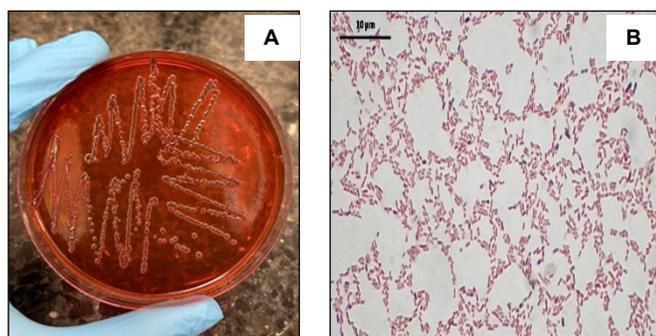


Figura 1. a) *E. coli* en medio EMB. b) Colonia de *E. coli* en microscopio.

En segundo lugar, luego de la realización de la tinción de Gram se pudo constatar que las bacterias son Gram negativas ya que la coloración observada es rosa-rojiza (Figura 1.b) y que la morfología corresponde a un bacilo. Los resultados obtenidos de las pruebas bioquímicas se detallan en la Tabla 2. La prueba de la oxidasa arrojó un resultado negativo.

Tabla 2. Resultados de las pruebas bioquímicas de la cepa pura de *E. coli*.

Prueba	Resultado
Fermentación de la glucosa	+
Fermentación de la lactosa	+
Producción de gas	+
Hidrolización de la urea	-
Producción de SH₂	-
Utilización del citrato	-
Movilidad	+
Producción de indol	+

En base a lo observado en las colonias macroscópicamente, a la tinción de Gram, al microscopio y a los resultados del Enterotest, se confirmó que la bacteria en estudio es *E. coli*, y se logró caracterizarla. Es capaz de desarrollarse en presencia de sales biliares, tiene movilidad, es fermentadora de glucosa y lactosa con producción de gas y aldehído, es oxidasa negativa, no forma esporas y produce indol a partir de triptófano. La prueba bioquímica de rojo de metilo dio positiva, al no producir acetilmetilcarbinol y al no utilizar citrato como fuente de carbono.

Se construyó la curva de crecimiento de *E. coli* mediante determinación de crecimiento bacteriano por turbidimetría (DO) y por recuento en placa en superficie (UFC/ml) (Figura 2). Para ambas determinaciones se observó la misma tendencia. Entre las 0 y 2,30 h (0 y 150 min) el crecimiento fue casi nulo, siendo esta la fase de latencia dónde las células están sintetizando nuevos componentes e incrementan la expresión de los genes importantes para el crecimiento. Pasadas las 2,30 h se observó un crecimiento exponencial, el cual corresponde a la fase del mismo nombre, siendo esta dónde las bacterias recuperan el ciclo celular e incrementan su número exponencialmente (Santos et al., 2005). A las 6 h se observó un cambio en la pendiente de la curva correspondiente con la fase estacionaria como consecuencia de la disminución de la velocidad de síntesis de macromoléculas, dicha fase inicia cuando disminuyen los nutrientes (Almaguer, 2017).

Se obtuvo un $\mu = 0,783 \text{ h}^{-1}$ y una $g = 27 \text{ min}$.

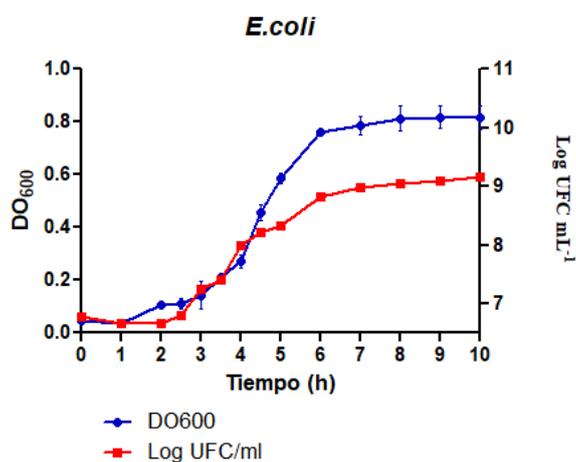


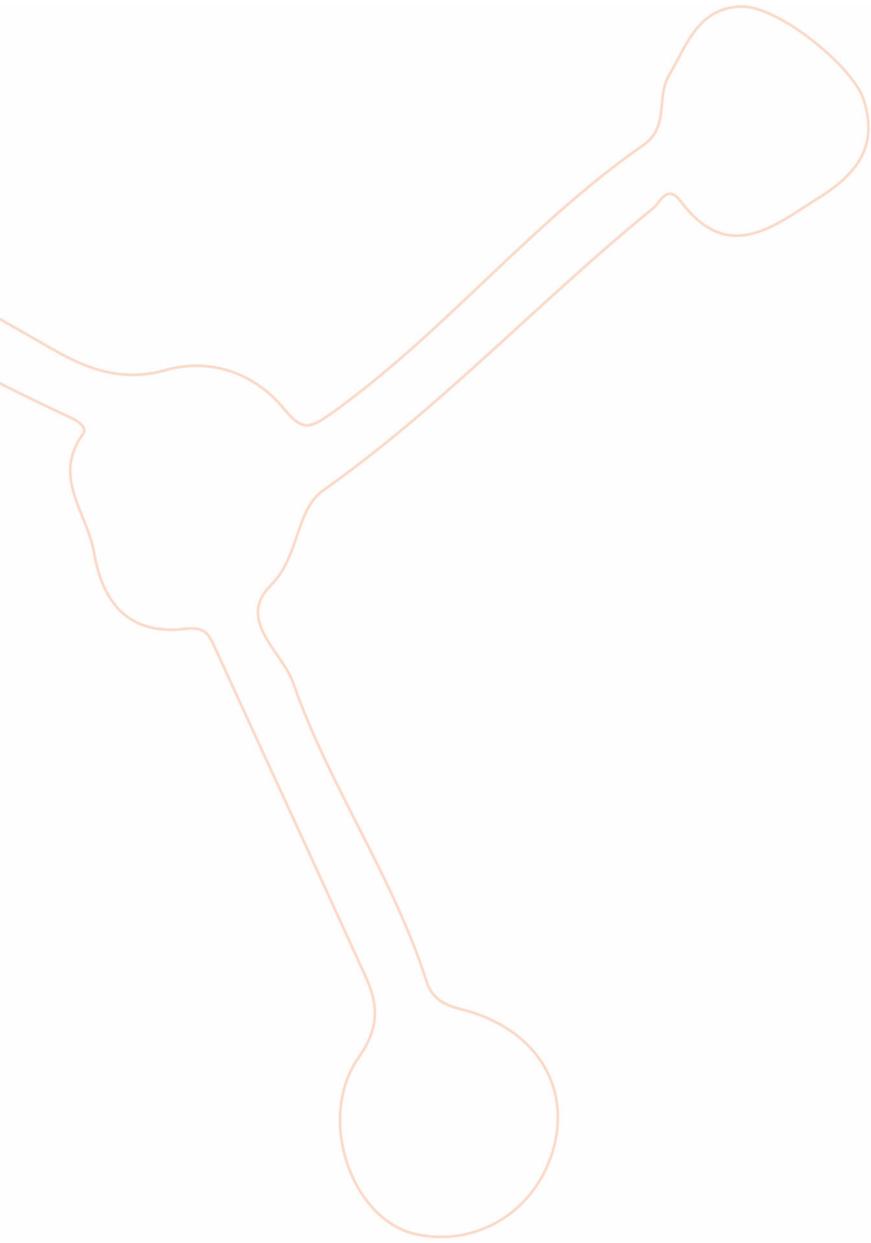
Figura 2. Curva de crecimiento de *E. coli*.

Conclusiones

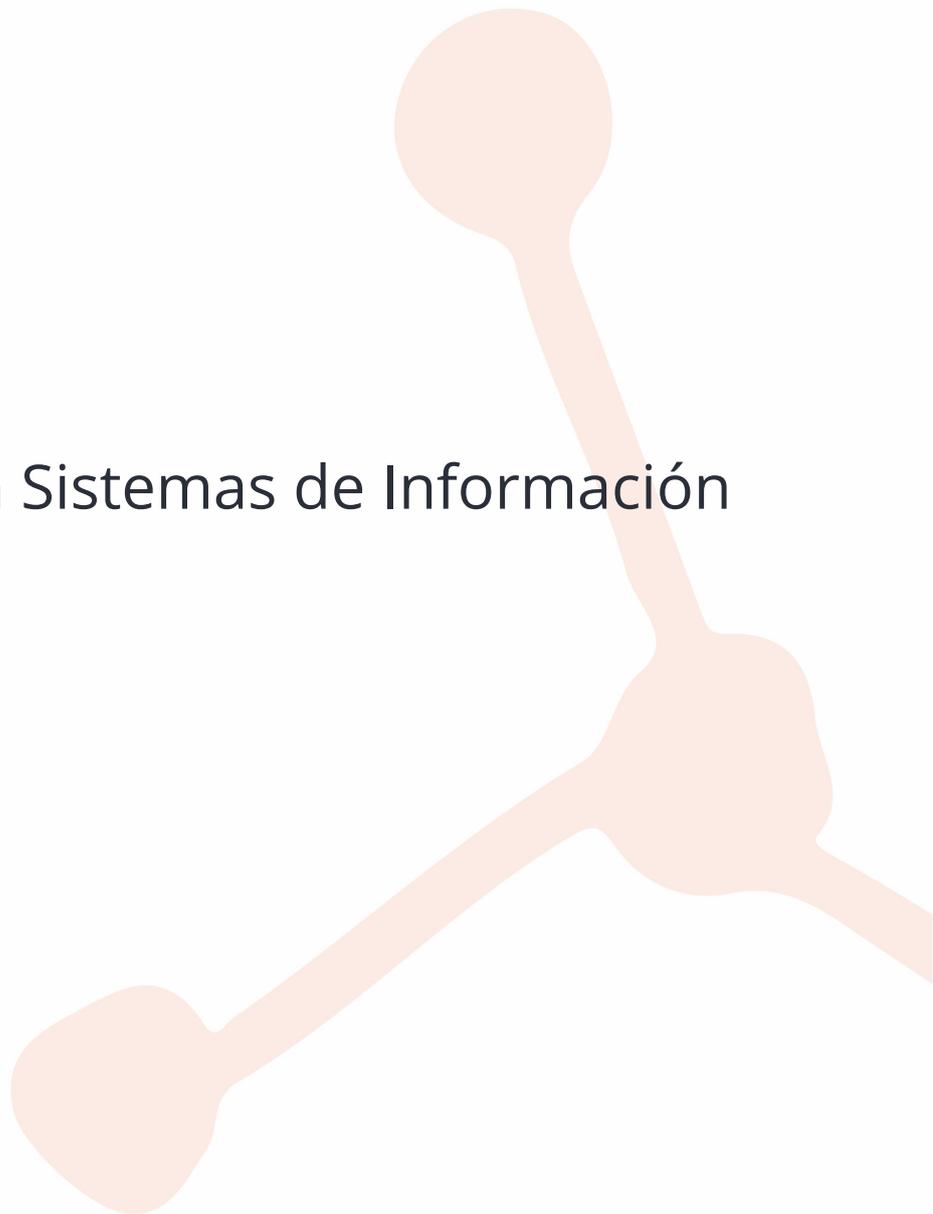
- Los resultados obtenidos mediante la tinción Gram, pruebas bioquímicas y prueba de oxidasa confirman que la cepa utilizada en este trabajo corresponde a *Escherichia coli*.
- La curva de crecimiento se corresponde a la obtenida por otros autores y presentó una velocidad de crecimiento óptima.
- Tanto la caracterización de *E. coli*, como el estudio de su crecimiento resultan imprescindibles y permitirán evaluar el efecto del agua activada por plasma no térmico sobre dichos microorganismos patógenos.

Referencias

- Almaguer, S. (2017). Estudio del efecto de las interacciones no específicas en la división de la *Escherichia coli*. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional Unidad Monterre. Apodaca. Nuevo León. <https://repositorio.cinvestav.mx/handle/cinvestav/3259>
- Beloin, C., Roux, A., Ghigo, M. (2008). *Escherichia coli* Biofilms. Bacterial Biofilms, Vol. 322. ISBN: 978-3-540-75417-6
- Bettera, S., Dieser, S., Vissio, C., Geuna, G., Díaz, C., Larriestra, A., Odierno, L., Frigerio, C. (2011). Calidad microbiológica del agua utilizada en establecimientos lecheros de la zona de Villa María (Córdoba). Rev. Argent. Microbiol. vol.43 N°2. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0325-75412011000200008
- Cheng, H., Luo, J., Song, K., Zhao, F., Liu, D., Nie, L., Lu, X. (2022). On the dose of plasma medicine: Plasma-activated medium (PAM) and its effect on cell viability. Phys. Plasmas 29, 063506 doi:10.1063/5.0089357
- Conway PL. (1995). Microbial ecology of the human large intestine. En: Gibson GR, Macfarlane GT (eds). Human Colonic Bacteria: Role in Nutrition Physiology and Pathology. CRC Press, Florida. pp 1-24.
- Faleiro Naves, P. (2010). Formación de biopelículas por "*Escherichia coli*" y su correlación con factores de virulencia: Prevención y actividad de antimicrobianos frente a organismos planctónicos y asociados. Madrid. ISBN: 978-84-692-8575-6
- Madigan, M., Martinko, J., Parker, J. (1999). Brock. Biología de los microorganismos. 8^{va} Ed. Prentice Hall Iberia. Madrid.
- Mai-Prochnow, A., Zhou, R., Zhang, T., Ostrikov, K., Mugunthan, S., Rice, S. (2021). Interactions of plasma-activated water with *biofilms*: inactivation, dispersal effects and mechanisms of action. doi: 10.1038/s41522-020-00180-6
- Santos, J.M., Contreras Ferrat. G., Gómez Eichelmann, M.C. (2005). La fase estacionaria en la bacteria *Escherichia coli*. Rev. Latinoamericana de Microb. Vol. 47, No. 3-4. pp. 92 - 101. <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/RICA.2019.35.04.06/46903>
- Shen, J., Tian, Y., Li, Y., Ruonan, M., Zhang, Q., Zhang, J., Jing, C. (2016). Bactericidal Effects against *S. aureus* and Physico chemical Properties of Plasma Activated Water stored at different temperatures. SciRep 6, 28505. doi: 10.1038/srep28505
- Sussman, M. (1997). *Escherichia coli*: mechanisms of virulence. Cambridge. University Press. pp. 643.
- Urseler, N., Bachetti, R., Damilano, G., Morgante, V., Ingaramo, R., Saino, y otros. (2019). Calidad microbiológica del agua subterránea en establecimientos agropecuarios del centro-sur de Córdoba, Argentina: aptitudes y usos. doi: 10.20937/RICA.2019.35.04.06
- Xia, B., Kumari Nilesh Vyas, H., Zhou, R., Zhang, T., Hong, J., Rothwell, J., y otros. (2023). The importance of superoxide anion for *Escherichia coli* *biofilm* removal using plasma-activated water. doi: 10.1016/j.jece.2023.109977



Ingeniería en Sistemas de Información



Empleo del Enfoque por Competencias en la valoración de una actividad experimental mediada por las TIC por parte de estudiantes de ingeniería mediante un cuestionario de opinión

Student evaluation of an experimental activity based on the Competency Approach mediated by ICT through an opinion questionnaire

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Claudio Enrique

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe, UDB Física - GECIBA (Dpto. Materias Básicas), Lavaisse 610, (3000), Santa Fe, Argentina
cenrique@frsf.utn.edu.ar

Resumen

Este trabajo propone analizar las opiniones de estudiantes de ingeniería sobre una actividad experimental mediada por las TIC. Específicamente, se indagó sobre información recolectada mediante un cuestionario de opinión, construido y validado para tal fin, sobre el empleo de un simulador de acceso libre sobre el movimiento de un proyectil. La meta fue involucrar, en una actividad experimental formativa en Física I, a los estudiantes tanto en los roles de aprendices así también como evaluadores del instrumento didáctico empleado en la co-construcción de sus conocimientos sobre la Cinemática de la partícula que ponen en juego durante las actividades realizadas con el simulador. Así, se logró incorporar una nueva dimensión en sus procesos educativos, la cual está relacionada con el Enfoque por Competencias. Los resultados obtenidos revelaron una participación comprometida de los estudiantes que resultaron ser provechosas y relevantes para el análisis de fortalezas y debilidades del simulador como herramienta didáctica.

Palabras clave: Cuestionarios de opinión - Física - Cinemática de la partícula - TIC - Enfoque por Competencias

Abstract

This work proposes to analyze the opinions of engineering students about an experimental activity mediated by ICT. Specifically, information collected through an opinion questionnaire, built and validated for this purpose, was investigated on the use of a free access simulator on the movement of a projectile. The goal was to involve, in an experimental training activity in Physics I, the students both in the roles of learners as well as as evaluators of the didactic instrument used in the co-construction of their knowledge about the Kinematics of the particle that they put into play during the activities carried out with the simulator. Thus, it was possible to incorporate a new dimension into its educational processes, which is related to the skills-based approach. The results obtained revealed a committed participation of the students that turned out to be useful and relevant for the analysis of strengths and weaknesses of the simulator as a didactic tool.

Keywords: Opinion questionnaires - Physics - Particle kinematics - ICT - Skills-based approach

Introducción

La enseñanza universitaria y la evaluación, como parte de ella, hace tiempo que se encuentra en una etapa de renovación y reorientándose hacia un nuevo sentido sobre el conocimiento construido, desde una perspectiva basada en la conceptualización, hacia el Enfoque por Competencias (EC), donde, según Le Boterf (2000) los sujetos deben tener la capacidad de *saber hacer* o *saber actuar*. Específicamente, los estudiantes deben participar activamente en la gestión de sus procesos educativos propios de un contexto dinámico muy cambiante, donde los

conocimientos que tienen disponibles deben ser “aplicados” en una realidad social con nuevas demandas de las que, tradicionalmente, podía ofrecer sus servicios un ingeniero. Este nuevo escenario educativo y en particular sobre la educación de ingenieros en formación, deben contemplarse las competencias de egreso - tanto genéricas como específicas - mencionadas en algunos documentos de referencias (CONFEDI, L. R., 2018: 21). Dentro de las competencias tecnológicas, además de ser capaces de “1. Identificar, formular y resolver problemas de ingeniería” y “4. Utilizar de manera efectiva las técnicas y herramientas de aplicación en la ingeniería”, los ingenieros en formación además deben “5. Contribuir a la generación de desarrollos tecnológicos y/o innovaciones tecnológicas”.

La evaluación ocupa un lugar muy relevante dentro del proceso de enseñanza - aprendizaje. Por ello, constituye una de las categorías didácticas que requiere de mayor atención en cualquier proceso educativo (Viau et ál., 2019). Stobart (2010: 11) expresa que “la evaluación influye directamente en lo que aprendemos y en cómo lo aprendemos y puede limitar o promover el aprendizaje efectivo”; para lo cual propone modificaciones en las formas de evaluar, en la cual se utilicen otras opciones dirigidas hacia lo aprendido y no solamente en los resultados. Específicamente sobre la materia que es de interés en este trabajo para las ingenierías, Calzada et ál. (2016: 3), indican que “... durante la práctica pedagógica diaria se ha observado que el proceso de evaluación del aprendizaje de la Física, de manera general, no considera su función formativa, se realiza mediante instrumentos y técnicas tradicionales a la vez que las evaluaciones que se aplican son predominantemente de carácter reproductivo, dirigidas a evaluar el resultado del aprendizaje y no el proceso...”. En la misma línea y dentro del EC, en este trabajo se considera que es imprescindible incorporar una nueva actividad: que los estudiantes participen en sus procesos educativos como evaluadores de los materiales didácticos que emplean para sus procesos de aprendizaje.

Desarrollo

El objetivo de esta investigación fue analizar las opiniones de un grupo de estudiantes de primer año de Ingeniería en Sistemas de Información sobre un simulador que representa el movimiento de un proyectil y que se emplea desde hace tiempo en la materia Física I que se dicta en la UTN - FRSF. En este trabajo se considera que cuando se emplea el Enfoque por Competencias (EC), es necesario e imprescindible no sólo modificar las maneras tradicionales de evaluar, sino también invitar a participar a otros integrantes del proceso educativo en las actividades propias de la evaluación de dicho proceso: en este caso, a los estudiantes, que son quienes participan activamente de su actividad formativa bajo dicho Enfoque. La meta fue proponer actividades enfocadas en el aprendizaje del alumno que contemple la implementación de metodologías activas y participativas de enseñanza y aprendizaje, incluyendo nuevos instrumentos de evaluación como las encuestas de opinión. Galavis y Álvarez (2010: 3) manifiestan que “...las encuestas de opinión de los alumnos, especialmente en las aulas universitarias, se han convertido en una herramienta fundamental para averiguar lo que los individuos piensan o perciben de una determinada materia... y que sin duda permiten introducir elementos de mejora.”

De esta manera se podría establecer un ámbito de investigación donde es posible captar y analizar los procesos de co - construcción y re - construcción del conocimiento de manera empírica, mediante las formas de organización e interacción que desarrollan los alumnos cuando interactúan con las simulaciones y que comunican mediante sus informes de actividades. En concreto, se podría indagar si los sujetos son capaces de atribuir significados, mediante el uso de las TIC, para el estudio del Movimiento del Proyectil. Pero debe tenerse en cuenta que esta interacción se da en un entorno social. En consecuencia, la cuestión es averiguar cuáles son las variaciones en las formas, sentidos, y orientaciones de la intervención didáctica; y de qué manera, y en qué momento se puede favorecer “una influencia educativa ajustada a la diversidad de momentos y situaciones que van apareciendo en el proceso constructivo que realizan los alumnos al aprender” (Coll et ál., 2008: 50). Es en esta parte del esquema donde el profesor se transforma en el responsable de realizar un adecuado diseño tecnopedagógico sobre estos nuevos materiales didácticos. Pero también, en el marco de este trabajo, es deseable que dicho diseño tecnopedagógico contemple la evaluación de los principales interesados en los procesos de co-construcción de sus conocimientos. Es decir, de parte de los estudiantes.

El Trabajo Práctico (TP) indagado se basa en el uso de las TIC sobre conceptos del movimiento de una partícula en un plano, conocido tradicionalmente como tiro oblicuo o movimiento de un proyectil. Mediante el uso de distintas tareas dirigidas mediante la guía del TP, la meta es facilitar y desarrollar habilidades y aptitudes para la comprensión de este tipo de movimiento bidimensional. Desde hace algunos años, el software empleado en la UDB Física de la UTN - FRSF es el MPL (Movimiento de Partículas Libre), el cual es de acceso libre y se encuentra disponible en la siguiente página web: <https://www.fiq.unl.edu.ar/galileo/software.htm>, la cual pertenece al Grupo Galileo de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Litoral (FIQ - UNL). En las descripciones presentes en la mencionada página web, junto al autor del programa y su disponibilidad como archivo comprimido, indica que el programa “Simula el lanzamiento de proyectiles, en vacío y en aire. Permite modificar las características del proyectil

(tamaño, forma, material) y agregar un “blanco” fijo o en movimiento.” Por otro lado, la guía de actividades experimentales ha sido elaborada y revisada periódicamente por parte del cuerpo de docentes de la UDB Física de la UTN - FRSF.

Para favorecer un entorno colaborativo y cooperativo de aprendizaje, tanto las actividades experimentales como la redacción del informe correspondiente fueron realizadas de manera grupal, donde cada comisión debió estar conformada por un máximo de cuatro estudiantes y a libre elección por parte de éstos. La aprobación de esta instancia educativa contempló tanto la entrega de los informes como la respuesta al cuestionario de opinión sobre el empleo del simulador, siendo esta última instancia de carácter individual, dado que las opiniones suelen ser distintas y propias de cada sujeto cognoscente.

El cuestionario fue elaborado mediante la herramienta de acceso libre Formularios de Google, y se conformó por once consignas evaluadas en una escala tipo Likert. Para la construcción de dicho cuestionario se consideraron como referentes los trabajos de Martínez et ál. (2021); Astudillo Araya et ál. (2017); Johnson y Christensen (2014); Casal (2010); y Casas-Jiménez et ál. (2006). Se realizó un ensayo previo para verificar la toma de datos sobre la información recolectada, y así tener ciertas garantías sobre el objeto de estudio antes de emplearlos en la investigación (Johnson y Christensen, 2014). Las consignas presentadas en el cuestionario fueron las siguientes:

1. En mi experiencia, la secuencia de actividades con el simulador fue adecuadas;
2. El simulador fomentó un aprendizaje activador y constructivo;
3. La simulación me ha ayudado a integrar teoría y práctica;
4. El simulador proporcionó una idea clara de los fenómenos físicos estudiados;
5. Con el simulador, los aspectos técnicos fueron fáciles de comprender, ejecutar, y comunicar en el informe;
6. La duración de las actividades realizadas con el simulador fue adecuada a mis necesidades;
7. Las actividades desarrolladas con el simulador me han motivado a aprender el tema desarrollado;
8. La simulación ha fomentado la comunicación entre los miembros del equipo;
9. La interacción con el simulador ha mejorado mis aprendizajes y habilidades;
10. Las instrucciones en la guía de actividades facilitaron las actividades de aprendizaje sobre el tema abordado;
11. Considero que otros estudiantes deberían trabajar con el simulador empleado en esta actividad.

En el llenado del cuestionario participaron 46 estudiantes de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información comisión “B” (ISI “B”). Con el objeto de presentar resultados de calidad, confiables y reproducibles sobre las interpretaciones, inferencias o usos específicos de las medidas o resultados proporcionados de las propiedades o atributos indagados (AERA/APA/NCME, 2018), el instrumento de recolección de datos fue sometido previamente a las pruebas estadísticas de Validez de Constructo y de Fiabilidad. Además, se tuvo en cuenta la validez de contenido o por expertos, al emplear como referencia los trabajos citados previamente en fuentes validadas científicamente. Se empleó el Alfa de Cronbach como prueba estadística para analizar la confiabilidad interna del cuestionario o prueba de fiabilidad. Los resultados de las pruebas de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) y de esfericidad de Bartlett se emplearon para analizar la Validez de Constructo del cuestionario. Los resultados obtenidos se indican en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados del análisis estadístico de confiabilidad

Estadísticas de confiabilidad	
Alfa de Cronbach	0,900
Alfa de Cronbach basado en ítems estandarizados	0,904
N de Ítems	11
Medida de adecuación del muestreo de Kaiser-Meyer- Olkin	0,838
Prueba de esfericidad de Bartlett	
Aprox. Chi-cuadrado	292,168
grados de libertad	55
Nivel de Significación	0,000

Según Ruiz Bolívar (2002), al ser el coeficiente Alfa igual a 0,900 y a 0,904, puede considerarse muy alta la confiabilidad interna del cuestionario. El análisis de la validez de constructo reveló que las variables utilizadas muestran una estructura de correlación, por lo que al estar el valor de KMO comprendido entre 0,5 y 1 (0,838); y su nivel de significación es menor a 0,05 (0,000), “...nos indica que la matriz de datos es válida para continuar con el proceso de análisis factorial.” (Montoya Suárez, 2007: 284). Finalmente, el Determinante de la Matriz de Correlaciones arrojó un valor de 0,001, reforzando la validez de constructo del cuestionario empleado. Por ello, los

resultados de este cuestionario pueden considerarse útiles, válidos y fiables para recolectar las opiniones de los estudiantes sobre el uso del simulador MPL.

Los resultados obtenidos en cada una de las distintas consignas de la encuesta y de acuerdo con la cantidad de opciones seleccionadas fueron las siguientes:

- al ser calificadas mayormente como *Muy de Acuerdo* se destacaron las consignas 10 y 3; seguidos por 4 y 5.
- En *De Acuerdo* prevalecieron las consignas presentes en 1 junto a 9; seguido por 2 y 10.
- La categoría *Neutral* prevaleció en 7, seguido por 8.
- En *desacuerdo* prevaleció en las consignas 6 y 8.
- Para finalizar, en *Muy en Desacuerdo*, si bien hubo pocas elecciones, la mayoría también fueron para las consignas presentes en las opciones 6 y 8.

Para poder visibilizar los resultados de una manera más concisa, éstos fueron reagrupados en tres categorías donde se contemplaron las opiniones o visiones Optimistas - *Muy de acuerdo y De acuerdo* -; Neutrales - *Neutral* -; y Pesimistas - *En Desacuerdo y Muy en Desacuerdo* -. Los porcentajes hallados se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados sobre las consignas en categorías reagrupadas de la escala Likert.

Consigna	Opiniones (Porcentajes)		
	Optimistas	Neutrales	Pesimistas
1	76,1	15,2	8,7
10	76,1	13,0	10,9
2	69,6	19,6	10,8
4	69,6	23,9	6,5
3	65,2	26,1	8,7
9	60,9	28,3	10,8
5	58,7	26,1	15,2
11	56,5	28,3	15,2
6	50,0	28,3	21,7
8	47,8	32,6	19,6
7	41,3	41,3	17,4

De este modo, se puede deducir que para este grupo de estudiantes prevalecieron las visiones optimistas en todas las categorías, excepto en la 7 donde hay un empate con la visión neutral.

Específicamente se puede concluir que, teniendo en consideración los valores superiores al 50%:

- las secuencias de actividades con el simulador fueron adecuadas; y además las instrucciones en la guía de actividades facilitaron las actividades de aprendizaje sobre el tema abordado. Es evidente que hubo opiniones favorables respecto al diseño tecnopedagógico del uso del programa MPL como herramienta cognitiva y metacognitiva para el estudio del movimiento de un proyectil.

- En menor cuantía se valoraron, del mismo modo, que el simulador fomentó un aprendizaje activador y constructivo, y que esta herramienta proporcionó una idea clara de los fenómenos físicos estudiados. Así, el programa es un material didáctico que permite realizar distintas actividades cognitivas y metacognitivas mediante simulaciones sobre el movimiento bidimensional de una partícula.

- Finalmente, los restantes porcentajes obtenidos reafirmaron el rol del simulador como herramienta didáctica, dado que la interacción de los estudiantes con el programa MPL han mejorado sus aprendizajes y habilidades; y los aspectos técnicos con el simulador fueron fáciles de comprender, ejecutar, y comunicar en el informe. En este contexto, resultó coherente que se sugiera la posibilidad que el MPL pueda ser empleado por otros estudiantes en esta actividad sobre movimiento de un proyectil.

Con relación a las opiniones neutrales, se destacaron las respuestas en las consignas sobre la duración de las actividades realizadas con el simulador, y su adecuación a las necesidades de los estudiantes - en este último caso, al igual que las opiniones consideradas pesimistas -. También fue revelador el resultado sobre la motivación de aprender el tema desarrollado mediante las actividades desarrolladas con el simulador, dado que fueron valorados de la misma manera desde una opinión optimista.

Finalmente, las opiniones pesimistas prevalecieron acerca de la duración de las actividades realizadas con el simulador, el fomento de la comunicación entre los miembros del equipo; y la motivación sobre el aprendizaje del movimiento de un proyectil.

Es evidente que estas opiniones han sido muy valiosas para poder analizar, desde la perspectiva de los estudiantes, las fortalezas y debilidades relacionadas con la interactividad potencial y real del MPL. Estos criterios pueden ser considerados como fuentes de retroalimentación tendientes a mejorar el diseño y desarrollo de las actividades cognitivas y metacognitivas realizadas con el software evaluado. En una primera instancia, algunas situaciones plausibles de modificar pueden ser la duración de las actividades con MPL, y tal vez la posibilidad de incrementar la motivación acerca de su uso modificando las secuencias de algunas de las actividades experimentales. No obstante ello, en esta última situación y junto a la aparente dificultad de comunicación entre los integrantes del grupo, son situaciones que de cierto modo pueden escapar a las variables que se pueden controlar en el proceso de aprendizaje de la Cinemática de la partícula, al ser propio y característico de la conducta y del comportamiento humano que varía en función de la "condición humana" y singular de cada estudiante. De todos modos, habrá que indagar como modificar el diseño tecnopedagógico del MPL a través de las opiniones, muy valiosas, por cierto, de los alumnos participantes.

Conclusiones

La presencia del denominado Enfoque por Competencias debe contemplar la posibilidad que los estudiantes, como sujetos cognoscentes e ingenieros en formación, puedan - y deban - involucrarse activamente no sólo en la co-construcción de sus saberes científicos, sino también en la evaluación, tanto de sus procesos de aprendizaje como de las herramientas empleadas para dicho proceso.

En este contexto, este trabajo presentó el diseño, desarrollo, y evaluación de un instrumento que permitió recolectar información sobre las opiniones de los estudiantes de una ingeniería, que se dicta en la UTN - FRSF, sobre una herramienta digital que contempla dicho enfoque sobre los contenidos de Física sobre el Movimiento de un Proyectil mediante un programa de acceso libre.

Si bien forma parte de una investigación preliminar - dado que todavía falta indagar de manera complementaria los discursos argumentativos presentes en los informes de la actividad con el MPL -, los resultados obtenidos mediante el cuestionario de opinión, validado estadísticamente a través de las pruebas estadísticas correspondientes, revelaron situaciones propias de una nueva dimensión vinculada al análisis de los estudiantes sobre una herramienta didáctica proveniente de las TIC. Por ello, fue muy significativo que al haber sido analizada por parte de estos sujetos cognoscentes, se han incorporado las "voces" de quienes son los usuarios y principales interesados en el empleo del MPL como material didáctico. Sin embargo, al tratarse de un espacio todavía en construcción, queda mucho para hacer e indagar bajo el denominado Enfoque por Competencias. Esa es la vía para continuar, mediante distintas investigaciones que aporten información y conocimientos a este nuevo escenario educativo.

Referencias

- American Educational Research Association, American Psychological Association, & National Council on Measurement in Education (AERA/APA/NCME) (2018). *Estándares para pruebas educativas y psicológicas* (M. Lieve, Trans.). Washington, DC: American Educational Research Association. (Original work published 2014).
- Astudillo Araya, Á., López Espinoza, M. Á., Cádiz Medina, V., Fierro Palma, J., Figueroa Lara, A., & Vilches Parra, N. (2017). "Validación de la encuesta de calidad y satisfacción de simulación clínica en estudiantes de enfermería". *Ciencia y enfermería*, 23(2), 133-145.
- Calzada, A. H., Maceo, Y. C., & Bannasar, F. N. (2016). "Diagnóstico de necesidades y uso de las TIC para la evaluación del aprendizaje en física en la Universidad de las Ciencias Informáticas". *Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, 55, a326-a326.
- Casal, S. M. (2010). "Cuestionario de evaluación de la calidad de los cursos virtuales de la UNED". *Revista de Educación a Distancia (RED)*, 25.

Casas-Jiménez, J., García-Sánchez, J., & González-Aguilar, F. (2006). "Guía técnica para la construcción de cuestionarios". *Revista Electrónica de Pedagogía*. Disponible en: http://www.odiseo.com.mx/2006/01/casas_garcia_gonzalez-guia.htm.

Coll, C., Mauri, T., & Onrubia, J. (2008). "El análisis de los procesos de enseñanza y aprendizaje mediados por las TIC: una perspectiva constructivista. La calidad educativa de la enseñanza basada en las TIC. *Pautas e instrumentos de análisis*, 47-62.

Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI) (2018). *Propuesta de estándares de segunda generación para la acreditación de carreras de ingeniería en la República Argentina "Libro Rojo de CONFEDI"*. Mar del Plata: Universidad FASTA Ediciones, 1ª edición.

Galavis, S., & Álvarez, G. (2010). "La encuesta de opinión estudiantil: un sistema de información para la evaluación por competencias de la actividad docente". *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 25(3), 47-56.

Johnson R.B., & Christensen L. (2014) *Educational Research. Quantitative, Qualitative and Mixed Approaches*. Thousand Oaks: Sage.

Le Boterf, G. (2000). *Ingeniería de las competencias, Volumen 4 de Colección Formación y Desarrollo Series*. Barcelona: Editor Gestion 2000.

Martínez, M: S.; Sandoval, J. M.; Mora, C. (2021) "Uso de simuladores Phet, para la enseñanza del comportamiento de gases ideales". *Latin-American Journal of Physics Education*, 15 (1), 13.

Montoya Suárez, O. (2007). "Aplicación del análisis factorial a la investigación de mercados. Caso de estudio". *Scientia et technica*, 1(35).

Ruiz-Bolívar, C. (2002). *Instrumentos de Investigación educativa. Procedimientos para su diseño y validación*. Barquisimeto: Ediciones CIDEG.

Stobart, G. (2010). *Tiempos de pruebas; Los usos y abusos de la evaluación*. Madrid: Ediciones Morata.

Viau, J. E.; Tintori Ferreira, M. A.; & Bartels, N. V. (2019). "Un nuevo enfoque para la enseñanza de la Física en el ciclo básico de carreras de Ingeniería: evaluar y desarrollar competencias profesionales". En: Cukierman, R. U.; Kalocai, G. (Eds). *El enfoque por competencias en las ciencias básicas: casos y ejemplos en educación en Ingeniería*, (40 – 50). Buenos Aires: Edutecne.

Evaluación de la contaminación en las aguas de río e identificación de fuentes contaminantes mediante el procesamiento digital de imágenes de satélites

Assessment of pollution in river waters and identification of pollutant sources by digital processing of satellite images

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Daniel Monferrán

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Delta, Argentina
Universidad Nacional de General Sarmiento, Argentina.
danielmfr02@yahoo.com

Andrés Sartarelli

Universidad Nacional de General Sarmiento, Argentina.
asartare@campus.ungs.edu.ar

Resumen

Contaminación y medio ambiente. El Río Reconquista se ubica en el noroeste de la provincia de Buenos Aires y junto a los ríos Matanza-Riachuelo y Lujan, constituyen cursos hídricos altamente contaminados de gran influencia en el medio ambiente.

Las fuentes de contaminación que constituyen actualmente uno de los principales problemas ambientales del Gran Buenos Aires (GBA) son los basurales ilegales, rellenos sanitarios, ex basurales, tosqueras y chatarreras, así como los efluentes industriales que se descargan ilegalmente en el cauce del río.

A los efectos de disponer de información actualizada sobre las condiciones del Río Reconquista y ofrecer una metodología que también pueda ser usada en otras fuentes hídricas, se analizaron y evaluaron diferentes metodologías existentes orientadas a la detección de sitios contaminados, seleccionando aquellas que mejor se ajustaron a las condiciones de este trabajo. Se usaron imágenes satelitales de diferentes bandas del espectro.

Palabras clave: Contaminación, Medio ambiente, Imágenes de satélite, Procesamiento digital, Firmas espectrales, NDWI

Abstract

Pollution and environment. The Reconquista River is located in the northwest of the province of Buenos Aires and together with the Matanza-Riachuelo and Lujan rivers, they constitute highly polluted watercourses of great influence on the environment.

The sources of pollution that are currently one of the main environmental problems in Greater Buenos Aires (GBA) are illegal dumps, landfills, former landfills, coughing and junkyards, as well as industrial effluents that are illegally discharged into the riverbed.

In order to have updated information on the conditions of the Reconquista River and to offer a methodology that can also be used in other water sources, different existing methodologies oriented to the detection of contaminated sites were analyzed and evaluated, selecting those that best fit the conditions of this work. Satellite images from different bands of the spectrum were used.

Keywords: Pollution, Environment, Satellite images, Digital processing, Spectral signatures, NDWI

Objetivo

El objetivo es encontrar un método centrado en el aporte de la información que puede obtenerse exclusivamente con el procesamiento de imágenes satelitales.

En este trabajo, si bien se parte de la premisa que las aguas del Río Reconquista están contaminadas, es interesante ofrecer algún método alternativo de evaluación del estado de contaminación en toda fuente hídrica.

Introducción

Ubicación geográfica

La cuenca del Río Reconquista está ubicada en la Area Metropolitana de Buenos Aires (AMBA) al noreste de la provincia de Buenos Aires. Comprende aproximadamente unas 167000 ha, y está compuesta por 134 cursos de agua que recorren un total de 606 km, de los que 82 corresponden al Río Reconquista, (de la Nación et ál., 2007)

Municipios lindantes y población

La cuenca hidrográfica del Río Reconquista, por su parte, abarca unos 1670 km² y actualmente se encuentra distribuida entre 18 partidos del Area Metropolitana, lo que involucra a cuatro millones y medio de habitantes de Bs. As. aproximadamente, (Potocko, 2018: 23), (Rigacci, 2021), (Sadañowski, 2003), (Sánchez et ál., 2017), (Williams et ál., 2018).

Efluentes

El alto grado de contaminación de la cuenca está dado por el volumen de efluentes industriales (sobre el río descargan sus productos aproximadamente unas 12 mil industrias) y domiciliarios que recibe y que está principalmente constituido de materia orgánica y metales pesados.

Estas descargas favorecen los procesos de generación de sulfuros y precipitación de metales en los sedimentos, (Marbán et ál., 1999: 015-019), (Nader, 2015), (Porzionato et ál., 2014), (Rigacci et ál., 2013: 9161-9168)

Recursos y métodos

Areas seleccionadas

Se definen en este trabajo dos superficies del territorio de la provincia de Buenos Aires que son de interés para ilustrar algunos de los resultados que se obtienen del análisis de los datos de las imágenes satelitales.

Los estudios se realizan con datos de regiones de la imagen delimitadas por alguno de los dos perímetros que se ilustran en la Fig. 1. El perímetro azul corresponde a la cuenca y el perímetro rojo surge de los partidos seleccionados como área de influencia.



Figura 1: Perímetros de zonas de interés. Cuenca y partidos del área de influencia.

Instrumentos e imágenes

Se utilizaron en el presente trabajo datos proporcionados por el Satélite SENTINEL-2, equipado con un instrumento multispectral (MSI) que mide la radiancia reflejada de la Tierra en 13 bandas espectrales desde el visible (V) y el infrarrojo cercano (NIR) hasta el infrarrojo de onda corta (SWIR) con diferentes resoluciones espaciales.

Muestras y capas de cobertura

Muestras: Es importante señalar que la correcta elección de las muestras a ser usadas como patrones que representan a los distintos tipos de cobertura de la escena, influye directamente sobre los resultados de todo el procesamiento.

A su vez, los datos que se obtienen de las muestras están condicionados por diferentes factores que influyen en los valores que capta el sensor de la radiación que se refleja en la superficie iluminada.

Capas de cobertura: Las muestras que se definen se agrupan en capas por tipo de cobertura. Se crean capas de: suelo, urbano, hídrico, vegetación y basural.

Firmas espectrales

Se procesan datos de los diferentes tipos de capa utilizando todas las bandas del Sentinel-2.

Una vez creadas las capas se calculan los parámetros estadísticos de cada una de las muestras.

Por cada tipo de cobertura se reúnen los resultados de todas las bandas. En la Fig. 2 se puede observar una forma de ilustrar las firmas espectrales agrupadas por tipos de cobertura, con bandas de resolución espacial de 20 m, Desde $B02\ 20m$ hasta $B02\ 12m$. Con esta nueva representación se pretende encontrar los valores umbrales que puedan usarse para segmentar los distintos tipos de cobertura.

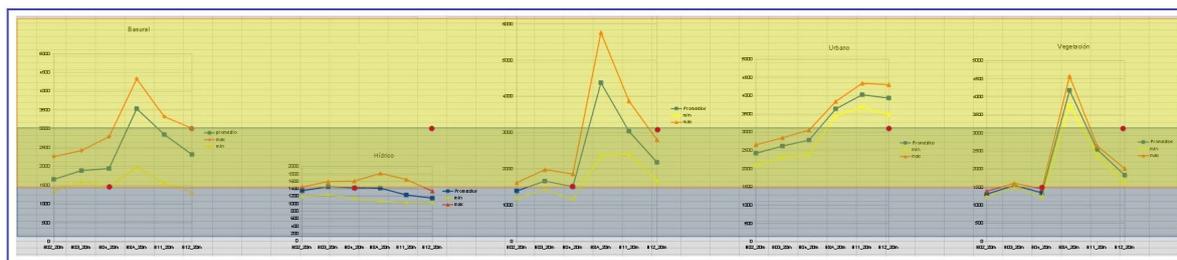


Figura 2: Firmas espectrales por tipo de cobertura.

Índices diferenciales normalizados

Se crean los índices $NDBI\ 043 = (B04\ 20m - B03\ 20m)/(B04\ 20m + B03\ 20m)$, $NDBI\ 084 = (B8A\ 20m - B04\ 20m)/(B8A\ 20m + B04\ 20m)$ y $NDBI\ 118 = (B11\ 20m - B8A\ 20m)/(B11\ 20m + B8A\ 20m)$. Luego de algunos ensayos se decide por el Índice Diferencial Normalizado del Agua (NDWI), para SENTINEL 2 se adopta $NDWI = (B03\ 20m - B8A\ 20m)/(B03\ 20m + B8A\ 20m)$

En la Fig. 3 se ilustra el valor de índices para los distintos tipos de cobertura.

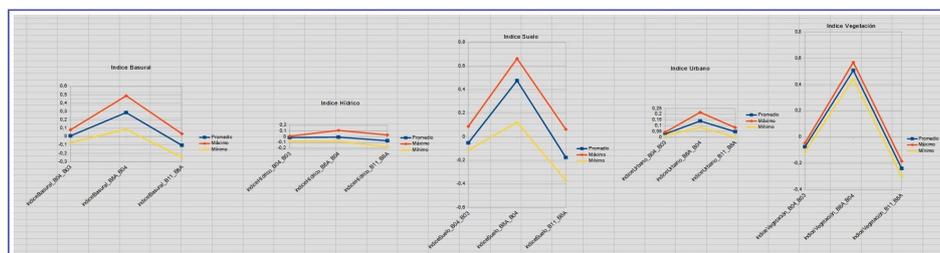


Figura 3:

Índices por tipo de cobertura.

Datos

Posiciones seleccionadas

Desde la IDE de Earth Engine Code Editor se seleccionan regiones en diferentes posiciones de la imagen (puntos rojos) para tomar los datos, Fig. 4. Se tomó igual número de muestras del Río Reconquista y del Río Quilpo, elegido como referencia por tratarse de un cauce de aguas no contaminadas (Alvarez et ál., 2019) (Alvarez, 2022: 20-21). Se calcularon para el conjunto de muestras de cada río los promedios de los valores

máximos y los promedios de los valores mínimos del índice de calidad del agua en el primer semestre del 2019, segundo semestre 2019 y primer semestre 2022.



Figura 4: Río Reconquista. Ocho posiciones seleccionadas para tomar los datos.

Resultados

En la Fig. 5 se pueden observar los valores medios de NDWI por semestre del Río Reconquista y del Río Quilpo.

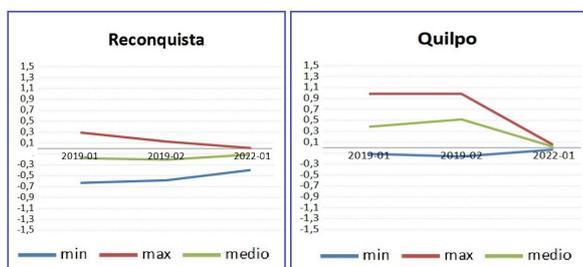


Figura 5: Río Reconquista y Río Quilpo – valores de NDWI.

Las siguientes imágenes fueron extraídas de una secuencia temporal creada con un algoritmo desarrollado a tal efecto, Fig. 6. La coloración corresponde a rango de valores de NDWI, donde los colores azul y celeste representan valores positivos de NDWI.

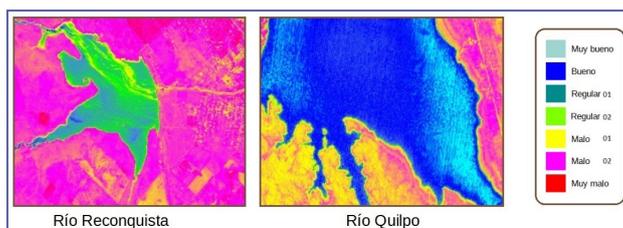


Figura 6: Río Reconquista y Río Quilpo - Imagen de NDWI.

Detalle del NDWI del Río Reconquista

En la Fig. 7 se puede observar una gráfica con los valores de NDWI calculados, donde se puede apreciar una superposición de los valores en las posiciones 6 y 7, condiciones resaltadas con óvalos de color rojo.

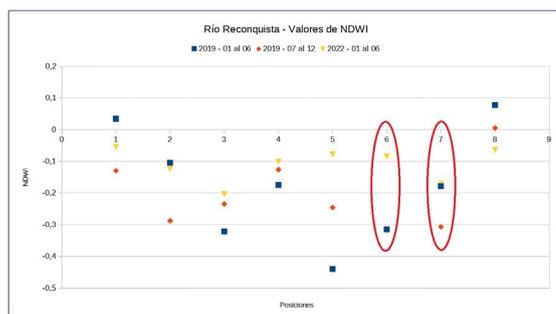


Figura 7: Río Reconquista, valores de NDWI.

En la Fig. 8 se pueden observar valores mínimos relativos de *NDWI* en las proximidades de las posiciones 3 y 7, condiciones resaltadas con óvalos de color rojo. Posiciones donde a su vez se observa un estrechamiento de las curvas en la dirección de la corriente del río. Un mínimo absoluto se observa en la proximidad de la posición 5

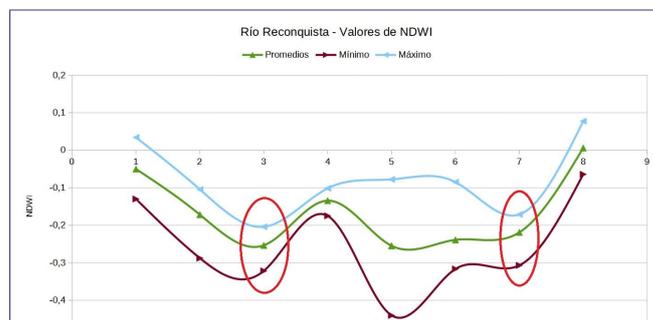


Figura 8: Río Reconquista, valores de *NDWI*.

Variación en la calidad del agua y su relación con la ubicación y tipo de fuentes contaminantes.

Se puede observar una coincidencia de las posiciones resaltadas en los gráficos de las Fig. 7 y 8 (posiciones 3, 6 y 7) con la ubicación de asentamientos de industrias y viviendas en la riberas del Río Reconquista, esto se ilustra en la Fig. 9

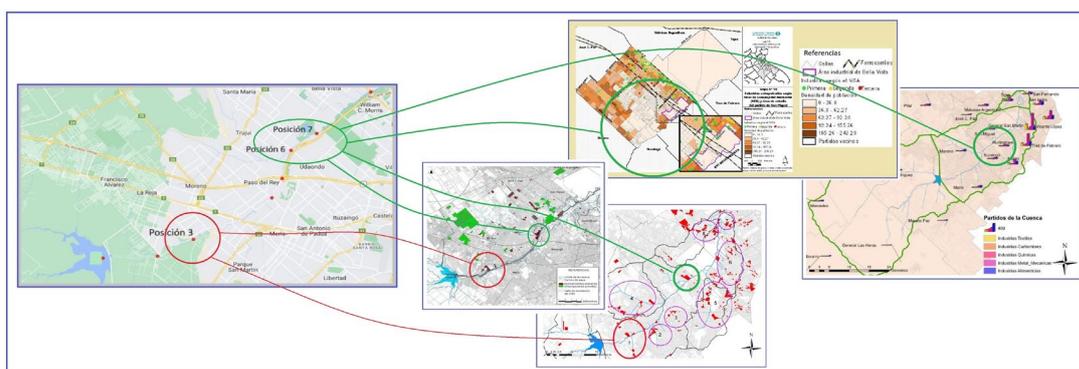


Figura 9: Fuentes contaminantes en las posiciones resaltadas (3, 6 y 7) de las Fig. 7 y 8.

La Fig. 9 incluye imágenes extraídas de trabajos de investigación que resultan de relevamientos in situ y toma de muestras. Estos trabajos fueron realizados por investigadores y diferentes instituciones comprometidas con el medio ambiente, (Nader, 2015),(de la Nación et ál., 2007).

Conclusiones

En el periodo de tiempo que abarca desde el 2019 al 2022, los valores *NDWI* de las aguas del Río Reconquista fueron sensiblemente menores que los valores *NDWI* del Río Quilpo. En la Fig. 5 se puede observar que los valores medios del Río Reconquista (línea verde) siempre fueron negativos.

En contraste con los valores positivos de *NDWI* del Río Quilpo, el Río Reconquista muestra un continuo estado de contaminación en espacio y tiempo.

Todo el proceso de cálculo del *NDWI* y los posteriores resultados ilustrados en las Fig. 7 y 8 fueron realizados prescindiendo de toda información proveniente de los datos catastrales relevados.

El uso de imágenes de un río que puedan ser usadas como modelo de imagen patrón, sumado a un proceso de cálculo y modelado matemático, muestra la utilidad del aplicar el *NDWI* para evaluar la calidad del agua.

La mencionada coincidencia que se observa en las posiciones 3, 6 y 7 es en sí misma la coincidencia de los resultados de este trabajo de investigación con la información que ofrecen (Nader, 2015) y (de la Nación et ál., 2007). Es decir, que la validez de los resultados de este trabajo de investigación resulta de comparar estos resultados con la información que se desprende de datos relevados in situ.

Por lo expresado, mediante el uso exclusivo de imágenes es posible determinar en un período el estado de contaminación de un río sin tener que recurrir a la información que pueda encontrarse sobre ese río. Es

posible independizarse y prescindir de toda otra posible fuente de información para hacer una primera evaluación de la calidad del agua.

Referencias

Alvarez, B. Y. (2022). "Conociendo las aguas de la cuenca del Sol." *Revista Cicterránea*, 6(6), 20-21.

Alvarez, B. Y., Campodonico, V. A., Martínez, J. O., Gaiero, D. M., & Palomeque, M. (2019). "Caracterización y análisis preliminar del impacto de los procesos petroleoquímicos en la cuenca del río Cruz del Eje." *In V Reunión Argentina de Geoquímica de la Superficie (RAGSU)*(La Plata, 12 al 14 de junio de 2019).

de la Nación, D. D. P., FARN, F. P., & del Plata, C. (2007). "Informe especial Cuenca del Río Reconquista primera parte". *BA Defensoría del Pueblo de la Nación-Ombudsman Nacional*.

Marbán, L., de López Camelo, L. G., Ratto, S., & Agostini, A. (1999). "Contaminación con metales pesados en un suelo de la cuenca del río Reconquista." *Ecología Austral*, 9(1), 015-019.

Nader, G. M. (2015). Evaluación de la calidad del agua en el río urbano.

Porzionato, N., Candal, R., & Curutchet, G. A. (2014, September). "Biolixiviación de metales de sedimentos anaeróbicos del Río Reconquista (Argentina) como estrategia potencial de remediación." *In Proceedings Del 4th International Symposium on Environmental Biotechnology and Engineering*.

Potocko, A. (2018). "Transformaciones de un territorio fluvial. Urbanización y regulación hídrica del río Reconquista (Buenos Aires, Argentina)". *GOT: Revista de Geografía e Ordenamento do Território*, (14), 23.

Rigacci, L. N. (2021). "Análisis de la capacidad de depuración de la represa Ing. Roggero, Buenos Aires (Argentina)", *Universidad Nacional del Comahue Centro Regional Universitario Bariloche*.

Rigacci, L. N., Giorgi, A. D., Vilches, C. S., Ossana, N. A., & Salibián, A. (2013). "Effect of a reservoir in the water quality of the Reconquista River, Buenos Aires, Argentina." *Environmental monitoring and assessment*, 185, 9161-9168.

Sadañiowski, I. (2003). "El problema de las inundaciones en la cuenca del río Reconquista: la represa Ingeniero Carlos F. Roggero, y las funciones ecológicas". (*Doctoral dissertation, Tesis de grado (inéedita)*). *Universidad Nacional de General Sarmiento*.

Sánchez Arrabal, M. B., & Guilarte, M. J. (2017). "Cuenca del río Reconquista." *In IX Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo* (Barcelona, España, 2017).

Williams, F., Ríos, D. M., & Vecslir, L. (2018). Dossier "Ríos Urbanos: explorando nuevas perspectivas para el estudio, diseño y gestión de los territorios fluviales".

Desarrollo de un Prototipo de Sistema Recomendador para el Diseño de Objetos de Aprendizaje en Carreras de Ingeniería: Evaluación Inicial de Plataformas

Development of a Prototype Recommender System for the Design of Learning Objects for Engineering Education: Initial Evaluation of Platforms

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Pilar Novillo Saravia

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe, Argentina.
pilar.novillosaravia@gmail.com

Resumen

Se presenta una evaluación exhaustiva plataformas y herramientas de autor de código abierto y licencia libre para garantizar la integración y funcionalidad de un prototipo de sistema recomendador que dé soporte técnico y pedagógico a los docentes de Ingeniería para la producción según el enfoque por competencias de recursos educativos digitales. Se fundamenta la selección de Moodle junto a H5P por su flexibilidad en la creación de objetos de aprendizaje, complementado con la conversión a SCORM para asegurar compatibilidad con los estándares LMS. Se mencionan resultados que se esperan alcanzar de la implementación de la interfaz, del sistema de recolección de datos y la integración de una ontología, para lograr recomendaciones precisas y personalizadas. Este enfoque busca mejorar la eficiencia en la creación y gestión de materiales educativos y promover una enseñanza más personalizada y efectiva, asegurando que el sistema recomendador sea innovador y compatible con los estándares educativos actuales.

Palabras clave: Objetos de aprendizaje, Sistema Recomendador, H5P, Moodle, Ontología.

Abstract

Open source and free license authoring platforms and tools were thoroughly evaluated to ensure the integration and functionality of a prototype recommender system that provides technical and pedagogical support to engineering teachers to produce digital educational resources according to the competency-based approach. The selection of Moodle together with H5P is based on its flexibility in the creation of learning objects, complemented with the conversion to SCORM to ensure compatibility with LMS standards. The expected results of the implementation of the interface, the data collection system and the integration of an ontology are mentioned, to achieve accurate and personalized recommendations. This approach seeks to improve efficiency in the creation and management of educational materials and to promote more personalized and effective teaching, ensuring that the recommender system is innovative and compatible with current educational standards.

Keywords: Learning Objects, Recommender System, H5P, Moodle, Ontology.

Introducción

En carreras de Ingeniería es habitual encontrar docentes que, si bien exhiben experticia en su disciplina, carecen de formación pedagógica y en contadas ocasiones hacen capacitación e investigación en el centro universitario como parte de su condición docente.

Esto nos hace pensar si el docente está realmente capacitado para diseñar y desarrollar materiales didácticos aptos para el Enfoque Basado en Competencias, el cual “supone cambiar la lógica de pensar la formación: pasar de sólo enseñar recursos, esto es, los contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales, a una combinación de enseñar recursos junto a enseñar a articular, movilizar e integrar esos recursos”, (Kowalski et al., 2020).

A su vez, la universidad está experimentando cambios en la forma en que se imparten las clases, con la aparición de nuevas modalidades de enseñanza que complementan o alternan con la enseñanza presencial. Estas modalidades incluyen la enseñanza remota, la enseñanza híbrida y combinaciones de ambas. En este contexto, es esencial que se preste atención al uso de recursos y materiales educativos que sean efectivos para el proceso de aprendizaje y que influyen en la calidad de la educación.

Durante la última década del siglo XX, surgió una tecnología capaz de satisfacer esas necesidades llamada Objetos de Aprendizaje (OA), diseñada para mejorar y potenciar el e-learning (Wiley, 2000). En estos recursos educativos, al funcionar en computadoras para guiar el aprendizaje de los estudiantes, se vinculan de manera indisoluble dos dimensiones: la tecnológica y la pedagógica (Coll et al., 2008).

Como respuesta a estas necesidades detectadas surge la idea de desarrollar un prototipo de Sistema Recomendador (SR), mediante el uso de herramientas de Inteligencia Artificial, que dé soporte técnico y pedagógico a los docentes de Ingeniería para la producción según el enfoque por competencias de recursos educativos digitales como los OA.

La elección de una plataforma de licencia libre para desarrollar la herramienta se sustenta en principios éticos fundamentales. En una universidad pública y gratuita, no sería ético requerir a los estudiantes algo que la institución no puede proporcionar debido a limitaciones presupuestarias, como la adquisición de licencias de Software privativo. No obstante, optar por software libre también presenta desafíos significativos, como asegurar la calidad de la plataforma y mantener su sostenibilidad a largo plazo en comparación con soluciones propietarias, que suelen contar con mayores recursos para desarrollo y soporte.

El artículo se organiza como sigue. En la sección de Desarrollo se presenta la evaluación de plataformas para la generación de OA, junto con los fundamentos para seleccionar una de ellas y los resultados que se esperan alcanzar. Finalmente, se exponen las conclusiones.

Desarrollo

Evaluación de plataformas

Las particularidades del producto de software que se plantea en este proyecto requieren de una plataforma específica para la generación de OA, con soporte para exportar los mismos junto a sus metadatos en formato reutilizables como SCORM (Sharable Content Object Reference Model). Se especificó, además, que cumpliera el requisito de licencia libre y gratuita, fortaleciendo así el compromiso institucional con la independencia tecnológica y el derecho a aprender sin barreras económicas.

A continuación, en la tabla 1 se consigna información general de dos plataformas que fueron evaluadas para la posterior selección de una de ellas.

Tabla 1: Moodle vs eXeLearning.

	Moodle	eXeLearning
Versión	4.2.2	2.9
SO	Windows/Mac/Linux	Windows/Mac/Linux
Licencia	GNU Public License	GNU Public License
Lenguaje	PHP	Python 2.7
Web	https://moodle.org/	https://exelearning.net/

En la tabla 2 se resume el estudio comparativo entre Moodle – junto a H5P (HTML5 Package)– y eXeLearning, evaluando diversas características y funcionalidades utilizando un sistema de colores. Este sistema ayuda a

identificar rápidamente qué funcionalidades están disponibles en cada plataforma y el nivel de esfuerzo necesario para implementarlas:

- Verde: La funcionalidad está disponible de manera directa en la plataforma, sin necesidad de configuraciones adicionales ni plugins externos.
- Amarillo: La funcionalidad no está disponible de manera nativa, pero puede implementarse utilizando extensiones, plugins adicionales, o configuraciones extra.
- Rojo: La funcionalidad no está disponible en la plataforma.

Tabla 2: Funcionalidades de las plataformas.

Criterio de benchmarking	Plataforma	Moodle junto a H5P	eXeLearning	
<i>Ayuda</i>	Foros/tutoriales/manuales	Verde	Amarillo	
<i>Instalación</i>	Se libera al docente de la instalación de la aplicación	Verde	Rojo	
<i>Facilidades para el Diseño de GUI</i>	Tipo de Contenido	Presentaciones Interactivas	Verde	
		Opción múltiple	Verde	
		Verdadero/falso	Verde	
		Contenidos Multimedia	Verde	
		Líneas de Tiempo	Verde	Rojo
		Ventanas Emergentes	Verde	Rojo
		Caminos Diferentes	Verde	Rojo
<i>Exportación de contenido</i>	Exportación en formato SCORM	Amarillo	Verde	
<i>Definición de metadatos</i>	Incluye modelos de metadatos	Amarillo	Verde	
<i>Extensión</i>	Desarrollo de nuevas funcionalidades	Verde	Amarillo	
	Integración con otras plataformas	Verde	Amarillo	

Fundamentos de la selección

Moodle vs eXeLearning: generación de OA

Moodle es una plataforma de aprendizaje diseñada para proporcionar a educadores, administradores y estudiantes un sistema integrado único, robusto y seguro para crear ambientes de aprendizaje personalizados. Es un sistema de gestión del aprendizaje (LMS, por su sigla del inglés Learning Management System) completo, que incluye funcionalidades para la gestión de cursos, usuarios, evaluaciones y comunicación, proporciona herramientas para evaluar el desempeño de los estudiantes, como calificaciones, informes y análisis.

Moodle tiene la confianza de instituciones y organizaciones grandes y pequeñas, incluyendo la UTN FRFSF. El número de usuarios de Moodle a nivel mundial, tanto en uso académico como empresarial, lo hace la plataforma de aprendizaje más usada del mundo.

Dado que es una plataforma completa, puede llevar tiempo familiarizarse con todas sus funciones. Sin embargo, en la UTN los docentes ya trabajan con Moodle.

Moodle proporciona un conjunto de herramientas para la creación de OA, entre ellos destacamos el recurso Lección, el cual le permite a los profesores crear ejercicios 'ramificados' donde le presentan contenido a los estudiantes y entonces, dependiendo de sus respuestas, son dirigidos hacia páginas específicas. El contenido puede ser texto o multimedia. Asimismo, Moodle se integra con H5P, permitiendo a los educadores crear contenido, como por ejemplo presentaciones, exámenes y videos interactivos. El contenido H5P puede ser creado en Moodle, o en el sitio h5p.com o con la aplicación LUMI¹ (<https://lumi.education/>) para escritorio, y añadido al curso como una Actividad H5P o incrustado dentro de cualquier otra actividad o recurso.

Al mismo tiempo, Moodle es compatible con paquetes SCORM, lo que permite la importación y ejecución de OA diseñados según este estándar. Esto es útil para reutilizar contenido de aprendizaje de otras plataformas.

eXeLearning es una herramienta de software gratuita que se utiliza para crear contenidos web educativos interactivos, en formato XHTML (eXtensible HiperText Markup Language) o HTML5 (HyperText Markup Language, versión 5) y permite crear páginas web fácilmente navegables que incluyen texto, imágenes, actividades interactivas, galerías de imágenes o clips multimedia. Todos los materiales educativos generados con eXeLearning se pueden

exportar en diferentes formatos digitales como SCORM, para utilizarlos de forma independiente o integrarlos a un LMS como Moodle.

Una de las características clave de eXeLearning es la capacidad de definir metadatos para los OA, lo cual es esencial para su reutilización y gestión efectiva. Permite clasificar o catalogar contenidos educativos según diferentes modelos de metadatos como Dublin Core, LOM, LOM-ES.

Ofrece una interfaz intuitiva y amigable que facilita la creación de contenido educativo sin requerir habilidades técnicas avanzadas, permitiendo reutilizar y modificar contenido existente en proyectos, ahorrando tiempo en la creación.

Sin embargo, no ofrece una gestión avanzada de la interacción con los estudiantes ni seguimiento del progreso, no es una plataforma LMS completa y carece de funciones de gestión y comunicación. Aunque es fácil de usar, puede requerir tiempo para dominar las características más avanzadas.

A su vez, en su versión tradicional, no es una herramienta basada en línea, esto significa que requiere descargar e instalar el software en un dispositivo para poder utilizarlo y crear materiales educativos. Actualmente, está disponible para GNU/Linux, Microsoft Windows y Mac OS X.

Moodle vs. eXeLearning: implementación del SR

Moodle es proporcionado gratuitamente como software de Código Abierto. Cualquiera puede adaptar, extender o modificar Moodle, tanto para proyectos comerciales y no-comerciales, sin cargos por licenciamiento. Uno de sus principios fundamentales es su extensibilidad, y esto se consigue principalmente mediante el desarrollo de plugins, extensiones adicionales que permiten agregar nuevas características y capacidades que no están disponibles en la instalación base de Moodle. Hay varios tipos de plugins disponibles, cada uno diseñado para una funcionalidad específica:

- **Actividades:** son tipos esenciales de plugins en Moodle ya que proporcionan actividades que los profesores pueden incluir en los cursos. Por ejemplo: Foro, Cuestionario y Tarea.
- **Bloques:** pequeñas pantallas de información o herramientas que pueden desplazarse por las páginas. Por ejemplo: Bloque de calendario, que muestra un calendario con eventos del curso.
- **Locales:** permiten añadir funcionalidades específicas a nivel de sitio que no están directamente relacionadas con los cursos o usuarios individuales. Los plugins locales se utilizan en casos en los que ningún plugin estándar es adecuado.

Si uno no está familiarizado con la administración de Moodle y conocimientos de PHP y HTML, podría requerir tiempo y esfuerzo adicional. Sin embargo, Moodle cuenta con una amplia documentación segmentada por temas, lo cual facilita el acceso a información específica y detallada. Esta documentación incluye numerosos ejemplos prácticos que ayudan a los desarrolladores a comprender y aplicar diversas funcionalidades del sistema, ofrece guías detalladas sobre cómo crear plugins y extensiones. Al mismo tiempo, la API de Moodle para la manipulación de formularios, archivos y base de datos está bien documentada, lo que facilita la integración de nuevas funcionalidades y servicios.

Asimismo, Moodle cuenta con una gran comunidad de usuarios y desarrolladores muy activos en blogs y foros, donde comparten sus experiencias, plantean dudas y ofrecen soluciones. Esto crea un entorno de colaboración que facilita la resolución de problemas y el intercambio de conocimientos.

Por su parte, eXeLearning, al ser también de código abierto, da libertad a los usuarios para modificar y mejorar el software según sus necesidades. Sin embargo, se puede personalizar en cierta medida, la flexibilidad para adaptarse a casos muy específicos puede ser limitada, ya que eXeLearning enfrenta un desafío significativo: la falta de documentación específica para la creación de extensiones. La ausencia de tutoriales detallados y recursos educativos adecuados hace que este proceso sea complejo y desalentador, especialmente para aquellos sin sólidos conocimientos de programación en JavaScript y Python.

eXeLearning es una herramienta poderosa y accesible gracias a su naturaleza de código abierto. No obstante, la falta de documentación específica para la creación de extensiones limita su potencial para implementar un sistema recomendador ya que implica integrar múltiples tecnologías y asegurarse de que funcionen de manera cohesiva dentro de la plataforma eXeLearning.

eXeLearning es una herramienta desarrollada originalmente en Python 2.7 y no ha sido actualizada a Python 3. Muchas bibliotecas de Python han dejado de soportar Python 2.7. Esto limita la capacidad de extender o integrar eXeLearning con otras herramientas modernas que requieren Python 3. La mayor parte de la comunidad de desarrolladores de Python se ha trasladado a Python 3.x. Esto significa que habrá menos recursos, foros y ejemplos disponibles para ayudar en problemas relacionados con Python 2.7.

SCORM vs. H5P

Las herramientas tradicionales para la creación de OA están basadas en el modelo SCORM, un conjunto de estándares técnicos para la creación y distribución de OA. Su objetivo principal es asegurar la interoperabilidad, accesibilidad y reusabilidad de los contenidos educativos en diferentes LMS. Los paquetes SCORM se crean generalmente con herramientas específicas, como pueden ser exeLearning, Adobe Captivate o Lectora, y se exportan como archivos ZIP que pueden ser importados en cualquier LMS compatible con SCORM. SCORM permite un seguimiento detallado del progreso del estudiante, incluyendo puntuaciones, tiempos de acceso y completitud de los módulos.

SCORM ha existido durante muchos años, por lo que es un estándar maduro y bien soportado. Sin embargo, la creación y mantenimiento de contenido SCORM puede ser técnicamente complejo y requerir más esfuerzo en comparación con otros formatos.

H5P es una herramienta relativamente reciente que permite a los usuarios crear, compartir y reutilizar contenido interactivo utilizando HTML5 de una manera muy sencilla y sin costo. Esta herramienta se distribuye bajo el licenciamiento de tipo MIT (Massachusetts Institute of Technology) de software libre.

H5P permite un seguimiento más detallado y sofisticado del comportamiento del usuario, incluyendo actividades fuera de línea, ya que utiliza el estándar Experience API (xAPI) con el cual, es posible utilizar los OA en diferentes plataformas permitiendo así el registro y almacenamiento de las actividades de los usuarios con el recurso (Torrance y Wiggins, 2016), aunque su capacidad en este aspecto puede variar dependiendo del LMS y de cómo se haya implementado.

Los contenidos creados con H5P son muy variados, incluyendo cuestionarios, presentaciones interactivas, videos enriquecidos, juegos educativos y más.

Aunque H5P está ganando popularidad, no todos los LMS lo soportan nativamente, por lo que para crear OA con la herramienta H5P a través de un LMS, hay que incorporar H5P a la plataforma educativa mediante el plugin disponible en el portal www.hp5.org. Mediante esta opción, cualquier docente con privilegios puede agregar contenido H5P como cualquier otro recurso o actividad nativa de la plataforma.

En resumen, H5P representa una alternativa moderna y accesible para crear contenido educativo interactivo que puede usarse en LMS. Sin embargo, SCORM sigue siendo el estándar más utilizado en la creación de OA debido a su amplia adopción y compatibilidad con la mayoría de los LMS. Por lo tanto, es razonable implementar una solución que convierta contenido H5P a SCORM para aprovechar lo mejor de ambos mundos.

Resultados que se esperan alcanzar

El objetivo previsto es implementar un prototipo del SR que ayude a los docentes de ingeniería a crear sus materiales educativos. Actualmente, se está desarrollando un plugin local de Moodle con una interfaz que le permita al docente seleccionar los resultados de aprendizaje de la asignatura a los cuales el OA refina. Esta interfaz también permite seleccionar la unidad de la asignatura y los tópicos que el OA desarrollará, estableciendo un orden específico para ellos.

Además, se definen las cuatro componentes del resultado de aprendizaje del OA: el verbo, el objeto de conocimiento, la condición y la finalidad. Posteriormente, se crean los archivos H5P, ya sea para contenido, actividades, ejemplos o evaluación, determinando a qué tópico ayuda a comprender.

Todos los datos necesarios para la visualización en la interfaz se obtendrán del preprocesamiento de los diseños curriculares de carreras de ingeniería y de los planes de cátedra de sus asignaturas. La extracción de datos se realizará mediante técnicas de procesamiento de lenguaje natural (NLP), campo de la inteligencia artificial que se enfoca en la capacidad de las computadoras para entender, interpretar y generar lenguaje humano de manera natural (Jurafsky y Martin, 2019). Estas técnicas permiten automatizar el proceso de extracción de información relevante y asegurar que los datos sean precisos y consistentes, facilitando así la creación de materiales educativos alineados con los objetivos curriculares.

Como se representa en la Figura 1, la información extraída junto con la información ingresada a través de la interfaz, que incluye todas las componentes de los OA, se almacenarán en una ontología siguiendo el modelo arquitectónico propuesto en Bertossi y otros (2023). Esta ontología es gestionada mediante los servicios de Apache Jena Fuseki, que permite almacenar, consultar y gestionar datos RDF (Resource Description Framework) de manera eficiente. Esto asegura que la información esté organizada de forma coherente y accesible para el SR.

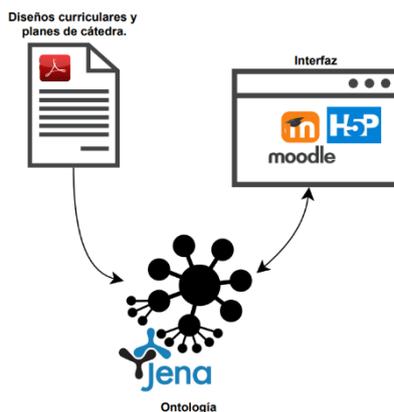


Figura 1: Diagrama de Almacenamiento de Información en la Ontología

Por su parte, los archivos H5P generados se almacenan en la base de datos correspondiente de Moodle. Esto se debe a que Moodle ya cuenta con un sistema robusto y eficiente para la gestión y almacenamiento de estos archivos, asegurando su correcta integración y acceso dentro del entorno de aprendizaje.

Conclusiones

En la etapa de análisis de las plataformas de desarrollo de OA, se ha llevado a cabo una evaluación exhaustiva de las plataformas y herramientas disponibles para garantizar la mejor integración y funcionalidad de un SR que asista a los docentes mientras construyen sus OA. La elección de Moodle junto a H5P como tecnología para crear OA representa un avance significativo en cuanto a flexibilidad y riqueza de los recursos educativos. Sin embargo, dado que SCORM sigue siendo el estándar más ampliamente utilizado en muchos LMS, se ha decidido implementar una conversión a SCORM para asegurar una máxima compatibilidad y facilidad de integración con herramientas existentes.

Esta combinación de tecnologías modernas permitirá desarrollar un prototipo de SR que no sólo mejore la eficiencia en la creación y gestión de materiales educativos, sino que también impulse una enseñanza más personalizada y efectiva. Este enfoque integral asegura que el SR sea tanto innovador como compatible con los estándares y prácticas actuales en el ámbito de la educación.

Referencias

Bertossi, V.. (4 y 5 de octubre 2022). "Diseño de una Arquitectura de Sistema Recomendador para el Desarrollo de Objetos de Aprendizaje para Carreras de Ingeniería". VI Jornadas de Intercambio y Difusión de los Resultados de Investigaciones de los Doctorandos en Ingeniería.

<https://doi.org/10.33414/ajea.1071.2022>

Bertossi, V; Romero, L y Gutiérrez, M. (15-17 de setiembre 2023). Una arquitectura de sistema recomendador para el desarrollo de objetos de aprendizaje para ingenierías bajo el enfoque por competencias. XXVI Congreso Internacional EDUTEC.

Jurafsky, D. y Martin, J. (2019). *Speech and Language Processing*.
<https://web.stanford.edu/~jurafsky/slp3/>

Resnick, P.y Varian, H. (1997). "Recommender systems". *Comunicaciones de la ACM*, 40(3), 56-58.
<https://doi.org/10.1145/245108.245121>

Rossetti López, S.R., García Ramírez, M.T. y Rojas Rodríguez, I.S. (2021). "Evaluación de la implementación de un objeto de aprendizaje desarrollado con tecnología H5P". *Vivat Academia*, (154), 1-24. <http://doi.org/10.15178/va.2021.154.e1224>

Torrance, B. Y. M., y Wiggins, C. (2016). "What Is xAPI ?" *TD Talent Development*, 70(2), 28-31.

Identificación de humedales mediante el procesamiento digital de imágenes satelitales

Identification of wetlands by digital processing of satellite imagery

Presentación: 23 y 24 de Octubre de 2024

Daniel Monferrán

Universidad Nacional de General Sarmiento, Argentina.
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Delta, Argentina
danielmfr02@yahoo.com

Andrés Sartarelli

Universidad Nacional de General Sarmiento, Argentina.
asartare@campus.ungs.edu.ar

Resumen

Los humedales son áreas que permanecen en condiciones de inundación o con suelo saturado de agua durante períodos considerables de tiempo. Muchas especies como las aves, flora y fauna silvestres dependen completamente de los humedales. Desempeñan también un papel importante en el control de las inundaciones.

Contaminantes como sedimentos, fertilizantes, aguas residuales humanas, desechos animales, pesticidas y metales pesados pueden causar su degradación.

Por ello la identificación y preservación de estos ecosistemas de elevada riqueza natural resulta esencial para la preservación de la biodiversidad.

A los efectos de disponer de información actualizada sobre la ubicación de humedales se analizaron y evaluaron diferentes metodologías existente orientadas a la detección de este tipo de cobertura, seleccionando aquellas que mejor se ajustaron a las condiciones de este trabajo. Con el uso de imágenes satelitales de diferentes bandas del espectro se propone un método para la identificación de este tipo de coberturas.

Palabras clave: Humedales, Medio ambiente, Imágenes de satélite, Procesamiento digital, Firmas espectrales

Abstract

Wetlands are areas that remain in flooded or water-saturated soil conditions for considerable periods of time. Many species such as birds, flora and wildlife depend entirely on wetlands. They also play an important role in flood control.

Pollutants such as sediments, fertilizers, human sewage, animal wastes, pesticides and heavy metals can cause their degradation.

Therefore, the identification and preservation of these ecosystems of high natural wealth is essential for the preservation of biodiversity.

In order to have updated information on the location of wetlands, different existing methodologies oriented to the detection of this type of cover were analyzed and evaluated, selecting those that best fit the conditions of this work. With the use of satellite images of different bands of the spectrum, a method for the identification of this type of cover is proposed.

Keywords: Wetlands, Environment, Satellite images, Digital processing, Spectral signatures

Objetivo

Encontrar un método centrado en el aporte de la información que puede obtenerse exclusivamente con el procesamiento de imágenes satelitales.

En este trabajo, se analizan regiones en el área de influencia de la cuenca del Río Reconquista destinado a la identificación de humedales.

Introducción

Ubicación geográfica

La cuenca del Río Reconquista está ubicada en la Area Metropolitana de Buenos Aires (AMBA) al noreste de la provincia de Buenos Aires. Comprende aproximadamente unas 167000 ha, y está compuesta por 134 cursos de agua que recorren un total de 606 km, de los que 82 corresponden al Río Reconquista, (de la Nación et ál., 2007).

Municipios lindantes y población

La cuenca hidrográfica del Río Reconquista, por su parte, abarca unos 1670 km² y actualmente se encuentra distribuida entre 18 partidos del Area Metropolitana, lo que involucra a cuatro millones y medio de habitantes de Bs. As. aproximadamente, (Potocko, 2018: 23), (Rigacci, 2021), (Sadañowski, 2003), (Sánchez et ál., 2017), (Williams et ál., 2018).

Recursos y métodos

Areas seleccionadas

Se definen en este trabajo dos superficies del territorio de la provincia de Buenos Aires que son de interés para ilustrar algunos de los resultados que se obtienen del análisis de los datos de las imágenes satelitales.

Los estudios se realizan con datos de regiones de la imagen delimitadas por alguno de los dos perímetros que se ilustran en la Fig. 1. Un perímetro corresponde a la cuenca y el otro perímetro surge de los partidos seleccionados como área de influencia.



Figura 1: Perímetros de zonas de interés.

Instrumentos e imágenes

Se utilizaron en el presente trabajo datos proporcionados por el Satélite SENTINEL-2, equipado con un instrumento multiespectral (MSI) que mide la radiancia reflejada de la Tierra en 13 bandas espectrales desde el visible (V) y el infrarrojo cercano (NIR) hasta el infrarrojo de onda corta (SWIR) con diferentes resoluciones espaciales.

Muestras y capas de cobertura

Muestras: Es importante señalar que la correcta elección de las muestras a ser usadas como patrones que representan a los distintos tipos de cobertura de la escena influye directamente sobre los resultados de todo procesamiento.

A su vez, los datos que se obtienen de las muestras están condicionados por diferentes factores que influyen en los valores que capta el sensor de la radiación que se refleja en la superficie iluminada.

Capas de cobertura: Las muestras que se definen, se agrupan en capas por tipo de cobertura. Se crean capas de: suelo, urbano, hídrico, vegetación y basural.

Imágenes de Sentinel-2

Firmas espectrales: Se reúnen los datos de todas las coberturas definidas en una tabla y se construye la gráfica de las firmas espectrales con los valores medios de todas esas coberturas (Hernández et ál., 2009), (Aldana et ál., 2022).

Modelo color RGB: Se eligen las bandas que son asignadas a cada canal de color en el modelo color RGB a los efectos de poder hacer una interpretación más gráfica de la escena. Esto se realiza teniendo en cuenta como varía la reflectividad por cada valor de frecuencia o longitud de onda en cada tipo de cubierta, así como el modo en que varía la reflectividad con el efecto combinado de dos elementos, como el caso de vegetación con diferente concentración de humedad o suelo con diferente concentración de humedad (Flores et ál, 2020), (Moreno et ál, 2018).

Índices diferenciales normalizados: El NDWI se utiliza para el análisis de los cuerpos de agua. Permite detectar cambios sutiles en el contenido de agua de los cuerpos de agua. Los valores más altos del NDWI indican suficiente humedad, mientras que un valor bajo indica estrés hídrico. (McFeeters,1996) y se calcula como $NDWI (Sentinel 2) = (B3 - B8) / (B3 + B8)$

Datos

Desde la IDE de Earth Engine Code Editor se seleccionan regiones en diferentes posiciones de la imagen, se calcularon para el conjunto de muestras los promedios de los valores máximos y los promedios de los valores mínimos en el primer semestre del 2019, segundo semestre 2019 y primer semestre 2022.

Resultados

En la Fig. 2 se puede observar una forma de ilustrar los valores asociados a la reflectividad (reflectividad ¹: valores escalados de reflectividad) de cada tipo de cobertura para la banda *B12_20m*. Aparentemente la cobertura agua (hídrico) no presenta superposición de valores con las otras coberturas definidas.

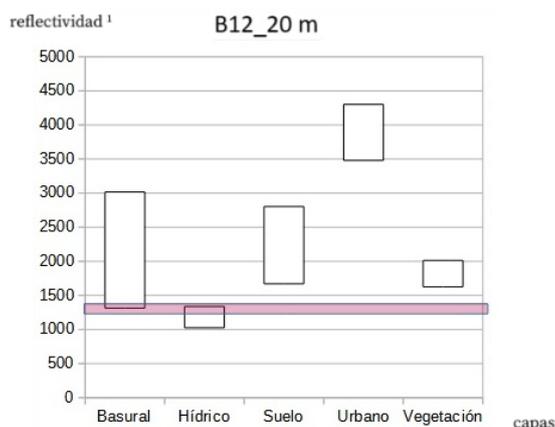


Figura 2: Firmas espectrales por tipo de cobertura

Con la IDE de Earth Engine Code Editor se baja una imagen del período seleccionado. Desde QGIS, se levanta la imagen (archivo raster) y con la calculadora raster de QGIS se crea una imagen binaria usando los valores 1450 y 1025 como valores umbrales (filtroFirmaB12_1450_1025), esto se ilustra en la Fig. 3 y la Fig. 4.

¹Bxx_ymm : Banda xx de yy m de resolución espacial

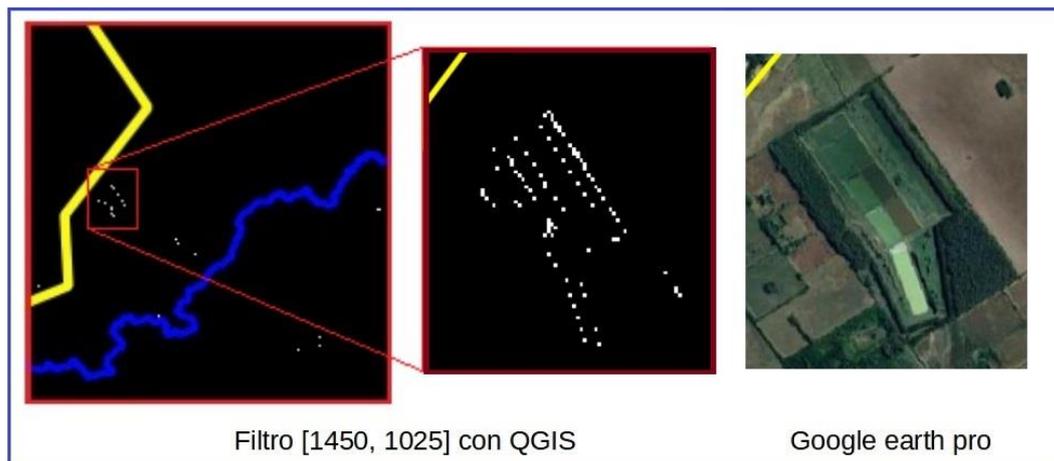


Figura 3: Imagen de Zona 1 ampliada con filtroFirmaB12_1450_1025.

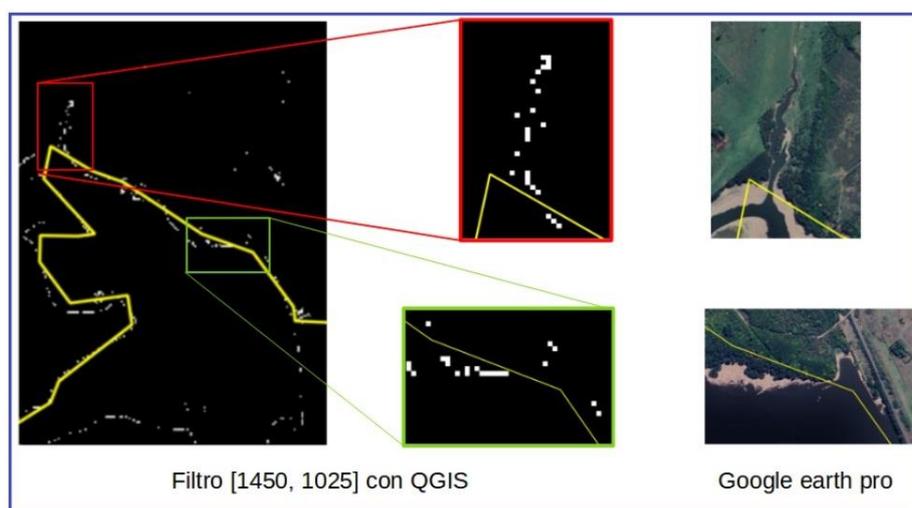


Figura 4: Imagen de Zona 2 ampliada con filtroFirmaB12_1450_1025.

Bandas 8, 4 y 3 - Sentinel-2

Combinando las bandas del Sentinel-2 en el modo “infrarrojo para vegetación” es posible identificar la presencia de humedales que se caracteriza por una baja reflectividad en el infrarrojo. La zona de frontera queda identificada por el límite entre la superficie de tono rojizo intenso y la superficie rojizo oscura que marcan dos tipos de vegetación (Fig. 5 y 6).



Figura 5: Imagen infrarrojo para vegetación.

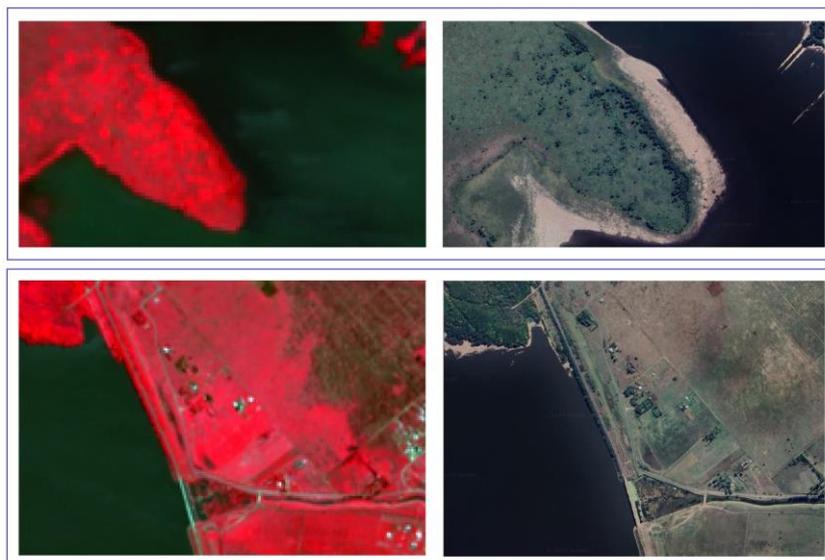


Figura 6: Imagen infrarrojo para vegetación, ampliación de Zona 1 y Zona 2.

Bandas 8 y 3 - Sentinel-2

Operando con las bandas del Sentinel-2 se obtiene una imagen NDWI. En la Fig. 7 se puede observar el resultado de segmentar y colorear la imagen mediante una función que usa los valores estimados de cada tipo de cobertura (agua temporal y agua permanente) usando la interfaz QGIS y la herramienta “Reclasificar por tabla”.

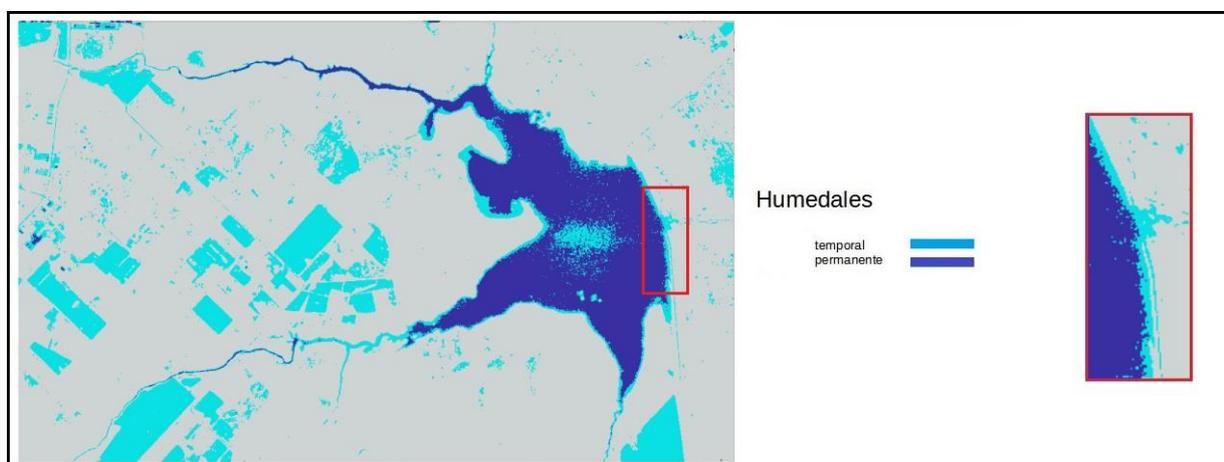


Figura 7: Imagen NDWI, clasificación con color distintos tipos de cobertura.

Conclusiones

Resulta eficiente el uso de filtros que operan en rangos de reflectividad para la identificación de coberturas de agua tal como se ilustra en las imágenes de las Fig. 3 y 4.

La combinación de las bandas del Sentinel-2 en el modo “infrarrojo para vegetación” y para obtener una imagen NDWI permite identificar la presencia de humedales en la periferia del Dique Roggero tal como se ilustra en las imágenes de las Fig. 5, 6 y 7. Del mismo modo, en las imágenes de la Fig. 4, que resulta del uso de filtro que opera en rangos de reflectividad del agua, se identifican coberturas de agua en la periferia del Dique Roggero.

La identificación de humedales y la presencia de coberturas de agua, todos recursos esenciales para la preservación de la biodiversidad, puede lograrse con el uso de diferentes métodos. Tal que, la coincidencia en las ubicaciones donde se identifica la presencia de agua, refuerza la veracidad del resultado obtenido.

Referencias

- Aldana, C., Moncada, W., Gonzales, J., Saavedra, Y., & Gálvez, D. (2022). "Firmas espectrales de especies vegetales, suelo y agua de la cuenca del río Chira, región Piura". *Revista de Investigación Científica de la UNF-Aypate*, 1(1), 28-47.
- Características de Sentinel-2. (EOS DATA ANALYTICS) (2024). Disponible en <<https://eos.com/find-satellite/sentinel-2/>>.
- de la Nación, D. D. P., FARN, F. P., & del Plata, C. (2007). "Informe especial Cuenca del Río Reconquista primera parte". *BA Defensoría del Pueblo de la Nación-Ombudsman Nacional*.
- Flores Cesareo, J. C., Bustamante González, A., Vargas López, S., Cajuste, L., Escobedo, F. J., & Valadez Ramírez, M. (2020). "Cartografía del uso del suelo en la subcuenca Huaquechula, Puebla, México, con un índice combinado de imágenes de satélite". *Investigaciones geográficas*, (101).
- Hernández, J., & Montaner, D. (2009). "Patrones de respuesta espectral. Tecnologías Geoespaciales: Experiencias Aplicadas al Estudio y Gestión del Territorio". *Carlos Mena (Ed.) ISBN, 978-956*.
- McFeeters, S. K. (1996). "The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features". *International journal of remote sensing*, 17(7), 1425-1432.
- Moreno, L., Ramos, V., Pohl, M., & Huguet, F. (2018). "Comparative study of multispectral satellite images and RGB images taken from drones for vegetation cover estimation". In *2018 IEEE 38th Central America and Panama Convention (CONCAPAN XXXVIII)* (pp. 1-8). IEEE.
- Potocko, A. (2018). "Transformaciones de un territorio fluvial. Urbanización y regulación hídrica del río Reconquista (Buenos Aires, Argentina)". *GOT: Revista de Geografía e Ordenamento do Território*, (14), 23.
- Rigacci, L. N. (2021). "Análisis de la capacidad de depuración de la represa Ing. Roggero, Buenos Aires (Argentina)", *Universidad Nacional del Comahue Centro Regional Universitario Bariloche*.
- Sadañiowski, I. (2003). "El problema de las inundaciones en la cuenca del río Reconquista: la represa Ingeniero Carlos F. Roggero, y las funciones ecológicas". (*Doctoral dissertation, Tesis de grado (inédita)*). *Universidad Nacional de General Sarmiento*.
- Sánchez Arrabal, M. B., & Guilarte, M. J. (2017). "Cuenca del río Reconquista." In *IX Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo (Barcelona, España, 2017)*.
- Williams, F., Ríos, D. M., & Vecslir, L. (2018). Dossier "Ríos Urbanos: explorando nuevas perspectivas para el estudio, diseño y gestión de los territorios fluviales".

Calendarios Visuales para Estudiantes Universitarios con TEA

Visual Calendars for University Students with ASD

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Rodolfo Eduardo Neira

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina.
rodolfoneira8@gmail.com

Rodolfo Eduardo Neira (h)

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina.
neirarodolfo@yahoo.com.ar

Andrés Francisco Scocco

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina.
afscocco@gmail.com

Nicolás Quintero Battán

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina.
nicoquinterobattan@gmail.com

Resumen

El objetivo de este trabajo es evidenciar el avance logrado en el proyecto de investigación cuyo propósito es el análisis y desarrollo de tecnologías aplicadas que ayuden a la autonomía de personas con trastorno del espectro autista (TEA). Estas personas suelen ser excelentes pensadores visuales, comprenden y retienen mejor la información que se les presenta de manera visual. Los calendarios visuales se basan en la presentación secuencial de una serie de tareas, de forma clara y simplificada, usando para ello normalmente pictogramas, que facilitan la representación esquematizada sin información adicional innecesaria. Ayudan a comprender las situaciones y saber qué es lo que se espera de ellas, reduciendo de esa manera la ansiedad que les genera lo nuevo e inesperado. En el marco de este proyecto que lleva a cabo la generación de calendarios visuales para estudiantes universitarios con TEA, compartimos antecedentes, cimientos teóricos y el avance obtenido hasta el momento.

Palabras clave: Calendarios visuales, Estudiantes Universitarios, TEA

Abstract

The objective of this work is to demonstrate the progress achieved in the research project whose purpose is the analysis and development of applied technologies that help the autonomy of people with autism spectrum disorder (ASD). These people are often excellent visual thinkers, better understanding and retaining information presented to them visually. Visual calendars are based on the sequential presentation of a series of tasks, in a clear and simplified manner, normally using pictograms, which facilitate schematic representation without unnecessary additional information. They help to understand situations and know what is expected of them, thus reducing the anxiety generated by the new and unexpected. Within the framework of this project that carries out the generation of visual calendars for university students with ASD, we share background, theoretical foundations and the progress obtained so far.

Keywords: Visual calendars, University Students, ASD

Introducción

Uno de los motivos más importantes que nos inspiraron a trabajar en esta área de investigación, es buscar una solución a una problemática social que es la falta de nuevas tecnologías y herramientas educativas que ayuden a las personas con TEA, en su vida cotidiana, especialmente en el entorno universitario. En este trabajo se presenta la generación de calendarios visuales para el entorno universitario que puedan ser de utilidad para personas de distintas franjas etarias. Estos calendarios ayudarán a las personas que tengan TEA a organizar sus actividades académicas y personales de manera efectiva.

Los TEA son un grupo de trastornos neurológicos y del desarrollo que afectan la forma en que las personas interactúan con los demás, se comunican, aprenden y se comportan. Aunque se puede diagnosticar el TEA a cualquier edad, se le conoce como un "trastorno del desarrollo" porque generalmente los síntomas aparecen durante los primeros dos años de vida.

Según el Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales (DSM-5), una guía creada por la Asociación Americana de Psiquiatría que utilizan los proveedores de atención médica para diagnosticar trastornos mentales, las personas con TEA a menudo tienen dificultad para comunicarse e interactuar con otras personas, intereses limitados y comportamientos repetitivos, y síntomas que afectan su capacidad para desempeñarse en la escuela, el trabajo y otras áreas de la vida. Se utiliza el término "espectro" para describir el autismo porque existe una amplia variación en el tipo y la gravedad de los síntomas que tienen las personas con esos trastornos.

El TEA es la definición más actual y abarcadora que refleja la diversidad de experiencias y habilidades de las personas con este espectro. Esta condición incluye las antes conocidas como: Autismo, Síndrome de Asperger, Trastorno desintegrativo infantil y otros trastornos generalizados del desarrollo.

El término TEA es usado para evitar la estigmatización que puede surgir al etiquetar a todas las personas bajo un mismo nombre. Esto conlleva a que en el ámbito educativo se pueda distinguir entre autismo como un concepto limitado y TEA permite a los educadores diseñar estrategias de enseñanza más inclusivas y ajustadas a cada estudiante, respetando su particular forma de aprender y socializar.

La población con TEA ha incrementado en los últimos años (OMS, 2019). A su vez la Organización Mundial de la Salud (OMS), estableció en el año 2019 y entró en vigor en el año 2022, la Clasificación Internacional de Enfermedades, CIE-11, un texto que clasifica las distintas patologías y trastornos con el fin de proporcionar un lenguaje común para informar y controlar las enfermedades, así como para comparar y compartir datos siguiendo unos criterios estándar entre hospitales, regiones y países en distintos períodos de tiempo.

La CIE-11 actualiza los criterios de diagnóstico del autismo, en la misma línea que establece el DSM-5 (Manual diagnóstico y estadístico de trastornos mentales, publicado en 2013 por la Asociación Americana de Psiquiatría). En este sentido, recoge el término único de "Trastorno del Espectro del Autismo" y engloba en esta categoría al Autismo, el Síndrome de Asperger, el Trastorno Desintegrativo Infantil y Otros trastornos generalizados del desarrollo, no especificados.

Respecto a las características nucleares del TEA, la CIE-11 también incluye las mismas dos categorías que el DSM-5 (dificultades para la interacción y la comunicación social, por un lado, e intereses restringidos y comportamientos repetitivos, por otro), eliminando una tercera que aparecía en la anterior versión, relacionada con problemas del lenguaje.

En el marco de la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad, las Naciones Unidas establece que:

"Los avances tecnológicos tienen el poder de reforzar de forma significativa la inclusividad y el empoderamiento de las personas con discapacidad proporcionando acceso a servicios esenciales, mejorando la comunicación y la movilidad e impulsando una mayor participación en la sociedad. Las tecnologías de apoyo, como los lectores de pantalla para personas con deficiencia visual y los teclados adaptados para personas con deficiencias de movilidad ayudan a las personas con discapacidad a realizar tareas que, de otro modo, podrían ser difíciles o imposibles. La proliferación de formas accesibles de tecnología de la información y las comunicaciones (TIC), como las herramientas y las plataformas de tecnología educativa, los sitios web y las aplicaciones móviles accesibles, las aplicaciones de comunicación para personas con deficiencias auditivas o del habla, las iniciativas de telemedicina y relativas a las ciudades inteligentes, ha revolucionado la forma en que las personas con discapacidad acceden a la información y se comunican con otras personas" (ONU, 2024: 2).

La llegada a las universidades de personas con TEA, abre un interrogante de cómo abordar esta situación en un contexto de aprendizaje. En universidades extranjeras, también se plantea este escenario y, se lo aborda a través de programas internos que apoyan a estas personas. Alonso et al. (2009) mencionan apoyos en el ámbito universitario: "El Programa APÚNTATE de Apoyos Universitarios a las Personas con Trastornos del Espectro Autista, iniciado en 2001 en la Universidad Autónoma de Madrid con el patrocinio de la Obra Social de Caja Madrid, se ofrece

actualmente en otras cuatro universidades públicas (Universidad de Zaragoza, Universidad de Sevilla, Universidad de Burgos y Universidad de Málaga) y constituye una plataforma interuniversitaria única de colaboración cuyo objetivo es mejorar la calidad de vida de las personas con trastornos del espectro autista mediante la creación de apoyos directos a las personas, la formación y la investigación". (Alonso et al., 2009: 4)

Las universidades nacionales y el Consejo Interuniversitario Nacional (CIN), atentos a esta situación y, en el marco de integrar a todas las personas, a través de sus órganos colegiados, emitió la siguiente declaración:

"La Red Interuniversitaria de Discapacidad (RID) perteneciente a la Comisión de Extensión, Bienestar Universitario y Vinculación Territorial del Consejo Interuniversitario Nacional (CIN) emitió una declaración, el 16 de diciembre de 2019, donde se avanza en el posicionamiento desde el CIN, acerca del cumplimiento y los alcances de la Convención de los Derechos de las Personas con Discapacidad (CDPD) (ONU, 2006) con jerarquía de constitucional por Ley 27044/2014, en el ámbito universitario, habilitando generar un saldo conceptual y político - con participación activa de las personas con discapacidad- en pos el diseño, planificación e implementación de políticas universitarias accesibles con perspectiva de discapacidad. En virtud de ello tenemos, Las universidades públicas - en tanto miembros integrantes del Estado Argentino - están obligadas a cumplir y hacer cumplir el CDPD. El derecho a la educación superior es un bien social, público y gratuito y un derecho humano que debe ser asegurado operativamente para todas las personas con discapacidad sin exclusiones de ninguna naturaleza y respetando la diversidad, ya que todas las condiciones de discapacidad con sus diferentes manera de comprensión de la vida y el mundo que nos rodea enriquecen la condición humana y fortalecen su dignidad inherente a ella, Por todo lo expresado, la RID del CIN afirma su compromiso ético, legal e institucional para la remoción de las barreras que impidan el ejercicio operativo del derecho a la educación superior, apoyando las acciones de reflexión y revisión de aquellos actos que constituyan obstáculos que afectan a las personas con discapacidad y sus derechos humanos en cada institución universitaria" (CIN, 2020: 1).

La Universidad Tecnológica Nacional y la Facultad Regional San Francisco, propician la apertura para el ingreso de estudiantes, respetando la diversidad y sin exclusión de ninguna naturaleza. Teniendo en cuenta que pueden acceder personas con TEA, se incorporan los calendarios visuales para poder apoyar una variedad de funciones comunicativas en diversos ambientes. Los calendarios apoyan la transición desde formas concretas a formas abstractas. Por ejemplo, el docente quiere pasar al estudiante desde una señal de un objeto como referente a una parte de ese objeto montado en una tarjeta. Cuando se introduce en una rutina del calendario, la simplicidad y un medio altamente estructurado resalta el cambio. Los calendarios asocian los símbolos o formas (por ejemplo, señas objeto, gráficos) a actividades que la persona está haciendo realmente. Esto asegura que los símbolos tienen una base de experiencia detrás de ellos y que realmente se comprendan. El símbolo o forma con que representamos las actividades en el calendario ayudara a traer la actividad a la mente. El estudiante tiene la libertad entonces para hablar sobre las cosas antes o después que ellas ocurran.

Desarrollo

Investigación Previa y Recursos Existentes

El TEA se caracteriza por el deterioro de la capacidad de comunicación e interacción social, dificultades motrices, comportamientos repetitivos y déficit cognitivo. Generalmente son sujetos pasivos, alejados de las personas y poco sensibles a su entorno, evitan cualquier contacto visual, muestran resistencia a los cambios de ambiente y a actividades inusuales. Las personas con TEA con frecuencia tienen problemas con la comunicación y la interacción sociales, y conductas o intereses restrictivos o repetitivos. Las personas con TEA también podrían tener maneras distintas de aprender, moverse o prestar atención. Es importante señalar que algunas personas sin TEA también podrían presentar algunos de estos síntomas. Estas características pueden dificultar mucho la vida de las personas con TEA (Hyman et al., 2020).

Existen numerosos estudios que evidencian que el sentido visual es el mejor preservado en los que padecen TEA y que incluso existen conceptos que habitualmente no evocan imágenes visuales, activan áreas visuales supuestamente destinadas al procesamiento visual de la corteza parietal y occipital en estas personas. En consonancia con estos hallazgos, diferentes trabajos apuntan a que la mayoría de las personas con TEA son pensadores visuales en vez de verbales, (Herrera, 2012) es decir, comprenden, asimilan y retienen mejor la información que se les presenta de manera visual, frente a la información verbal, las imágenes permanecen en el tiempo e implican un menor nivel de abstracción (Gómez Leyva, 2011).

En los últimos años, se extendió el uso de agendas pictográficas en los contextos de aprendizaje de los jóvenes con TEA. Se trata de procedimientos que implican el registro gráfico o escrito de secuencias diarias de actividades y, frecuentemente, el resumen simple de sucesos relevantes en el día. Este hecho facilita la anticipación y comprensión de las situaciones, según se muestra en la Figura 1:



Figura 1. Agenda visual. Sergio Palau. ARASAAC.org

Un pictograma es un elemento gráfico que se utiliza para representar conceptos, objetos o acciones mediante imágenes simples y fácilmente reconocibles. Estas representaciones visuales son herramientas poderosas que ayudan a comunicar de manera efectiva, superando las barreras lingüísticas y facilitando la comprensión. Además, en el contexto específico del TEA, los pictogramas desempeñan un papel crucial al mejorar la comunicación brindando un medio efectivo y la calidad de vida de las personas con esta patología. Estas representaciones gráficas, que utilizan imágenes simples y fácilmente reconocibles, han demostrado ser una herramienta valiosa para mejorar la comunicación y la calidad de vida de quienes enfrentan este trastorno.

Es por este motivo, que el uso de pictogramas o soportes visuales es altamente recomendable en muchas situaciones en personas con TEA, se ponen en evidencia en la Figura 2:

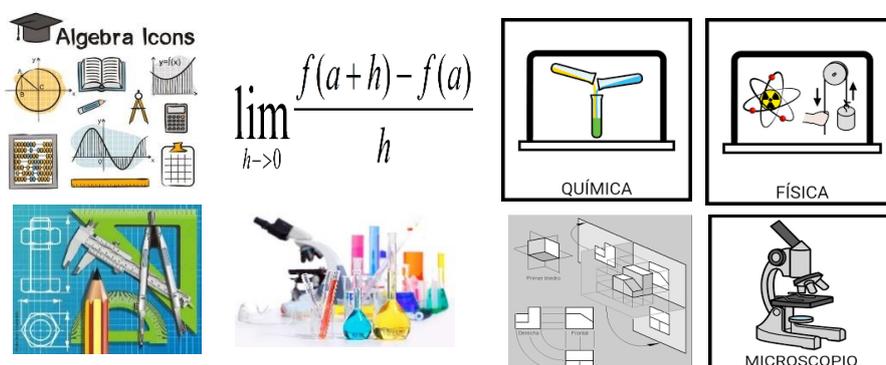


Figura 2. Pictogramas. ARASAAC.org

Existen tecnologías que permiten facilitar el trabajo con pictogramas y su aplicación en el ámbito educativo, como pueden PICTAR, PictogramAgenda, Azahar, TICO y AraBoard.

A continuación mencionaremos algunas de las situaciones en las que los pictogramas pueden ser de gran ayuda:

1. Comunicación expresiva: Los pictogramas permiten a las personas con autismo expresar sus necesidades, deseos y emociones de manera efectiva, incluso cuando tienen dificultades para comunicarse verbalmente. Pueden utilizar pictogramas para solicitar comida, agua, ir al baño o expresar si se sienten felices, tristes o enojados.

2. Comprensión: Los pictogramas facilitan la comprensión de conceptos abstractos y secuencias de eventos. Pueden ayudar a las personas con autismo a entender instrucciones, horarios, rutinas diarias y procesos complejos.

3. Anticipación, horarios y rutinas: Los pictogramas se utilizan para ayudar a las personas con autismo a anticipar lo que sucederá a continuación. Por ejemplo, pueden ver un pictograma que representa una actividad planificada, como ir al parque, para prepararse mentalmente y reducir la ansiedad asociada con los cambios en la rutina.

4. Marcar normas y límites: Los pictogramas también se emplean para establecer reglas y normas claras. Esto puede incluir pictogramas que representan comportamientos deseables e indeseables, ayudando a las personas con autismo a comprender lo que se espera de ellas en diferentes situaciones.

Por lo tanto, los pictogramas pueden utilizarse en una amplia gama de situaciones para apoyar la comunicación, la comprensión y la anticipación en personas autistas.

Simplemente es analizar la situación concreta y valorar si el uso de pictogramas pueda hacerla más llevadera para la persona con autismo.

Actualmente, existen calendarios de pictogramas y herramientas visuales que ayudan a las personas en el espectro autista a organizar sus rutinas. Ejemplos de estos recursos incluyen:

- PECS,
- Visual Schedule Planner,
- Boardmaker y,
- SchKIDules.

Sin embargo, muchos de estos recursos no están específicamente adaptados al entorno universitario ni disponibles en español.

Objetivo de Calendarios Visuales

Crear calendarios visuales específicos para el entorno universitario que pueda ser útil para personas de cualquier edad. Este calendario ayudará a las personas en el espectro autista a organizar sus actividades académicas y personales de manera efectiva.

Uso de Calendarios Visuales en Personas con TEA

1. Beneficios Generales:

- Estructuración del Tiempo: Ayudan a entender y predecir eventos futuros, reduciendo la ansiedad relacionada con cambios e incertidumbre.
- Desarrollo de Habilidades de Planificación: Facilitan el aprendizaje de habilidades de planificación y organización mediante representaciones visuales.
- Mejora de la Comunicación: Útiles para personas no verbales o con dificultades en la comunicación, facilitando la expresión y comprensión de rutinas y expectativas.

2. Edad de Uso:

- Edad Temprana: Introducidos en la infancia temprana para ayudar a establecer rutinas y entender el flujo del día.
- Edad Escolar: Utilizados para apoyar la transición entre actividades, el cumplimiento de tareas escolares y la organización diaria.
- Edad Adulta: Algunos adultos con TEA continúan usándolos para gestionar responsabilidades laborales, actividades sociales y compromisos.

3. Variabilidad en el Uso:

- Adaptación Individual: La utilidad depende de las preferencias y necesidades individuales. Algunos pueden preferir otros métodos de organización según sus habilidades y estilo de vida.

Implementación en Google Calendar

Se explorará la posibilidad de desarrollar una extensión o *add-on* para Google Calendar que permita añadir pictogramas a los eventos. Esto incluiría:

- Definir una biblioteca de pictogramas necesarios.
- Escribir el código necesario utilizando Google Apps Script y la API de Google Calendar.
- Probar y ajustar el *add-on* para asegurar su funcionalidad.

Recursos Necesarios

- Google Apps Script: Apps Script | Google for Developers
- Google Calendar API: Google Calendar | Google for Developers
- Google Workspace Add-ons: Add-ons - Google Workspace

Después de analizar las herramientas disponibles para crear calendarios visuales se optó por utilizar Google Calendar, porque en Argentina está extendido y arraigado; hacer un calendario desde el inicio no es justificable, teniendo en cuenta que, si lo hiciéramos desde cero estaríamos limitados al uso de éste. Además hay aplicaciones que presentan calendarios que funcionan correctamente. Otra ventaja es que de esta manera se podría usar en cualquier dispositivo y plataforma, desde la computadora, una Tablet, un celular Android y Apple.

Se presenta un boceto de un calendario basado en las cátedras, y sus respectivos horarios, que se dictan en el segundo cuatrimestre del primer año de la carrera de Ingeniería Química de la Facultad Regional San Francisco de la Universidad Tecnológica Nacional, como se evidencia en la Figura 3:

Horario	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
					
					
		$\lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(a+h) - f(a)}{h}$			
					
					
					

Figura 3. Boceto de calendario. Elaboración propia

Conclusiones

Teniendo en cuenta el objetivo del trabajo presentado y con la información recopilada, se detecta la necesidad de generar nuevas herramientas específicas que faciliten la inclusión, estadía, progreso y finalización de carreras universitarias de personas con TEA, porque la posibilidad de acceder a ellas es escasa o nula. Continuando con esta línea de investigación se procederá a establecer las técnicas, plataformas y tecnologías a utilizar, para poder desarrollar las herramientas con la mejor relación “simpleza-efectividad”, con los recursos existentes, con fácil accesibilidad para los futuros usuarios, en dispositivos y entornos que resulten familiares, y que su implementación sea con la finalidad de evitar ansiedad en los estudiantes con TEA.

Referencias

Alonso, N., Belichon, M., Blanco, R., Cáceres, D., Frías, C. (2009). *Hacia un modelo de apoyos universitarios a estudiantes con síndrome de Asperger: Necesidades y propuestas de actuación*. Madrid

Consejo Interuniversitario Nacional (2020). *Resolución CE N° 1503/2020. Programa Integral de Accesibilidad para las Universidades Públicas*. Buenos Aires.

Gómez Leyva I. (2011). El autismo. Atención educativa a niños autistas. En: *Escolares con necesidades educativas especiales, selección de temas*. La Habana: Pueblo y Educación; p. 172-175.

Herrera G. (2012). Pictogram Room: Aplicación de tecnologías de interacción natural para el desarrollo del niño con autismo. *Anuario de Psicología Clínica y de la Salud*. (08):41-46

Hyman, S.L., Levy, S.E., Myers, S.M., & AAP Council on Children with Disabilities, Section on developmental and behavioral pediatrics. (2020). *Identification, evaluation, and management of children with autism spectrum disorder*. 145(1), e20193447.

OMS (2019). Organización Mundial de la Salud. Obtenido de: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/autism-spectrum-disorders>

ONU (2024). Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad. Nueva York.

Palao, S. (sf). Aula abierta de ARASAAC. <https://arasaac.org>

Un Marco Ontológico de Usabilidad para el Modelado Conceptual de Sistemas

A Usability Ontological Framework for Conceptual Modeling of Systems

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Juan Carlos Moreno

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Centro de Investigación, Desarrollo y Transferencia de Sistemas de Información, Argentina.
jmoreno@frc.utn.edu.ar

María Alejandra Paz Menvielle

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Centro de Investigación, Desarrollo y Transferencia de Sistemas de Información, Argentina.
mpaz@frc.utn.edu.ar

Marcelo Martín Marciszack

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Centro de Investigación, Desarrollo y Transferencia de Sistemas de Información, Argentina.
marciszack@frc.utn.edu.ar

Matías Emanuel Moreno

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Centro de Investigación, Desarrollo y Transferencia de Sistemas de Información, Argentina.
matias.emmanuel.moreno.783@mi.unc.edu.ar

Resumen

La construcción eficiente de aplicaciones más usables es esencial para el diseño del software. Esto motivó al desarrollo de una propuesta metodológica sustentada en una ontología de usabilidad, que permite incorporar atributos de Usabilidad integrándolos al ciclo de vida de desarrollo del software mediante el empleo de patrones. Durante la etapa de elicitación de requerimientos, los atributos de usabilidad son identificados partiendo desde el Modelo de Procesos de Negocios. Luego, mediante transformaciones, son integrados a modelos de escenarios que emplean el Léxico Extendido del Lenguaje. En ese momento, el analista requiere de un método que le permita saber qué métricas y patrones emplear para satisfacer los requerimientos no funcionales de usabilidad. Esto dio origen al desarrollo de una nueva ontología fundamentada en estándares como la norma ISO/IEC 25010 (SQUARE). La ontología propuesta brinda métricas y los patrones necesarios para la evaluación de los atributos de Usabilidad en el modelado conceptual.

Palabras clave: Ontología de Usabilidad, Patrones, Métricas, Modelado Conceptual, Escenarios

Abstract

The efficient construction of more usable applications is essential for software design. This motivated the development of a methodological proposal based on a usability ontology, which allows the incorporation of usability attributes by integrating them into the software development life cycle through the use of patterns. During the requirement elicitation phase, usability attributes are identified starting from the Business Process Model. Then, through transformations, they are integrated into scenario models that use the Extended Language Lexicon. At this point, the analyst requires a method that allows him to know which metrics and patterns to use to satisfy the non-functional requirements of usability. This gave rise to the development of a new ontology based on standards such as the ISO/IEC 25010 (SQUARE) norm. The proposed ontology provides the metrics and patterns necessary for the evaluation of usability attributes in conceptual modeling.

Keywords: Usability Ontology, Patterns, Metrics, Conceptual Modeling, Scenarios

Introducción

El avance de Internet ha impulsado a la ingeniería de software a buscar técnicas para el desarrollo de sistemas de información, que incorporen aspectos de calidad y sobre todo criterios de Usabilidad, durante el proceso de construcción del software. En el contexto descrito, interesa saber, si se han diseñado ontologías concretas para dar soporte a especificaciones de usabilidad, que es uno de los Requerimientos No Funcionales fundamentales en aplicaciones web. Según Gruber (Gruber, 1995), una ontología es "una especificación explícita de una conceptualización", generalmente se indica que puede tomar una variedad de formas, pero incluirá necesariamente un vocabulario de términos y una especificación de sus significados (Uschold, 1998). Desde hace unos años, las ontologías han sido empleadas como un enfoque de modelado de sistemas (Happel & Seedorf, 2006), gracias a la estandarización de conceptos y datos en la web, como así también en la gestión de requerimientos, mediante la validación y especificación de objetos, conceptos y relaciones de un dominio específico para la construcción de sistemas de información. Se ha renovado el interés sobre las ontologías, gracias a la aparición de tecnologías web semánticas (Dobson & Sawyer, 2006). En dicho entorno, el uso de las ontologías se ha concentrado en problemas de incompletitud e inconsistencia en las especificaciones de requisitos. Una ontología proporciona una representación formal del conocimiento que se puede compartir, de modo que la ambigüedad, la inconsistencia, la falta de completitud y la redundancia se pueden reducir al mínimo (Greenspan et al., 1994). De este modo, las ontologías se han empleado para representar requisitos en lenguajes de ontología formales para el análisis de consistencia, integridad y corrección de los requisitos de las ontologías especificadas para los mismos.

El objetivo es presentar una propuesta de una ontología de Usabilidad que permita, a través de la selección de un criterio, poder identificar y emplear patrones de usabilidad para el modelado conceptual, y brindar además posibles métricas que permitan verificar su presencia en etapas tempranas del desarrollo del software.

Desarrollo

La creación de una ontología es un proceso compuesto por una serie de pasos caracterizados como actividades que se realizan en un determinado orden, para cumplir con un fin específico. No todas las ontologías posibles se encuentran desarrolladas. Es necesario crearlas e implementarlas de algún modo para que sean empleadas en un dominio que tenga significado y brinde algún aporte al mismo (Paz Menvielle et al, 2021). Se sabe que se dispone de más de una metodología para construir las mismas, como de herramientas para su implementación y no hay un único lenguaje para el marcado. Además, existe una interrelación entre todos los elementos y un orden sistematizado para la construcción de una ontología. El entorno de trabajo propuesto es una de las posibles aplicaciones. La ontología construida es una herramienta complementaria para el diseño conceptual propuesto basado en escenarios. Existen varias metodologías para la construcción de ontologías. Pero las metodologías que se analizaron para desarrollar el presente trabajo fueron Methontology (Fernández López et al., 1997) y Ontology Development 101 (Noy & McGuinness, 2001), por sus características de construcción y la facilidad de empleo o de aplicación metodológica.

La metodología METHONTOLOGY es una propuesta integral, que sugiere la creación de ontologías como un proyecto informático, abarcando actividades para planificación de un proyecto, evaluación de la calidad del resultado, la documentación de los mismos, además de permitir la creación de nuevas ontologías y de reutilizar otras. El entorno de desarrollo incluye la identificación del proceso de desarrollo de la ontología, abarcando las principales actividades (evaluación, conceptualización, configuración, integración, implementación, etc.). Es decir, que se especifica un ciclo de vida de una ontología basado en prototipos evolucionados y en la metodología propiamente dicha, que especifican los pasos a ejecutar en cada actividad, las técnicas usadas, los productos a obtener y su forma de evaluación. Esta metodología está parcialmente soportada por el entorno de desarrollo ontológico WebODE (Arpírez et al. 2001) y propone las siguientes etapas: 1) especificación, 2) conceptualización, 3) formalización, 4) implementación y 5) mantenimiento.

Por otra parte, la metodología "ONTOLOGY DEVELOPMENT 101", creada por la Universidad de Stanford EEUU, recomienda una serie de etapas para el desarrollo y creación de una ontología. Dichas recomendaciones establecen las siguientes actividades para la creación y el desarrollo de una ontología: 1) Determinar el dominio y ámbito de la ontología; 2) Determinar la intención de uso de la ontología; 3) Reutilizar ontologías o vocabularios controlados existentes; 4) Enumerar los términos importantes del dominio; 5) Definir jerarquía de clases; 6) Crear las instancias.

De los dos métodos mencionados para la construcción de ontologías descriptos, se decidió emplear la metodología de "Ontology Development 101" por su claridad conceptual basada en el paradigma orientado a objetos y por su sencillez de implementación. Sin embargo, se tomaron en cuenta algunos conceptos de la metodología Methontology, para el diseño de la ontología cuando no estaban claros en la metodología tomada como base.

Una vez analizado lo anteriormente descrito y teniendo en cuenta las ontologías mencionadas, se definió la estructura conceptual que contendrá la ontología, empleando ciertos métodos como los propuestos por Ding y Foo para la obtención de conceptos relevantes de la misma (Ding & Foo, 2002). Estos métodos incluyen: 1) Datos fuente: vocabularios, corpus de estándares de normas y preguntas a usuarios; 2) Métodos para la extracción de conceptos: análisis sintáctico, procesamiento del lenguaje natural, etc.); 3) Métodos para la extracción de relaciones: basándose en algoritmos que en ocasiones se aplican de forma manual; 4) Reutilización de ontologías; 5) Representación de la ontología, que comprende su estructura jerárquica, la lógica de su descripción junto con los grafos conceptuales y el XML correspondiente, 6) Herramienta o sistema asociado: relacionados con programas informáticos vinculados con el desarrollo de proyectos de ontologías. La elaboración y construcción de una ontología debe tener en cuenta siempre el dominio en el cual será empleada y su relación con la arquitectura del sistema de información en el que será implementada y estará inmersa. Esto permitirá a posterior formular teorías del conocimiento basadas en un dominio específico.

Herramientas

Las herramientas existentes para el desarrollo de Ontologías son variadas, es posible mencionar a Ontosaurus (Swartout et al, 1996), WebODE (Arpírez et al. 2001), Ontilingua (Ding & Foo, 2002), OntoEdit (Sure, 2002), (Oskin, 2023) y Protégé (Noy et al, 2003), entre otras. En el presente trabajo se seleccionó la herramienta Protégé por ser una herramienta probada y reconocida, que se emplea para el desarrollo de nuevas ontologías y para revisión de ontologías existentes Gómez-Pérez, en entornos colaborativos web. Protégé permite tanto la edición y la consulta, así como la exportación e importación de ontologías, y provee la visualización de la misma en formato gráfico. También se la puede emplear como herramienta de fusión e integración de ontologías para combinar e integrar de forma correcta ontologías de diversos dominios y lograr una ontología de calidad a partir de las existentes.

Construcción del Marco Ontológico

La ontología construida incluye la definición de conceptos, y sus relaciones, vinculados con Requerimientos No Funcionales de Usabilidad. En su construcción se emplearon los pasos descritos en la metodología ONTOLOGY DEVELOPMENT 101, como metodología base. A continuación, se detalla su diseño, desarrollo e implementación a través de los siguientes pasos:

1) Determinar el dominio y ámbito de la ontología. Esta etapa se basó en distintos estándares de las normas ISO, haciendo especial énfasis en la norma ISO/IEC 25010 (ISO/IEC 25010, 2023), que reemplazó a la norma ISO/IEC 9126 (ISO/IEC 9126-1, 2001), y que menciona aspectos de calidad del software relacionados con la usabilidad desde dos puntos de vista: desde la perspectiva del producto de software (facilidad de aprendizaje, facilidad de entendimiento, facilidad de uso, facilidad de ayuda, accesibilidad técnica, grado de atracción y adherencia a normas o convenciones) y desde la calidad en uso (efectividad en uso, eficiencia en uso, satisfacción en uso y usabilidad en uso adherida a normas o convenciones) (Fernández, 2009). La definición de cada categoría abordada estuvo en función de la determinación de los principales aspectos de la usabilidad caracterizados como atributos, y que por su gran nivel de abstracción fue necesario descomponerlos en subatributos. A partir de ellas, y con la incorporación de conceptos necesarios vinculados con la medición para indicar la presencia de los atributos, se incorporó el concepto de “métrica” con sus características. Pero se observó, que en el desarrollo de sistemas de información existen problemas de diseño recurrentes que cuentan con soluciones ya probadas, basadas en buenas prácticas (Folmer & Bosch, 2004). A estas soluciones se las llaman patrones, y se decidió anexar a los patrones de usabilidad en el diseño (Moreno et al., 2020). De esta manera, la ontología quedó conformada por tres grandes categorías temáticas: atributos, métricas y patrones, que serán aplicables desde el punto de vista de la calidad en uso del producto y desde la calidad del producto según expresa la norma ISO/IEC 25010. A su vez las áreas temáticas de la ontología se limitan a la definición de categorías genéricas por tema y subtemas, caracterizadas como clases, subclases y atributos, vinculados por relaciones únicas entre los mismos.

2) Determinar la intención de uso de la ontología. La intención de uso de la ontología es incorporar aspectos de calidad relacionados con la usabilidad desde etapas tempranas en la construcción de los sistemas. La misma contribuirá a unificar criterios de aplicación y evaluación en los sistemas de información colaborativos en entornos web.

3) Reutilizar ontologías existentes. Esta recomendación motivó la búsqueda de ontologías existentes en estudios académicos científicos, donde se investigaron la usabilidad, las métricas y los patrones vinculados con ontologías (Marciszack et al., 2018). En métricas y patrones de usabilidad surgieron trabajos de autores, como: el Dr. Luis Olsina, la Mg. María de los Ángeles Martín, el Dr. Adrián Fernández Martínez, la Dra. Natalia Juristo y muchos otros de relevancia,

que contribuyeron y sirvieron de referencia para la construcción y creación de una nueva ontología. Bajo este contexto y con la reutilización de conceptos estándares de tipo ontológico en dicho campo, se decidió adoptar una propuesta de instanciación del dominio bajo un esquema de Tesauro (Gruber, 1995). Los conceptos fueron modelados bajo un esquema de tesauro, produciendo una taxonomía organizada de conceptos relacionados, muy útiles para el diseñador de software. La ontología construida contiene clases y diferentes relaciones que contribuyen en la búsqueda exhaustiva en una base de conocimiento.

4) Enumerar los términos importantes del dominio. Durante el proceso de diseño de la ontología se extrajeron los conceptos más relevantes de usabilidad de las normas estándares ISO/IEC 9126 e ISO/IEC 25010, como así también conceptos originados de distintos escritos científicos de autores relevantes de bibliotecas digitales reconocidas académicamente como IEEE Explore, Science Direct, ACM, Springer Link, etc, para la caracterización de las clases: usabilidad, métrica y patrón.

5) Definir jerarquía de clases. En primer lugar, se estableció el orden jerárquico de la ontología de las clases que depende de clases bases, valga la redundancia, establecidas como principales. Las mismas se encuentran, conforme a los ejes temáticos abordados en la investigación (términos más generales en el esquema de conceptos). En este proceso se definieron siete categorías principales que cubren las temáticas más generales del dominio, donde cada una de las categorías representa un concepto. Los términos generales (Clases) definidos fueron “Atributos de Calidad del Producto”, Patrón, Métrica, Ecuación, Tipo de escala, Unidad e Instrumento de Medición. A cada categoría (concepto más general), se le realizó un mapeo de las relaciones que tiene, con otros conceptos. Estos conceptos se encuentran vinculados como subclases de los principales conceptos (conceptos subordinados de los conceptos generales). Esto produjo una ontología arborescente que permitió caracterizar cada concepto, hasta llegar a conceptos cada vez más específicos ubicados en las hojas. En estas últimas se definieron las propiedades y descripciones relevantes de los conceptos atómicos de la ontología. El proceso se repitió con cada una de las seis categorías generando un árbol jerárquico por cada una de ellas. Cada categoría del árbol fue validada por grupo limitado de docentes y estudiantes con trayectoria académica en alguna línea de investigación y que trabajan con diseño e implementación de software.

El segundo paso consistió en agregar las relaciones entre los conceptos, representando como se relaciona cada concepto con los demás conceptos como un tipo de relación de asociación. Esto conlleva a un tipo de representación de similitud temática entre los conceptos expresados en lenguaje natural. La incorporación de las relaciones es lo que diferencia notablemente a la ontología respecto de la jerarquía de conceptos definidos inicialmente en el primer paso.

6) Crear las instancias. Como resultado, se obtuvo un árbol jerárquico con dos o tres niveles, sin omitir que algunas de las ramas contienen más niveles de profundidad. La Figura 1 muestra el esquema jerárquico del primer nivel de conceptos. En el primer nivel se encuentran los conceptos principales. Queda abierta la posibilidad de extender la ontología añadiendo otros conceptos y descripciones (ver Figura 2).

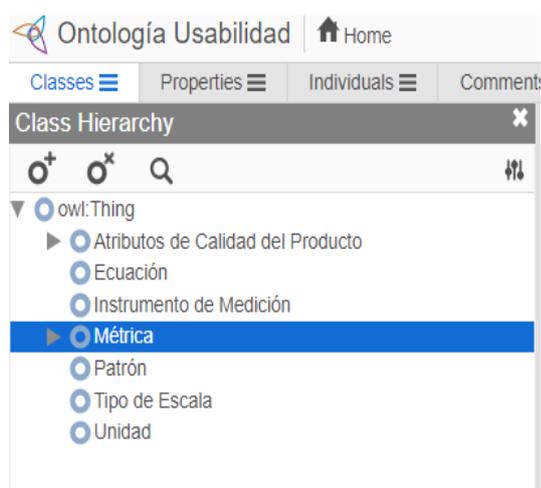


Figura 1: Esquema jerárquico de primer nivel de la ontología

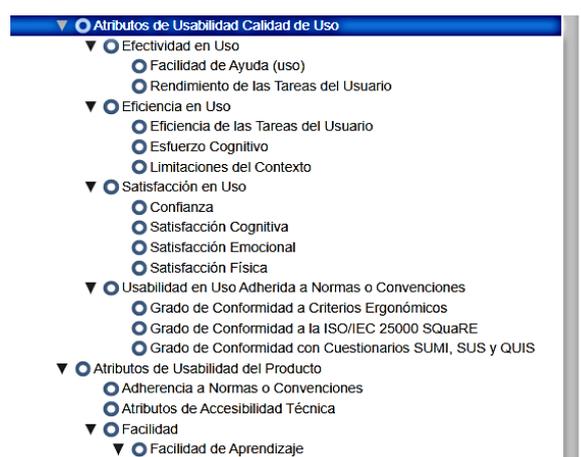


Figura 2: Esquema jerárquico de segundo, tercer y cuarto nivel de la ontología

Por último, la ontología como las instancias que conforman el dominio de la usabilidad pueden ser implementadas utilizando el lenguaje OWL, y convertidas a RDF-Schema y RDF respectivamente.

La implementación de la ontología fue realizada con la herramienta Protégé. La Figura 3, detalla las relaciones jerárquicas del concepto “Agrupación Cohesiva de la Información”, utilizando la herramienta de visualización del programa Protégé.

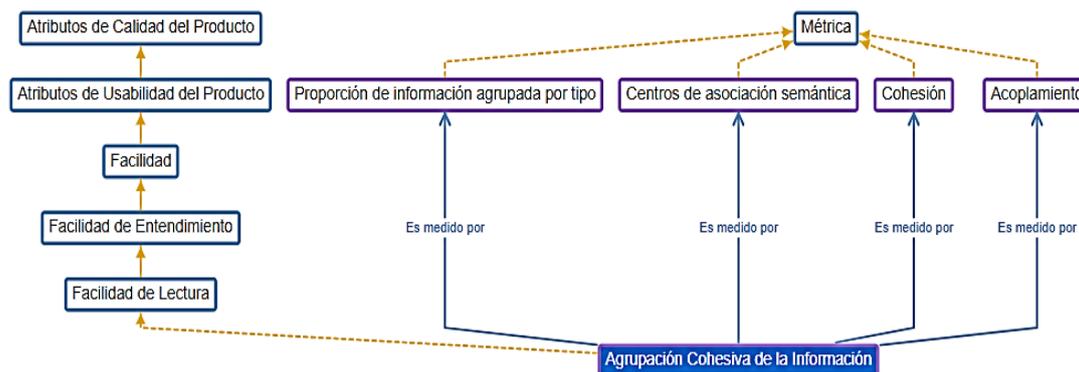


Figura 3: Esquema de la relación asociativa entre las clases de los atributos de usabilidad, métricas y patrones de uno de los atributos del marco ontológico propuesto.

Resultados

La ontología propuesta permite acceder en forma eficiente a los distintos criterios y atributos de usabilidad definiendo la misma en un lenguaje natural, común y único para todas las partes interesadas del sistema. Esto permite no solo evitar inconsistencias en el modelado conceptual, sino que además brinda como ventaja adicional el acceso a métricas para evaluar la presencia del atributo que se elicitió, y le otorga al Ingeniero de Sistemas la posibilidad de implementar patrones de usabilidad para ser incorporados en el modelo conceptual. Es posible entonces incorporar aspectos de calidad relacionados con la usabilidad durante el diseño del software, definiendo especificaciones de usabilidad en etapas tempranas de desarrollo del software.

Conclusiones

La ontología propuesta permite en la etapa de diseño del sistema definir especificaciones de usabilidad en las etapas tempranas de desarrollo del software en forma organizada, flexible, escalable y acorde a estándares de calidad vigentes, mediante el empleo de un marco ontológico de usabilidad, que vincula los atributos, métricas y patrones (de usabilidad) en forma organizada y sistemática. Es posible generar entonces nuevos modelos que posibiliten un diseño más eficiente mediante la incorporación temprana de aspectos de usabilidad empleando patrones. A su vez, los modelos pueden ser verificados por quien diseña y validados con el cliente, puesto que cuenta con modelos expresados en el mismo lenguaje natural que el usado en el contexto del dominio del problema. De este modo, el proceso de construcción del software con la incorporación de patrones de usabilidad, métricas y la posibilidad de ampliar los mismos por contar con una ontología de usabilidad, garantizan cierto grado de calidad desde la etapa de construcción del software (arquitectura) y brindan además un gran soporte a quien lo está diseñando.

Referencias

- Arpírez, J. C., Corcho, O., Fernández-López, M., & Gómez-Pérez, A. (2001, October). WebODE: a scalable workbench for ontological engineering. In Proceedings of the 1st international conference on Knowledge capture (pp. 6-13).
- Ding, Y., & Foo, S. (2002). Ontology research and development. Part 1- A review of ontology generation. *Journal of Information Science*, 28(2), 123-136.
- Dobson, G., & Sawyer, P. (2006). Revisiting ontology-based requirements engineering in the age of the semantic Web. In Proceedings of International Seminar on Dependable Requirements Engineering of Computerised Systems at NPPs.
- Fernández, M. (2009). Un proceso de evaluación de usabilidad Web integrado en el Desarrollo de Software dirigido por modelos. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

- Fernandez-Lopez, M., Gomez-Perez, A., & Juristo, N. (1997). METHONTOLOGY: From Ontological Art Towards Ontological Engineering. AAAI Symposium on Ontological Engineering, Stanford.
- Folmer, E., & Bosch, J. (2004). Architecting for usability: a survey. *Journal of systems and software*, 70(1-2), 61-78.
- Greenspan, S., Mylopoulos, J., & Borgida, A. (1994). On formal requirements modeling languages: RML revisited. In *Proceedings of 16th international conference on Software engineering* (pp. 135-147). IEEE Computer Society Press.
- Gruber, T. R. (1995). Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. *International Journal of Human-Computer Studies*, 43(5-6), 907-928.
- Happel, H.-J., & Seedorf, S. (2006). Applications of ontologies in software engineering. In *Proceedings of Workshop on Semantic Web Enabled Software Engineering (SWESE) on the ISWC*. Citeseer.
- ISO/IEC 9126-1. (2001). Software product evaluation — Quality characteristics and guidelines for their use. International Organization for Standardization.
- ISO/IEC 25010. (2023). Systems and software engineering — Systems and software quality models. International Organization for Standardization.
- Luna, J. A. G., Bonilla, M. L., & Torres, I. D. (2012). Metodologías y métodos para la construcción de ontologías. *Scientia et technica*, 2(50), 133-140.
- Marciszack, M. M., Moreno, J. C., Sánchez, C. E., Medina, O. C., Delgado, A. F., & Castro, C. S. (2018). Patrones en la construcción del modelo conceptual para sistemas de información [Patterns in the construction of the conceptual model for information systems]. edUTecNe.
- Moreno, J. C., Marciszack, M. M., & Groppo, M. A. (2020). Patrones de Usabilidad Temprana en el Modelo Conceptual [Early usability patterns in the conceptual model]. *AJEA*, (5), 750-759. <https://doi.org/10.33414/ajea.5.750>
- Noy, N. F., & McGuinness, D. L. (2001). *Ontology development 101: A guide to creating your first ontology*.
- Noy, N. F., Crubézy, M., Ferguson, R. W., Knublauch, H., Tu, S. W., Vendetti, J., & Musen, M. A. (2003, January). Protégé-2000: an open-source ontology-development and knowledge-acquisition environment. In *AMIA... annual symposium proceedings*. AMIA Symposium (pp. 953-953).
- Oskin, A. (2023). Building a comprehensive digital archive for the polotsk cadet corps: a case study intelligent information and reference system design.
- Paz Menvielle, M. A., Meloni, B. E., Garnero, A. B., Ligorria, K. P., Marciszack, M. M.. (2021). Ontologías de Usabilidad Temprana: Un Estudio de Mapeo Sistemático de Literatura. San Francisco UTN, F. R. Jornadas de Ciencia y Tecnología. *AJEA (Actas De Jornadas Y Eventos Académicos De UTN)*, 2021. (1). <https://doi.org/10.33414/ajea.1.871.2021>
- Sure, Y., Erdmann, M., Angele, J., Staab, S., Studer, R., & Wenke, D. (2002, May). OntoEdit: Collaborative ontology development for the semantic web. In *International semantic web conference* (pp. 221-235). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Swartout, B., Patil, R., Knight, K., & Russ, T. (1996). Ontosaurus: a tool for browsing and editing ontologies. In *9th Banff Knowledge Aquisition for KNowledge-based systems Workshop*.
- Uschold, M. (1998). Knowledge level modelling: Concepts and terminology. *The Knowledge Engineering Review*, 13(1), 5-29.

Una propuesta para incorporar calidad de datos en criterios de aceptación en historias de usuario

A proposal to incorporate data quality into acceptance criteria in user stories

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Javier Saldarini, Claudio Carrizo

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina.
saldarinijavier@gmail.com; cjarrizo77@gmail.com

Carlos Salgado, Alberto Sánchez, Mario Peralta

Universidad Nacional de San Luis - Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas y Naturales, Argentina.
csalgado@unsl.edu.ar, asanchez@unsl.edu.ar, mperalta@unsl.edu.ar

Resumen

Actualmente las organizaciones utilizan Sistemas de Información (SI) para cumplir con sus objetivos de negocio y para desarrollar la toma de decisiones efectiva; para que la información obtenida se considere correcta, es necesario que los datos de entrada tengan el nivel de calidad deseado. En el contexto del desarrollo ágil de SI, se utilizan Historias de Usuario (HU) para describir una funcionalidad de sistema que aporte valor para un cliente y/o usuario; en este contexto también se definen criterios de aceptación que representan las condiciones de satisfacción que debe cumplir cada HU para ser aceptada; resulta importante incorporar criterios de aceptación que permitan validar la calidad de los datos de entrada. Lo anterior, nos motivó a presentar una propuesta basada en un proceso que permite incorporar criterios de aceptación basados en Requisitos de Calidad de Datos (RCD), los cuales son obtenidos a través del estándar internacional ISO/IEC 25000.

Palabras clave: Calidad de Datos, ISO/IEC 25000, Metodologías ágiles, Historias de Usuario, Criterios de Aceptación.

Abstract

Currently, organizations use Information Systems (IS) to meet their business goals and to develop effective decision making; For the information obtained to be considered correct, it is necessary that the input data have the desired level of quality. In the context of agile IS development, User Stories (HU) are used to describe a system functionality that provides value for a customer and/or user; In this context, acceptance criteria are also defined that represent the conditions of satisfaction that each HU must meet to be accepted; It is important to incorporate acceptance criteria that allow validating the quality of the input data. The above motivated us to present a proposal based on a process that allows incorporating acceptance criteria based on Data Quality Requirements (RCD), which are obtained through the international standard ISO/IEC 25000.

Keywords: Data Quality, ISO/IEC 25000, Agile Methodologies, User Stories, Acceptance Criteria

Introducción

Las organizaciones utilizan SI para poder cumplir sus objetivos de negocios y para desarrollar la toma de decisiones efectiva (Zina Houhamdi, 2019). Si bien existen muchas definiciones de SI, (Andreu, 1991) lo define como “aquella agrupación formal de los procesos los cuales se ejecutan sobre una colección de datos e información estructurada según los requerimientos de las compañías, donde se encarga de recopilar, elaborar y distribuir de forma selectiva la información que ha sido requerida para la ejecución de la organización en mención, y también para los dinamismos de dirección y control que corresponda, que contribuyen en cierta parte sobre la secuencia de toma de decisiones requeridos con el fin de lograr cumplir con las funciones de la organización manteniendo su misión”. Según lo expresado

en dicha definición, resulta lógico pensar que la información que proporcionan estos sistemas, debe tener un alto nivel de calidad; para lograr esto, es necesario que los datos de entrada también tengan la calidad óptima.

En la Norma (ISO/IEC 25012:2008, 2008), se define a la calidad de datos como “el grado en que las características de los datos satisfacen las necesidades declaradas e implícitas cuando se utilizan bajo condiciones especificadas”. Por otra parte, existe un estándar internacional denominado (ISO/IEC 25000:2014, 2014), el cual provee 2 normas específicas que aplican sobre la calidad de los datos. La primera es la Norma (ISO/IEC 25012:2008, 2008), la cual permite definir un modelo general de calidad de datos conservados en formato estructurado; la segunda es la Norma ISO/IEC 25024 (ISO/IEC 25024:2015, 2015), la cual provee un conjunto de métricas para medir cada una de las características del modelo de calidad de datos.

Por otra parte, existen diferentes metodologías que permiten guiar el desarrollo de los SI, entre las cuales, podemos mencionar: Metodologías Tradicionales (Cascada, En V, RUP, RAD, Espiral, etc.) y Metodologías Ágiles: (XP, Scrum, Crystal, etc. (Restrepo, y otros, 2019). Estas últimas están basadas en el Manifiesto Ágil (Manifiesto for Agile Software Development, s.f.), en donde sus principales características están centradas en el desarrollo iterativo e incremental, las entregas frecuentes, la priorización de los requisitos, la constante interacción con el cliente, la adaptación al cambio, el trabajo colaborativo en equipo, etc. Autores como Sommerville (Sommerville, 2011) y Pressman (Pressman, 2005) coinciden en que las más reconocidas en la industria del software son: Scrum (Scrum Alliance, s.f.), Programación Extrema (Extreme Programming, s.f.), entre otras. En este tipo de metodologías, se utiliza el formato de historias de usuario, que es una explicación general e informal de una función de software escrita desde la perspectiva del usuario final. En el ámbito de un requisito de sistema, podríamos decir que esa función de software se traduce básicamente en 2 tipos de requisitos: funcionales y no funcionales (Sommerville, 2011); estos últimos se derivan en requisitos de calidad.

Una manera de poder garantizar la calidad de los datos, es incluyendo Requisitos de Calidad de Datos (RCD), de manera temprana durante el proceso de desarrollo de los SI. En este sentido, existe la Norma (IRAM ISO/IEC 25030:2019, 2019), la cual provee un proceso para obtener RCD.

Según lo expresado anteriormente, surgió una propuesta que consiste en incorporar RCD de manera temprana, a través de criterios de aceptación en historias de usuario; estos RCD permitirán realizar validaciones sobre los datos de entrada, de manera de poder garantizar que dichos datos contengan atributos de calidad. Dentro del marco de trabajo de Scrum, se sugiere que esta guía pueda ser utilizada por el Analista de Control de Calidad, o en caso de no ser posible, un Analista de Sistemas o Dueño del Producto que cuente con conocimientos en gestión de requisitos.

Para la incorporación de dichos RCD, nos apoyamos en el proceso que plantea la Norma (IRAM ISO/IEC 25030:2019, 2019), donde se plantea una serie de pasos que permiten llevar adelante el proceso de definición de criterios de aceptación que incluyen calidad de datos. La principal contribución de este trabajo es la incorporación de RCD en formato estructurado, en el ámbito del desarrollo de los SI, mediante el uso de la metodología ágil SCRUM.

2. Historias de usuarios

Las historias de usuario son una práctica común en las metodologías ágiles, tienen el propósito de poder introducir los requerimientos en el proceso de desarrollo (Estayno & Meles, 2014); se las define como una descripción corta de una funcionalidad que aporta valor para un usuario o cliente de un sistema.

Las HU contienen criterios de aceptación, los cuales son condiciones de satisfacción bajo las cuales el producto debe satisfacer los requisitos funcionales y no funcionales (Estayno & Meles, 2014). El Dueño del Producto utilizará los criterios de aceptación para tomar decisiones respecto de que HU pueden ser aceptadas y darlas por finalizadas. También, se pone de manifiesto que se suelen reflejar Requisitos No Funcionales en los Criterios de Aceptación de las HU, y que, si las mismas representan restricciones persistentes, se añaden como elementos nuevos en el compromiso del incremento de funcionalidad, denominado Definition Of Done (DoD).

Otro aspecto importante de los criterios de aceptación está relacionado con su calidad, debido a que los mismos pueden medirse a través del método SMART (Wake, 2003), en donde cada criterio debe ser específico (Specific), medibles (Measurable), alcanzables (Achievable), realistas (Realistic) y de duración limitada (Time-bound).

3. Norma ISO/IEC 25030 Marco de Requisitos de Calidad

Esta norma proporciona el marco para definir los requisitos de calidad para sistemas, productos de software y datos; provee requisitos y recomendaciones sobre cómo se preparan, definen y analizan los requisitos de calidad. Estos se generarán, definirán, analizarán y mantendrán utilizando los procesos relacionados con los requisitos definidos en la Norma (ISO/IEC/IEEE 15288:2015, 2015): proceso de definición de requisitos y necesidades de los interesados y proceso de definición de requisitos del sistema, a través del cual se deben obtener y satisfacer las necesidades de los interesados.

transformado en los requisitos del sistema. En la Figura 1 se puede observar el proceso que parte desde las necesidades de las Partes Interesadas (PI) hasta los requisitos de calidad del sistema/software/datos.

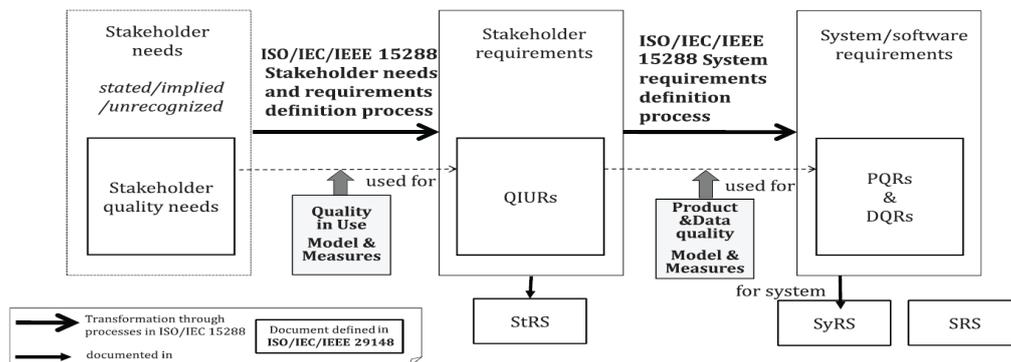


Figura 1: Proceso de Definición de Requisitos de Calidad de Sistema/Software/Datos

Cabe destacar, que los RCD se obtienen a través de un proceso de análisis y definición de características y las medidas de calidad de datos, que se derivan de las Normas (ISO/IEC 25012:2008, 2008) e (ISO/IEC 25024:2015, 2015).

4. Desarrollo de la Propuesta

La presente propuesta incluye un proceso que parte de las necesidades de calidad de las PI respecto de los datos, hasta la incorporación de criterios de aceptación con calidad de datos en las HU. Por cuestiones de espacio, en este artículo se presentará la propuesta junto con su instanciación, en donde se tomará como referencia una HU relacionada al alta de socios de un sistema web de emergencias y urgencias médicas. Los datos asociados a dicha HU que será considerados en la propuesta son los siguientes: Cuit, Email y Contraseña.

4.1. Pasos del Proceso

A continuación, se detallan los pasos para la inclusión de RCD en contexto de criterios de aceptación de HU.

1. Identificar y documentar las necesidades o restricciones respecto de los datos

El Analista QA/Analista de Sistemas/Dueño del Producto se debe entrevistar con las PI a fin de relevar e identificar las necesidades o restricciones respecto de los datos; una vez identificadas, se documentan en el artefacto que se puede visualizar en la Tabla 1.

Tabla 1. Necesidades declaradas sobre los datos por las PI

US-1. Alta de Socio	
Datos Asociados	Necesidad o Restricción sobre el Dato
Cuit	Debe ser de ingreso obligatorio
	Debe ser conforme con AFIP
	Debe ser válido
Email	Debe ser único
	Debe ser de ingreso obligatorio
	Debe ser válido y estar en funcionamiento
Contraseña	Debe contener el formato nombre@dominio.com
	Debe ser único, no puede repetirse
	Debe ser de ingreso obligatorio
	Debe ser segura y confidencial
	Debe contener letras, números y símbolos, entre 8 y 12 caracteres
	Por cuestiones de seguridad, se debe actualizar cada 3 meses
	Debe guardarse registro por cada actualización
	Debe ser única, no puede repetirse

2. Asociar las necesidades de las Partes Interesadas y los Requisitos de Calidad de Datos

En este paso se debe identificar la relación entre las necesidades documentadas y los RCD. Para ello, se debe utilizar un artefacto que contiene 18 RCD, los cuales fueron obtenidos a través de la Norma (IRAM ISO/IEC 25030:2019, 2019); además contiene un conjunto de criterios de aceptación que incluyen los RCD, y un ejemplo para su aplicación. En la Tabla 2 se puede visualizar un fragmento de este artefacto, en donde se pueden observar 9 RCD a modo de ejemplo.

Tabla 2. Artefacto para la identificación de RCD asociados a cada necesidad de datos de las PI

RCD	Criterio de Aceptación con RDC	Ejemplo de Aplicación	Id-Ej.
Complejidad de Valores de Datos	El sistema debe validar que los datos de ingreso obligatorio, estén completos y tengan valores esperados.	El sistema debe validar que los datos obligatorios (Cuit, Email, Contraseña) estén completos y tengan valores esperados.	ID-4
Duplicación de Valores de Datos	El sistema debe validar que un dato sea único, que no se repita o se duplique.	El sistema debe validar que el Cuit sea único, no debe repetirse.	ID-7
Credibilidad de Valores de Datos	El sistema debe validar que ciertos campos tengan valores que estén validados a través de un proceso de certificación.	El sistema debe validar que el teléfono e Email sea válido, mediante el envío de un notificación automática.	ID-9
Frecuencia de Actualización	El sistema debe solicitar la actualización de un dato específico cada XX período de tiempo.	El sistema debe solicitar la actualización de la contraseña, cada 3 meses.	ID-11
Conformidad de valores y/o formatos	El sistema debe validar que los valores o formato de un dato cumple con normas o regulaciones específicas	El sistema debe validar que los valores del dato "Cuit" sean conformes con AFIP	ID-13
Uso de Cifrado	El sistema debe cifrar o encriptar los valores de datos sensibles con algún método.	El sistema debe encriptar la contraseña con el método de encriptación	ID-14
Precisión de Valores de Datos	El sistema debe validar que los valores que tome un dato tenga una precisión determinada.	El sistema debe validar que la contraseña contenga letras, números y símbolos.	ID-15
Precisión De Formato de Datos	El sistema debe validar que formato de un dato sea correcto y adecuado	El sistema debe validar que el Cuit tenga formato numérico.	ID-16
Trazabilidad de valores de datos	El sistema debe registrar la actualización de un dato, para mantener su trazabilidad.	Ante un cambio de contraseña, el sistema debe registrar la contraseña actual para mantener la trazabilidad	ID-17

Una vez realizado el mapeo entre las necesidades y los RCD, se documenta el resultado de la asociación en el artefacto que puede visualizarse a continuación en la Tabla 3.

Tabla 3. Necesidades relacionadas con RCD de ISO/IEC 25000

US-1. Alta de Socios			
Datos	Necesidad o Restricción sobre el Dato	RCD	Id Ejemplo
Cuit	Debe ser de ingreso obligatorio	Complejidad de valores de datos	ID-4
	Debe ser conforme con AFIP	Conformidad de Valores de Datos	ID-13
	Debe ser válido	Credibilidad de Valores de Datos	ID-9
	Debe ser único	Duplicidad de valores de datos	ID-7
Email	Debe ser de ingreso obligatorio	Complejidad de valores de datos	ID-4
	Debe ser válido y estar en funcionamiento	Credibilidad de Valores de Datos	ID-9
	Debe contener el formato correcto	Precisión de Formato de Datos	ID-16
	El email debe ser único	Duplicidad de valores de datos	ID-7
Contraseña	Debe ser de ingreso obligatorio	Complejidad de valores de datos	ID-4
	Debe ser segura y confidencial	Cifrado de valores de datos	ID-14

	Debe contener entre 8 y 12 caracteres	Precisión de Formato de Datos	ID-16
	Debe contener letras, números y símbolos	Precisión de Valores de Datos	ID-15
	Se debe actualizar cada 3 meses	Frecuencia de Actualización	ID-11
	Debe guardarse registro por cada actualización	Trazabilidad de Valores de Datos	ID-17
	Debe ser única, no puede repetirse	Duplicidad de valores de datos	ID-7

Finalmente, los RCD obtenidos se deben agrupar con el fin de facilitar su incorporación en los criterios de aceptación de la HU correspondiente. En la Tabla 4, se puede observar el resultado de dicho agrupamiento.

Tabla 4. Conjunto de Datos agrupados por RCD

US-1. Alta de Socios		
Datos	RCD	Id Ejemplo
Cuit, Email, Contraseña	Complejidad de valores de datos	ID-4
Cuit	Conformidad de Valores de Datos	ID-13
Cuit, Email	Credibilidad de Valores de Datos	ID-9
Cuit, Email, Contraseña	Precisión de Formato de Datos	ID-16
Contraseña	Frecuencia de Actualización	ID-11
Email, Contraseña	Trazabilidad de Valores de Datos	ID-17
Cuit, Email y Contraseña	Duplicidad de valores de datos	ID-7
Contraseña	Cifrado de valores de datos	ID-14

3. Incorporar criterios de aceptación con calidad de datos en historias de usuario

En este último paso se deben incorporar los criterios de aceptación derivados de RCD, siguiendo el ejemplo de aplicación. En la Figura 2, se puede observar la HU “Alta de Socios”, junto con sus criterios de aceptación que incluyen requisitos de tipo funcional y de calidad de datos.

US-1. Alta de Socios
<p>Como persona quiero poder darme de alta como socio de la empresa, para poder acceder a sus servicios y beneficios.</p>
<p>Criterios de Aceptación:</p>
<p>Requisitos Funcionales</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Una vez realizadas las validaciones sobre los datos, el sistema debe permitir completar el proceso de alta. ○ El sistema debe mostrar un mensaje de éxito, cuando un nuevo socio se haya dado de alta. ○ El usuario debe recibir una confirmación por correo electrónico con los detalles de su registro y un enlace para confirmar el alta.
<p>Requisitos de Calidad de Datos</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ El sistema debe validar que los datos obligatorios Cuit, Email, Contraseña estén completos y tengan valores esperados. ○ El sistema debe validar que el Cuit, Email y Contraseña sean únicos ○ El sistema debe validar que el Cuit sea válido y sea conforme con AFIP ○ El sistema debe validar que el email sea válido, mediante una notificación automática. ○ El sistema debe solicitar la actualización de la contraseña, cada 3 meses. ○ El sistema debe validar que el Cuit ingresado sea conforme con AFIP ○ El sistema debe encriptar la contraseña con un método de encriptación ○ El sistema debe validar que la contraseña contenga letras, números y símbolos, y que tenga una longitud entre 8 y 12 caracteres ○ Ante un cambio de contraseña, el sistema debe registrar la contraseña actual para mantener la trazabilidad

Figura 2. Historia de usuario con criterios de aceptación de tipo funcional y de calidad de datos

5. Conclusiones

Como se puede observar en la Sección 4, desde la perspectiva del desarrollo de SI mediante el uso de metodologías ágiles, es posible definir criterios de aceptación que estén basados en requisitos de calidad en relación a los datos, los cuales son obtenidos a través de un proceso de análisis y definición, a través de la Norma ISO/IEC 25030:2019 (IRAM ISO/IEC 25030:2019, 2019), en conjunto con las Normas ISO/IEC 25012 (ISO/IEC 25012:2008, 2008) e ISO/IEC 25024 (ISO/IEC 25024:2015, 2015).

En este trabajo se propone un proceso que permite guiar hacia la incorporación de aspectos de calidad de datos, a través de la definición de criterios de aceptación en historias de usuario; el cumplimiento de los mismos puede medirse a través de conjunto de medidas de calidad de datos que provee la Norma ISO/IEC 25024 (ISO/IEC 25024:2015, 2015).

Como trabajo futuro, se considera poder automatizar los pasos del proceso, a fin de poder agilizar su uso.

Referencias

- Andreu, R. R. (1991). *Estrategia y Sistemas de Información*. Madrid: Mc Graw-Hill.
- Cohn, M. (2004). *User stories Applied*.
- Estayno, M., & Meles, J. (2014). El Rol del Product Owner en la definición y validación de las user stories. *Ciencia y Tecnología*(14), 145-162.
- Extreme Programming*. (s.f.). Obtenido de <https://www.agilealliance.org/glossary/xp>
- IEEE .Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer dictionary. (1990). Standard 610. Compilation of IEEE Standard Computer Glossaries.
- IRAM ISO/IEC 25030:2019. (2019). Ingeniería de Software – Requisitos de la calidad del producto de software (SQuaRE) – Requisitos de Calidad. Buenos Aires: IRAM.
- ISO/IEC 25000:2014. (2014). Systems and software engineering-Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE).
- ISO/IEC 25010:2011. (2011). Systems and software engineering-Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE)-System and software quality models.
- ISO/IEC 25012:2008. (2008). Software product Quality Requirements and Evaluation (Data quality model).
- ISO/IEC 25023:2016. (2016 (E)). Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — Measurement of system and software product quality.
- ISO/IEC 25024:2015. (2015). Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — Measurement of data quality.
- ISO/IEC 25040:2011. (2011). Systems and software engineering -- Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) -- Evaluation process,.
- ISO/IEC/IEEE 15288:2015. (2015). Systems and software engineering — System life cycle processes.
- Jeffries, R. (2019). *Three-C's Revisited*. Obtenido de <https://ronjeffries.com/articles/019-01ff/3cs-revisited/>
- Manifesto for Agile Software Development*. (s.f.). Obtenido de <http://agilemanifesto.org/>
- Menzinsky, A., López, G., Palacio, J., & Sobrino, M. Á. (2022). *Historias de Usuario - Ingeniería de Requisitos Ágil*. Obtenido de https://www.scrummanager.com/files/scrum_manager_historias_usuario.pdf
- Pliattini, M., García, F., García, I., & Pino, F. (2018). *Calidad de Sistemas de Información-4° Edición Ampliada y Actuaizada*. Madrid: RA-MA.
- Pressman, R. (2005). *Ingeniería de Software*. (6 ed.). Mcgraw-Hill.
- Restrepo, S., Vahos-Montoya, J., Gómez-Adasme, M., Pino-Martínez, A., Restrepo-Zapata, E., & Londoño-Marin, S. (2019). Una revisión comparativa de la literatura acerca de metodologías tradicionales y modernas de desarrollo de software. *Cintex*, 24(2), 13-23.
- Scrum Alliance*. (s.f.). Obtenido de <https://resources.scrumalliance.org/Article/quick-guide-things-scrum>
- Sommerville, I. (2011). *Ingeniería de Software* (9° ed.). México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Soto, F. (2014). F. Soto, “Análisis de la problemática asociada con la baja calidad de datos en los sistemas de información,” 2014.
- Tona, C., Juárez, R., Jiménez, S., Quezada, A., Guerra, C., & González, R. (2021). Scrumlity: An Agile Framework Based on Quality Assurance. *9th International Conference in Software Engineering Research and Innovation (CONISOFT)*.
- Wake, B. (2003). *INVEST in good stories, and smart tasks*. Obtenido de <http://xp123.com/articles/invest-in-good-stories-and-smart-tasks/>:
- Zina Houhamdi, B. A. (2019). Impacts of information quality on decision-making. *Global Business and Economics Review*, 1(1).

Desarrollo de una interfaz gráfica para una calculadora de generación fotovoltaica en la Región Centro de Argentina

Development of a graphical interface for a photovoltaic generation calculator in the Central Region of Argentina

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Santiago V. Cézar

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Grupo I+D MuIC, San Francisco, Córdoba, Argentina.
scezar@facultad.sanfrancisco.utn.edu.ar

Gerardo D. Szwarc

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Grupo I+D CIDEME, San Francisco, Córdoba, Argentina.
gszwarc@facultad.sanfrancisco.utn.edu.ar

Esteban Ceré

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Grupo I+D CIDEME, San Francisco, Córdoba, Argentina.
esteban.cere@gmail.com

Hugo A. Pipino

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Grupo I+D MuIC, San Francisco, Córdoba, Argentina.
hpipino@sanfrancisco.utn.edu.ar

Resumen

Actualmente, el uso de las fuentes de energía renovables está en crecimiento en el hogar. Si bien en varias regiones de Argentina su utilización es la mejor o única opción para el consumo eléctrico, la generación distribuida está siendo fomentada en toda la extensión, más allá de terrenos montañosos, campos o zonas áridas. Sin embargo, la falta de información sobre estas alternativas dificulta el progreso. Sobre la base de esto, se considera necesaria una herramienta que asista a los usuarios en la elección de estos sistemas. Aprovechando las tecnologías web para facilitar la difusión por distintos medios, se desarrolla una calculadora técnica que permite predecir valores de generación de energía eléctrica de un sistema fotovoltaico. Los parámetros empleados son representativos de la Región Centro de Argentina, ya que para el desarrollo del modelo matemático los resultados fueron validados usando datos medidos en San Francisco y zona.

Palabras clave: Desarrollo web, Calculadora solar, Sustentabilidad, Energías renovables

Abstract

Currently, the use of renewable energy sources is growing in households. Although in several regions of Argentina its use is the best or only option for electricity consumption, distributed generation is being promoted throughout the whole country, beyond mountainous terrains, rural areas or arid zones. However, the lack of information about these alternatives hinders progress. Based on this, a tool is considered necessary to assist users in choosing these systems. By leveraging web technologies to facilitate dissemination through various channels, a technical calculator has been developed to predict electrical energy generation values from a photovoltaic system. The parameters used are representative of the Central Region of Argentina, as the results for the mathematical model were validated using data measured in San Francisco and the surrounding area.

Keywords: Web development, Solar calculator, Sustainability, Renewable energies

Introducción

Argentina está pujando por expandir la inserción de energías renovables en su matriz energética (Ministerio de Economía Argentina, 2022). Sin embargo, su penetración es aún incipiente en la modalidad de generación distribuida, la cual implica instalar unidades de generación relativamente pequeñas cerca de los puntos de consumo (Lagarrigue, 2018) (Kazimierski, 2020). Córdoba es una de las provincias mejor posicionadas en cuanto a potencia y cantidad de usuarios en esta modalidad (Comercio y Justicia, 2022), pero aún tiene potencial no explotado y el desarrollo no es homogéneo en la provincia. En particular, en el departamento San Justo hay localidades que no experimentaron un gran avance en la cantidad de implementaciones.

En este escenario, es cada vez más necesario disponer de herramientas de cálculo que permitan a los usuarios cuantificar los beneficios de las energías renovables en generación distribuida. Para ello, se pretende emular consumos domésticos según referencias regionales y cotejarlos con el potencial regional de generación mediante paneles fotovoltaicos (FV). Este trabajo se enmarca en un proyecto destinado a la confección de herramientas de cálculo y simulación, en adelante "calculadoras solares", que permita a los usuarios técnicos y al público en general, tener acceso a la información necesaria para proyectar una instalación fotovoltaica.

Estas herramientas deben proporcionar información que responda a las necesidades específicas de la región, implicando que tanto el modelo de irradiación solar como el de generación eléctrica deben predecir adecuadamente la energía generada para la zona objetivo (César et al., 2024), para este caso, el departamento San Justo, provincia de Córdoba.

En tal sentido, el presente trabajo introduce la interfaz gráfica de una calculadora solar destinada a personal que al menos tenga conocimientos básicos en conceptos de generación FV. Tal como se especifica en el Desarrollo, dicha interfaz integra tanto los modelos solares como eléctricos que el usuario puede ajustar, permitiendo así la obtención de datos sobre la energía generada en términos diarios y anuales. Finalmente, en la Conclusión, se resumen los principales aportes del trabajo.

Desarrollo

Inicialmente, el lenguaje de programación elegido para el desarrollo de la interfaz fue *JavaScript* (JS), debido a su compatibilidad nativa con los navegadores de internet. JS permite agregar elementos interactivos a las páginas web, efectuar cálculos directamente en el dispositivo del usuario y mostrar gráficos complejos. Al realizar los cálculos localmente, se evitan los costos asociados a la utilización de servidores externos y se elimina la latencia introducida por la distancia con el dispositivo del usuario. Esto garantiza una visualización de los resultados en tiempo real a medida que el usuario modifica los parámetros.

Sobre la base de (César et al., 2024), se comienza por convertir las ecuaciones en código utilizando el lenguaje de programación indicado. En paralelo, se desarrolla una implementación equivalente en *GNU Octave* a fin de generar gráficos y tablas de los resultados pronosticados por el código para su posterior análisis. Como se demuestra en dicho trabajo, la estimación del recurso solar ha sido validado a través de las mediciones del radiómetro instalado en la UTN Facultad Regional San Francisco (Cignetti et al., 2023). El proceso de comprobación de los resultados se realiza de acuerdo con (Szwarc, et al., 2021).

Durante el desarrollo de la implementación en JS, se advierten dificultades. Previo a la ejecución del código, un navegador de internet solo verifica que su sintaxis sea correcta. Ciertos casos que se consideran errores semánticos en otros lenguajes son válidos en JS, como llamar a una función con el número incorrecto de parámetros, realizar operaciones matemáticas sobre valores no numéricos o llamar a funciones con parámetros fuera de su dominio. Este comportamiento resulta inconveniente a la hora de corregir el programa, ya que falla silenciosamente en lugar de detener la ejecución. Esto se evidencia en los siguientes ejemplos:

```
const mes = 12;  
const H = Hs[mes];  
// ... Se calcula rt ...  
const II = H * rt;  
console.log(II) // Muestra "NaN"
```

En este caso, *Hs* es una lista con los 12 valores de irradiación mensual promedio. En JS cada valor se enumera a partir de 0, por lo que el último valor en este caso es el número 11. Al intentar obtener el valor número 12 de la lista, *H* toma un valor nulo denominado *undefined*. Cuando se opera sobre este valor para obtener la irradiación total en superficie horizontal (*II*), el resultado es "No es un número" (NaN, por sus siglas en inglés).

Otro caso similar ocurre por la falta de precisión al trabajar con números de coma flotante. El ángulo acimutal del sol γ_s se obtiene calculando primero su coseno para luego aplicar la función inversa. En ciertos casos, para un ángulo horario $\omega = 0$, el valor resultante del coseno se encuentra fuera del dominio $[-1; 1]$ por un error en el quinceavo decimal (Fig. 1). Al aplicar el arcocoseno, el resultado es NaN.

```

⚠ Problema de precisión, para  $\omega = 0 \Rightarrow \cos(\gamma_s) = -1.0000000000000002$ .
Ajustando valor a -1
⚠ Problema de precisión, para  $\omega = 0 \Rightarrow \cos(\gamma_s) = -1.0000000000000004$ .
Ajustando valor a -1
⚠ Problema de precisión, para  $\omega = 0 \Rightarrow \cos(\gamma_s) = -1.0000000000000001$ .
Ajustando valor a -1
⚠ Problema de precisión, para  $\omega = 0 \Rightarrow \cos(\gamma_s) = -1.0000000000000038$ .
Ajustando valor a -1
    
```

Figura 1. Error numérico para el coseno del acimut solar.

Por lo tanto, se decide entonces migrar el código al lenguaje de programación *TypeScript* (TS), una extensión de JS que agrega un sistema de tipado. Permite mitigar varios de estos problemas realizando una validación estricta del código durante su traducción a JS. Al ser una extensión del lenguaje, la mayor parte del código en JS es válido en TS, lo cual simplifica su migración.

Adicionalmente, se utiliza un *application framework*, es decir, un conjunto de librerías y herramientas para el desarrollo de aplicaciones, llamado *SvelteKit*. Este incluye la librería *Svelte* que provee mecanismos de encapsulamiento y reutilización de elementos interactivos, facilita la sincronización de los valores mostrados en la interfaz con las variables utilizadas en el programa y permite definir efectos que reaccionan a los cambios producidos en estos datos.

El uso de este *framework* reduce considerablemente la complejidad del código y se aprovecha mayormente en la actualización en tiempo real de los gráficos resultantes. Para ellos, desde las primeras etapas del desarrollo se utiliza la librería *chart.js* ya que resulta fácil de integrar al ser independiente de *frameworks*.

La interfaz consiste en dos funciones básicas, una de selección y ajuste de los parámetros de la instalación FV y una de visualización de la energía generada a lo largo de un día promedio del mes seleccionado y de la energía obtenida a lo largo del año (Fig. 2).

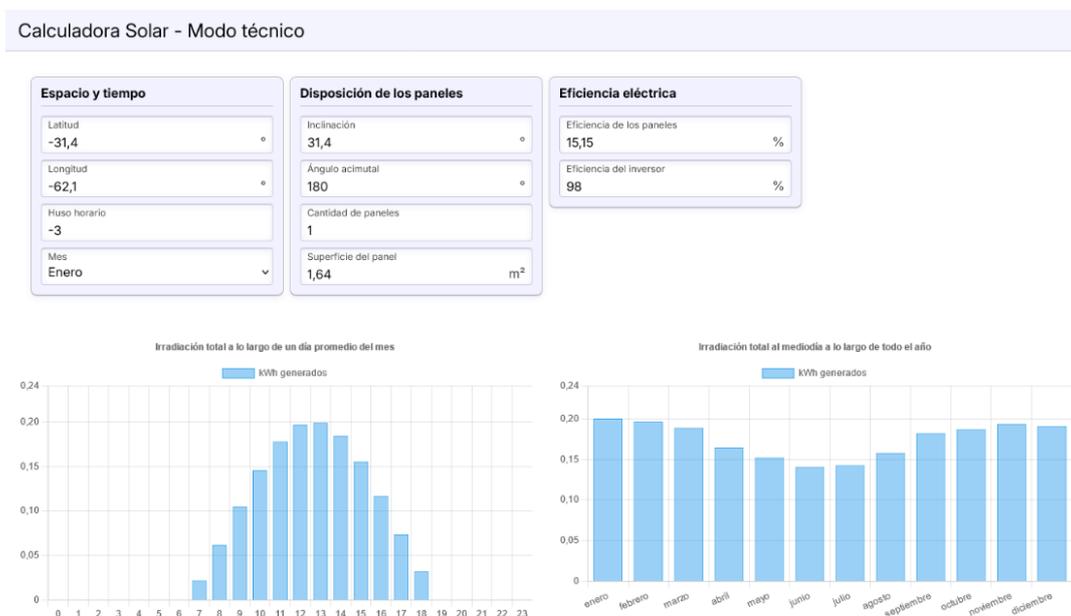


Figura 2. Interfaz Calculadora Solar – Modo técnico.

La función de entrada consta de una serie de parámetros agrupados en tres apartados. En el apartado “Espacio y tiempo” se cuenta con campos de entrada que permiten al usuario ingresar parámetros específicos sobre su ubicación geográfica y temporal. Estos campos incluyen opciones para establecer la latitud, longitud, el huso horario del hogar y el mes, lo que permite ajustar los cálculos de predicción de acuerdo con la posición del usuario en el espacio y el tiempo (Fig. 3a). Se destaca que la zona objetivo corresponde al departamento San Justo, de manera que los valores por defecto coinciden con los de la ciudad cabecera, San Francisco (Fig. 3b).

Espacio y tiempo

Latitud

-31,4

Longitud

-62,1

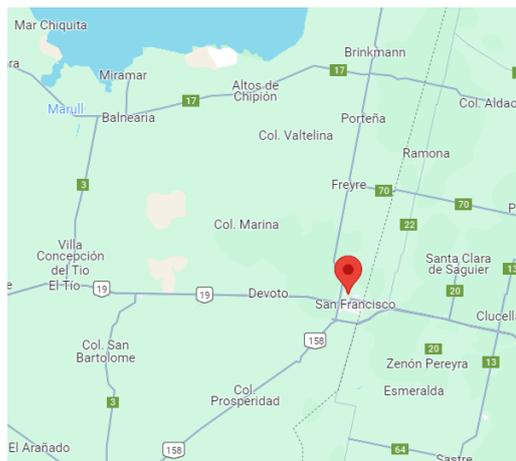
Huso horario

-3

Mes

Enero

a. Campos de entrada.



b. Ubicación por defecto. (Fuente: *Google Maps*)

Figura 3. Apartado “Espacio y tiempo”.

Por otro lado, en el apartado “Disposición de los paneles” (Fig. 4a), se permite al usuario especificar el valor de inclinación, es decir, el ángulo que forma el panel con el suelo, el cual por defecto toma el valor absoluto de latitud. Además, se pueden definir el ángulo acimutal, la cantidad de paneles y la superficie de cada uno. De esta manera, se permite dimensionar la instalación FV proyectada y definir las principales características.

En tanto que el tercer apartado corresponde a “Eficiencia eléctrica” (Fig. 4b), en el mismo se pueden definir tanto la eficiencia de los paneles como la del inversor propuestos para la instalación FV. Con ello, se definen los perfiles eléctricos fundamentales. Además, se fija un valor del 90% para la eficiencia de la instalación eléctrica necesaria, el cual incluye por ejemplo, las pérdidas por conducción en el cableado.

Disposición de los paneles

Inclinación

31,4

Ángulo acimutal

180

Cantidad de paneles

1

Superficie del panel

1,64 m²

a. Apartado “Disposición de los paneles”.

Eficiencia eléctrica

Eficiencia de los paneles

15,15 %

Eficiencia del inversor

98 %

b. Apartado “Eficiencia eléctrica”.

Figura 4. Parámetros de la instalación.

En cuanto a la funcionalidad de visualización, se pueden apreciar dos elementos fundamentales: una gráfica que presenta la energía generada a lo largo del día representativo del promedio correspondiente al mes seleccionado (Fig. 5) y otra gráfica que ilustra el valor máximo diario obtenido para cada mes del año (Fig. 6).

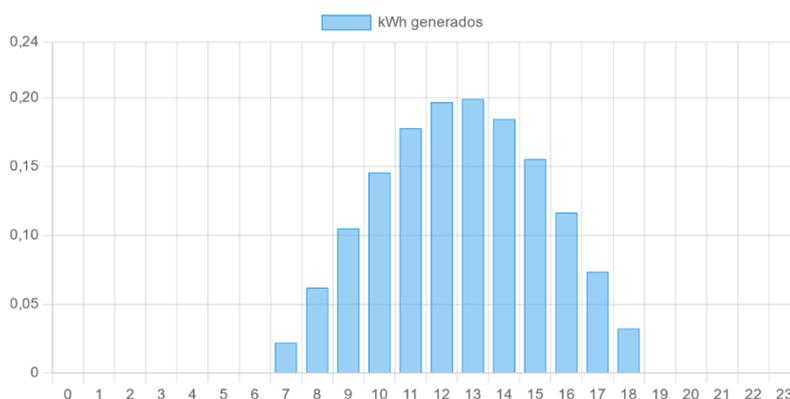


Figura 5. Energía generada en función de la hora de un día promedio.

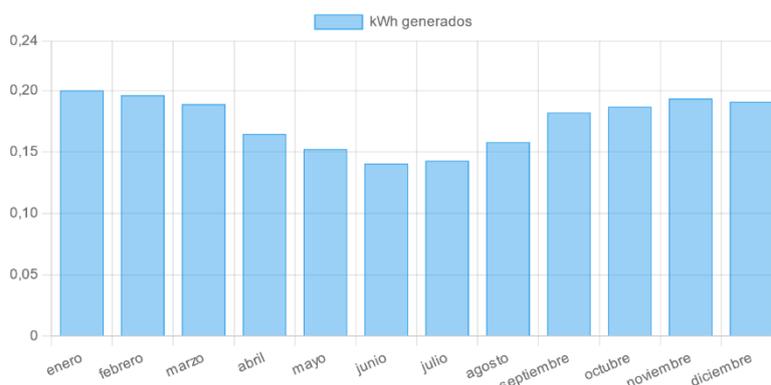


Figura 6. Energía generada en la hora pico del día promedio de cada mes.

Así, la primera gráfica permite observar la variación diaria de la generación de energía solar, desde el amanecer hasta el ocaso. Es importante destacar que los índices de claridad empleados en el modelo solar corresponden al promedio establecido para la zona objetivo, por lo tanto, las predicciones subestiman lo generado en un día soleado y exceden los de un día nublado.

Por otro lado, la segunda gráfica facilita el análisis de generación de energía a lo largo del año, mostrando los efectos estacionales. Esta información colabora en la toma de decisiones acerca del dimensionamiento y disposición de la instalación FV.

Finalmente, es importante destacar que la calculadora solar aún se encuentra en fase de pruebas y no ha sido lanzada al público. Antes de su publicación, se está trabajando en la incorporación de modelos de predicción de demanda para establecer los perfiles de consumo específicos de los usuarios en la Región Centro de Argentina.

Conclusiones

En este trabajo, se desarrolló una calculadora solar diseñada para facilitar la estimación de la energía generada mediante sistemas fotovoltaicos, considerando las características específicas del departamento San Justo, provincia de Córdoba. La elección de *TypeScript* como lenguaje de programación y la implementación paralela en *Octave* fueron clave para la corrección de errores en el proceso de cálculo. La interfaz gráfica implementada ofrece a los usuarios técnicos una herramienta intuitiva y eficiente para proyectar instalaciones solares, adaptando los resultados a las condiciones particulares de ubicación y tiempo. Si bien aún la calculadora se encuentra en etapa de pruebas y no ha sido lanzada al público, se prevé que esta iniciativa puede contribuir significativamente a la promoción y adopción de la generación distribuida en la región, fomentando un desarrollo energético más sustentable.

En trabajos futuros se espera extender los resultados obtenidos a una calculadora solar didáctica destinada al público en general, que permita visualizar de manera sencilla el potencial de la generación de energía solar y su aprovechamiento en el hogar, así como contemplar el efecto de la temperatura del sistema de recolección sobre la generación fotovoltaica. Asimismo, se proyecta replicar estos resultados para abarcar otras fuentes de energía renovable, como la biomasa.

Agradecimientos

Al Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Provincia de Córdoba (Argentina) y a la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) por financiar el proyecto “Divulgación y promoción de la generación distribuida con energías renovables entre estudiantes, usuarios y referentes de San Francisco y la región”, presentado en la convocatoria 2022/2023 del Programa Jóvenes en Ciencia del mencionado Ministerio, en cuyo contexto se enmarca el presente trabajo.

Referencias

- Cézar, S., Szwarc, G., Ceré, E., y Pipino, H. (2024). “Modelo matemático para una calculadora solar regionalizada para la Región Centro de Argentina”, Actas del XXIV Encuentro Nacional y XVI Encuentro Internacional de Educación Matemática en Carreras de Ingeniería, EMCI 2024, San Francisco, Argentina, 15 al 17 de mayo (en prensa).
- Cignetti, M.A., Ceré, E., Lazo, M., Szwarc, G.D., y Ferreyra, D.M. (2023). “Experiencia en instalación y adaptación de sistema de monitoreo para instalaciones fotovoltaicas”, Jornadas de Ciencia y Tecnología 2023 de la UTN San Francisco, San Francisco, Argentina, 13 al 14 de septiembre, 334-339.
- Szwarc, G., Rocchia, N., Lardone, M., Ferreyra, D. (2021). “Autoconsumo de un usuario residencial de la Región Centro de Argentina según la potencia solar fotovoltaica instalada”. Congreso de Investigaciones y Desarrollos en Tecnología y Ciencia, IDETEC 2020, Villa María, Argentina, 21 al 25 de junio, 347-354.
- Comercio y Justicia (31 de enero de 2022). “Córdoba encabeza el negocio de la generación distribuida de energía”. <https://comercioyjusticia.info/economia/cordoba-encabeza-el-negocio-de-la-generacion-distribuida-de-energia/>
- Kazimierski, M. (2020). “La energía distribuida como modelo post-fósil en Argentina”. *Economía, Sociedad y Territorio*, vol. 20, no. 63, pp. 397–428.
- Lagarrigue, E. (2018). “Descentralización y lo que esto significa”. Schneider Electric, pp. 12-14. https://www.editores-srl.com.ar/sites/default/files/ie335_schneider_descentralizacion.pdf
- Ministerio de Economía Argentina (2022). Reporte Anual: Generación distribuida en Argentina. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/reporte_anual_202226012023.pdf

Minimizando daños de fuga de datos por medio de archivos tokenizados y su trazabilidad de aperturas

Minimizing data leak damage through tokenized files and their opening traceability

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Juliana NOTRENI

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Argentina
julinotreni@gmail.com

Milagros ZEA CARDENAS

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Argentina
milyzc@gmail.com

Germán PARISI

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Argentina
germannparisi@gmail.com

Fabián GIBELLINI

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Argentina
fabiangibellini@gmail.com

Analía RUHL

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Argentina
analialorenaruhl@gmail.com

Marcelo AUQUER

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Argentina
marcelo.auquer@gmail.com

Ileana BARRIONUEVO

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Argentina
ilebarrionuevo@gmail.com

Federico BERTOLA

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Argentina
fedebertola@gmail.com

Leonardo CICERI

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Argentina
leonardociceri@gmail.com

Ignacio SÁNCHEZ BALZARETTI

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Argentina
ignaciojsb@gmail.com

Resumen

La fuga de datos ocurre cuando datos sensibles son revelados a partes no autorizadas, ya sea intencionalmente o no. Esto puede representar una amenaza a una organización, ya que la pérdida de datos o confidencialidad puede impactar severamente su reputación y la de sus clientes y empleados; además de que otras organizaciones puedan tomar ventaja de esto.

En algunos casos, el impacto de estas fugas de datos pueden superar las fronteras digitales llevando al cierre de dichas organización o inclusive llegar a extremos de generar crisis políticas como fue el caso de WikiLeaks. Data Loss Prevention (DLP, Prevención de pérdida de datos) surgió como respuesta a buscar soluciones preventivas a los ataques de atacantes internos que tienen como objetivo la fuga de datos.

En el siguiente trabajo se presenta una alternativa para tener rastreabilidad de los archivos idóneos de una organización y los cuales requieren tener una trazabilidad 24x7 debido a su confidencialidad y sensibilidad de datos. La solución pensada está basada en el concepto de Canary Token.

Palabras clave: Seguridad, Fuga de Datos, Prevención de pérdida de Datos (DLP), Canary Token.

Abstract

Data breaches occur when sensitive information is disclosed to unauthorized parties, whether intentionally or not. This can pose a significant threat to an organization, as the loss of data or confidentiality can severely impact its reputation, as well as that of its clients and employees. Additionally, other organizations may take advantage of such breaches.

In some cases, the impact of these data breaches can extend beyond digital borders, leading to the closure of the affected organization or even escalating to the point of creating political crises, as was the case with WikiLeaks. Data Loss Prevention (DLP) emerged as a response to seek preventive solutions against internal attackers whose objective is data leakage.

In the following work, an alternative is presented to ensure traceability of the sensitive files within an organization, which require 24/7 monitoring due to their confidentiality and data sensitivity. The proposed solution is based on the concept of Canary Token.

Keywords: Security, Data Leak, Data Loss Prevention (DLP), Canary Token.

Introducción

Un incidente de fuga de información sensible se produce cuando dicha información es accesible para personas no autorizadas, ya sea de forma deliberada o accidental. Este tipo de incidentes puede poner en riesgo a una organización, ya que la pérdida de datos o la falta de confidencialidad puede perjudicar gravemente su reputación, así como la de sus clientes y empleados (Yan y Kwon, 2014) (AFP, 2014) (sTAFF, 2016). Además, este tipo de situaciones puede ser explotado por otras organizaciones.

En ciertos casos, las consecuencias de estas fugas de información van más allá del entorno digital, pudiendo ocasionar el cierre de la organización afectada o incluso desencadenar crisis políticas como lo demostró el caso de WikiLeaks (Tahboub et al., 2014:13-19).

Un estudio realizado por IBM y el Pokemon Institute, que analizó 537 casos en 17 países y 17 sectores industriales, reveló que el costo promedio de una fuga de datos en 2021 fue 4,24 millones de dólares, lo que representa un incremento del 10% en comparación con el año anterior (Tunggal, 2022).

En cuanto a proyecciones futuras, Cisco anticipó que para 2023 habría tres veces más de dispositivos conectados a la red que personas (Cisco, 2020). Por otro lado, Ventures proyecta que para 2025, el mundo almacenará 200 zettabaytes (2e14 GB) de datos, abarcando tanto infraestructuras públicas como privadas, como nubes y centros de datos, dispositivos personales e IoT (Morgan, 2010).

En años recientes, debido a los costos tanto económicos como no económicos que estos ataques internos malintencionados pueden acarrear, se ha prestado mayor atención al desafío de enfrentarlos. Como respuesta, se han desarrollado diversos métodos y técnicas para abordar este problema.

Las razones más destacadas para la implementación de mecanismos de prevención de pérdida de datos incluyen el cumplimiento de regulaciones y la protección de la propiedad intelectual (Forcepoint, 2020).

En la actualidad, muchas organizaciones y compañías están bajo la supervisión de regulaciones gubernamentales y de la industria que imponen controles sobre la información en general y la información del ámbito privado de las personas en particular. Las regulaciones o normas que una organización debe acatar dependen del ámbito, país o estado donde se desempeñe dicha organización. Algunos ejemplos de normas o regulaciones son: HIPAA (Health Insurance Portability and Accountability Act, Ley de Portabilidad y Responsabilidad de Seguros Médicos, en español); PCI-DSS (Payment Card Industry Data Security Standard, Estándar de seguridad de datos de la industria de tarjetas de pago, en español), diseñada para que todas las compañías acepten, procesen, almacenen o transmitan datos relacionados a tarjetas de crédito de forma segura.; GDPR (General Data Protection Regulation, European Data Protection Regulation).

Además, muchos estados han aprobado leyes que exigen a las organizaciones que notifiquen a los consumidores cuando su información personal pueda haber sido expuesta.

Para muchas compañías, la propiedad intelectual puede ser más valiosa que los activos físicos. Como resultado, para muchas empresas, el establecer políticas y mecanismos que protejan contra la pérdida o robo de propiedad intelectual es crítico para proteger la marca y mantener la competitividad.

Data Loss Prevention (DLP, Prevención de pérdida de datos, en español) surgió como respuesta a buscar soluciones preventivas a los ataques de atacantes internos que tienen como objetivo la fuga de datos.

De acuerdo con el NIST (National Institute of Standards and Technology), para prevenir la fuga de información es necesario considerar los siguientes aspectos esenciales:

- Definir políticas de uso de datos, reportes de incidentes de pérdidas de datos y establecimiento de capacidades de respuesta a incidentes para habilitar acciones correctivas y remediar violaciones.
- Definir la sensibilidad de los datos, creación de un inventario de datos sensibles y localización de dónde están siendo almacenados, administración del borrado de datos.
- Monitorear el uso de datos sensibles y entendimiento de patrones de uso de dichos datos.
- Asegurar el cumplimiento de las políticas de seguridad de manera proactiva para prevenir que los datos sensibles salgan de la empresa.

Kostadinov, en su artículo titulado Data Loss Protection (DLP) for ICS/SCADA, describe tres componentes esenciales que conforman la protección contra la pérdida de datos (Liu y Kuhn, 2010):

1. Identificar la información crítica.
2. Monitorear la transmisión de esa información.
3. Evitar el acceso no autorizado.

Además, DLP diferencia entre tres estados clave de los datos, cada uno requiriendo técnicas de protección específicas (Diario Oficial Unión Europea, 2016) (Securosis, L.L.C., 2014): Data-At-Rest (datos almacenados en dispositivos de almacenamiento); Data-In-Use (datos que están siendo utilizados por un usuario); Data-In-Motion (datos que se están transmitiendo a través de una red).

Entre las diversas tecnologías implementadas para proteger los datos en estos diferentes estados, se incluyen, entre otras, los Sistemas de Detección de Intrusiones (IDS) (Sans, 2017), los Sistemas de Prevención de Intrusiones (IPS), software antimalware, firewalls, actualizaciones de software y la Gestión de Eventos e Información de Seguridad (SIEM) (IBM, 2022) (Tahboud y Saleh, 2014).

Dado que ningún sistema es 100% seguro y por la existencia de limitaciones en Data Loss Prevention, es absolutamente necesario que las organizaciones estén preparadas para gestionar las posibles fugas de datos que eventualmente se produzcan. Para poder gestionarlas es necesario primero identificarlas, lo cual conlleva tener trazabilidad de los datos sensibles (y de los archivos que los contengan).

El presente trabajo pretende proponer un framework, que le permita a una organización tener una visibilidad más inmediata sobre algunos eventos de fugas de información con el consiguiente incremento en su capacidad de reacción para ejecutar planes de contingencia previamente definidos vinculados a los riesgos de fuga de dicha información.

Para esto se usa el concepto de canary tokens para lograr la trazabilidad de archivos que contienen datos sensibles. Los canary tokens en seguridad informática a menudo aluden al concepto del canario en una mina de carbón donde los pájaros eran una señal de advertencia temprana de que el peligro estaba cerca. Si los canarios de la mina morían, servía como indicación de que los mineros debían salir de inmediato porque los canarios eran más sensibles a los gases peligrosos que los humanos. Actualmente esta idea se traslada al

mundo digital, utilizando estos “canarios digitales” para ser alertado en el caso de que surja alguna actividad no deseada.

Actualmente, una de las plataformas más conocidas para generar canary tokens y de distintos tipos es canarytokens.org creada por la organización Thinkst y de código abierto. Ésta plataforma cuenta diversos tipos de tokens, entre ellos se puede mencionar Token DNS, Claves de AWS (notifica cuando alguien usa esas credenciales), Token log4shell (Hiesgen, Nawrocki, Schmidt, & Wählisch, 2022) (si alguna librería es vulnerable a la vulnerabilidad de log4shell), etc. Estas plataformas, para el caso de documentos, lo que generan es el documento con el token ya inyectado y en algunos casos el archivo se puede seguir completando y se envía una notificación a una dirección de correo electrónico o un webhook cuando el documento es abierto.

Como se expuso anteriormente Data Loss Prevention no asegura que no existan fugas de datos es necesario contar, además de herramientas DLP también con herramientas que permitan detectar este tipo de ataques lo más tempranamente posible.

¿Qué pasa si algún documento o archivo con datos confidenciales es extraído fuera de su círculo de confidencialidad? El objetivo de este framework propuesto es minimizar los daños ante una fuga de datos, a través, del seguimiento de datos (archivos) alertando cuando estos sean abiertos desde orígenes desconocidos y no autorizados de forma que la organización pueda implementar sus respectivos planes de contingencia antes estos eventos.

Desarrollo

Actualmente, la plataforma de canary token permite trabajar de a un documento pero ¿Qué pasa cuando se necesita tener rastreabilidad de cientos o miles de archivos? como es el caso de las organizaciones, es por esto que esta línea de investigación, incluida en seguridad informática, pretende ampliar el uso de canary tokens y que también estos puedan ser considerados desde la concepción de cualquier proyecto de software, por ejemplo, ¿Es necesario tener trazabilidad de todos los documentos generados por una organización? ¿Cómo identificamos los que necesitan ser rastreados o monitoreados de los que no? ¿Qué documentos tienen que ser rastreados? ¿Qué datos es necesario recopilar de cada documento ya rastreado? Si estas interrogantes son contestadas afirmativamente entonces estamos ante casos en los que sería interesante considerar implementar canary tokens en varios documentos. Es por esto que uno de los puntos de este proyecto es considerar tener rastreabilidad sobre documentación masiva

En una primera fase, se propuso desarrollar un mecanismo que permita insertar un canary token en archivos (pdf, docx, xlsx, etc.), con el objetivo de obtener información sobre las circunstancias en las que se accedió al archivo. Esto permitiría determinar si dicho acceso puede considerarse una fuga de información, recolectar los datos pertinentes y activar las alertas necesarias.

Las preguntas que surgieron durante este proceso fueron:

- ¿Es indispensable tener trazabilidad para todos los documentos generados por una organización?
- ¿Cómo diferenciamos los documentos que requieren ser monitoreados de aquellos que no?
- ¿Qué documentos deben ser rastreados?
- ¿Qué información es esencial recopilar de cada documento que se está rastreando?

Para poder identificar el mecanismo que permita la inyección de canary tokens fue necesario investigar/estudiar el estándar ECMA-376. Este estándar especifica una familia de esquemas XML, denominados colectivamente Office Open XML, que definen el formato XML. vocabularios para procesamiento de textos, hojas de cálculo y documentos de oficina de presentación, así como el empaquetado de documentos ofimáticos que se ajusten a estos esquemas. El objetivo es permitir la implementación de los formatos Office Open XML mediante el más amplio conjunto de herramientas y plataformas, fomentando la interoperabilidad entre aplicaciones de productividad de oficina y sistemas de línea de negocio, así como así como apoyar y fortalecer el archivo y conservación de documentos, todo ello de forma totalmente compatible con los existentes documentos de Microsoft® Office.

En base a lo analizado se han identificado tres componentes que van a permitir responder los interrogantes planteados:

- Un inyector de tokens a documentos (Fig. 1).
- Gestor del inyector de documentos (Fig. 1).

- Gestor de datos recibidos de documentos tokenizados.

El inyector será el encargado de insertar el token y la url a que se tiene que reportar en los documentos. Como existen diferentes tipos de archivos es necesario acotar el alcance de los mismos ya que cada tipo de documento requiere cierta investigación previa para poder insertar un canary token.

Inicialmente se ha decidido centrarse en cuatro tipos de archivos: docx (Documento Word), doxm (Documento Word habilitado para macro), xlsx (Documento Excel), xlxm (Documento Excel habilitado para macro)

Para llevar a cabo este inyector se ha decidido utilizar python como lenguaje de programación, debido a su portabilidad. Por otro lado, se viene identificado en los tipos de documentos mencionados donde se podría anexar el canary token teniendo en cuenta que están siendo trabajados como XML, basándose en el estándar mencionado anteriormente.

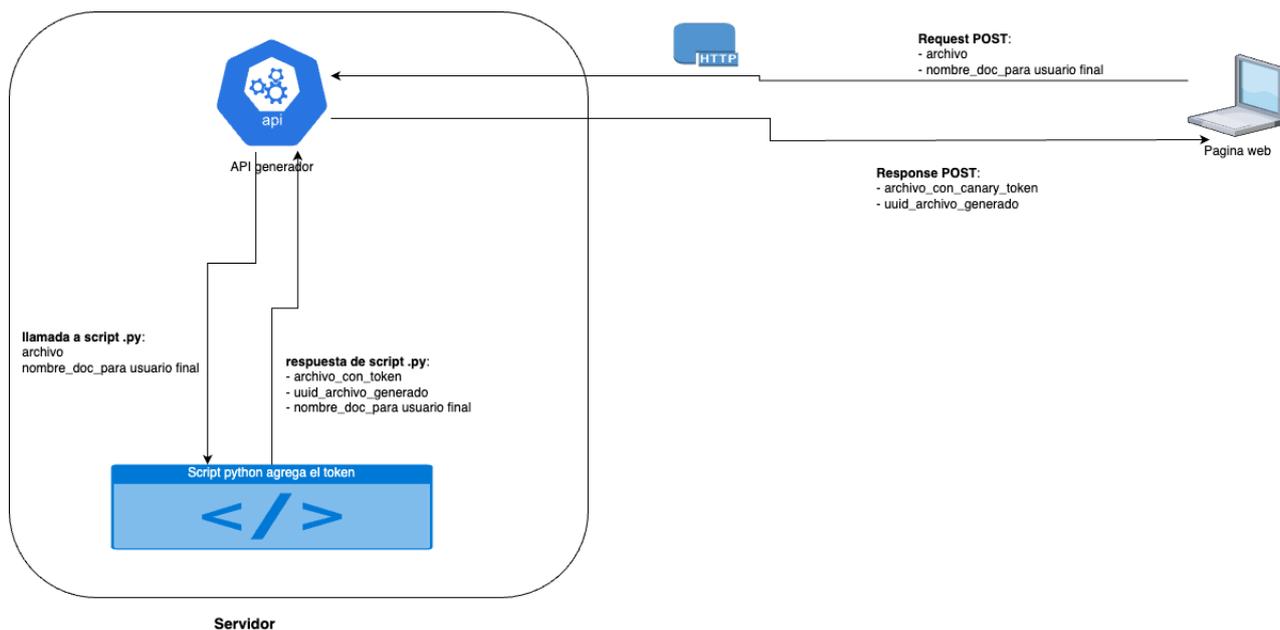


Fig. 1 Inyector de token a documentos

Por otro lado, se tiene el Visualizador de datos que nos permitirá visualizar los datos recolectados a partir de los documentos que tiene un token inyectado como también procesar estos datos y obtener estadísticas.

Conclusiones

Si bien la fuga de datos digitales es un problema que se acarrea desde siempre, los mecanismos para enfrentarlos enfocados con vehemencia en este mal son recientes como Data Loss Prevention y los Canary token.

El fin de este trabajo es lograr un mecanismo que entre sus cualidades está la portabilidad, de esta forma se podría aplicar tanto a documentos ya existentes como a documentos generados en cualquier sistema. Además de ser independiente del sistema operativo sobre el que se trabaja día a día y sobre el que se ejecuta el sistema que genera los documentos en cuestión.

Se está desarrollando la prueba de concepto, se ha tenido en cuenta factores como que la portabilidad con un horizonte a que el código generado pueda llegar a ser eventualmente código abierto, de forma tal que permita generar mayor conocimiento sobre estos mecanismos de protección de datos en archivos tan usados como excel y word o cualquier otro documento que implemente el estándar ECMA-376.

Referencias

Arcserve. (2020). *The 2020 Data Attack Surface Report*. Arcserve Tape Backup Whitepaper. <https://1c7fab3im83f5gqiw2qqs2k-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2020/12/ArcserveDataReport2020.pdf> (última visita: 15/08/2024).

Canary tokens. (n.d.). Página oficial. <https://www.canarytokens.org/generate> (última visita: 15/08/2024).

Código de Canary tokens. (n.d.). Github. Página oficial. <https://github.com/thinkst/canarytokens> (última visita: 15/08/2024).

ECMA International. (2021). *ECMA-376: Office Open XML file format* (5th ed.). <https://ecma-international.org/publications-and-standards/standards/ecma-376> (última visita 15/08/2024).

Forcepoint. (n.d.). *Forcepoint Data Loss Prevention (DLP): Protección de datos en un mundo sin perímetros*. <https://www.forcepoint.com/sites/default/files/resources/brochures/brochure-dlp-es.pdf> (última visita: 15/08/2024).

Hacktricks. (n.d.). *SSRF (Server Side Request Forgery)*. <https://book.hacktricks.xyz/pentesting-web/ssrf-server-side-request-forgery> (última visita: 15/08/2024).

Hiesgen, R., Nawrocki, M., Schmidt, T. C., & Wählisch, M. (2022). *The Race to the Vulnerable: Measuring the Log4j Shell Incident*. arXiv preprint arXiv:2205.02544.

Kostadinov, D. (2020). *Data Loss Protection (DLP) for ICS/SCADA*. <https://resources.infosecinstitute.com/topic/data-loss-protection-dlp-for-ics-scada/> (última visita: 15/08/2024).

Morgan, S. (2020). *The World Will Store 200 Zetabytes of Data by 2025*. Cybersecurity Ventures. <https://cybersecurityventures.com/cybersecurity-almanac-2020> (última visita: 15/08/2024).

National Institute of Standards and Technology (NIST). (n.d.). *Data Loss Prevention*. https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=904672 (última visita: 15/08/2024).

Official Journal of the European Union. (2016). *Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council of 27 April 2016*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0679> (última visita 15/08/2024).

Papadimitriou, P., & Garcia-Molina, H. (2011). Data leakage detection. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 23(1), 51-63. <https://doi.org/10.1109/TKDE.2010.100>

PCI Security Standards. (2022). *Payment Card Industry Data Security Standard: Requirements and Security Assessment Procedures* (v4.0). https://www.pcisecuritystandards.org/documents/PCI-DSS-v4_0-LA.pdf?agreement=true&time=1653751557059 (última visita: 15/08/2024).

Reale, A., & Zinc, B. (2019). *Loft: Canarytokens: An old concept for a new world*. Scientific and Practical Cyber Security Journal (SPCSJ), 3(1), 66-68. ISSN 2587-4667. Scientific Cyber Security Association (SCSA).

SANS Institute. (2017). *Intrusion Detection: SANS Reading Room*. <https://www.sans.org/readingroom/whitepapers/detection/paper/38165> (última visita: 15/08/2024).

SANS Institute. (n.d.). *Understanding and Selecting a Data Loss Prevention Solution*. Securosis, L.L.C. <https://securosis.com/assets/library/publications/DLP-Whitepaper.pdf> (última visita: 15/08/2024).

Tahboub, R., & Saleh, Y. (2014). Data leakage/loss prevention systems (DLP). *International Journal of Information Systems*, 1(13), 13-19. <https://doi.org/10.1109/WCCAIS.2014.6916624>

Tunggal, A. (2022, mayo). *What is the Cost of a Data Breach in 2022?*. <https://www.upguard.com/blog/cost-of-data-breach> (última visita: 15/08/2024).

What is SIEM?. (n.d.). IBM. <https://www.ibm.com/topics/siem> (última visita: 15/08/2024).

The HIPAA Privacy Rule. (n.d.). <https://www.hhs.gov/hipaa/for-professionals/privacy/index.html> (última visita: 15/08/2024).

Accesibilidad: Característica principal para lograr un producto digital centrado en las personas

Accessibility: Key feature for achieving a people-centric digital product

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Mario Peralta

Universidad Nacional de San Luis
mperalta@unsl.edu.ar

Carlos Salgado

Universidad Nacional de San Luis
csalgado@unsl.edu.ar

Daniel Riesco

Universidad Nacional de San Luis
driesco@unsl.edu.ar

Lorena Baigorria

Universidad Nacional de San Luis
flbaigor@unsl.edu.ar

Luis Roqué Fourcade

Universidad Nacional de San Luis
araroq@unsl.edu.ar

Germán Montejano

Universidad Nacional de San Luis
gmonte@unsl.edu.ar

Javier Saldarini

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina
saldarinijavier@gmail.com

Claudio Carrizo

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina
cj carrizo77@gmail.com

Resumen

En la interacción con un software, influyen distintos factores además de los propios del producto. Las empresas implementan inteligencia artificial y automatización de procesos para aumentar la productividad y mejorar la experiencia de usuarios. Pero, ¿cómo impactan en las empresas? ¿Cómo mejoran la experiencia de usuarios? Los consumidores son más propensos a comprar ofertas relevantes y personalizadas. Las experiencias personalizadas pueden aumentar las tasas de conversión un 300% y la IA colabora para lograrlo.

Proponemos un modelo de calidad centrado en las personas que las coloca en el centro del desarrollo impulsado por el diseño, que sirve como una guía que ayude a las empresas a posicionarse competitivamente, produciendo software de calidad basado en la experiencia de usuario. Para desarrollar el modelo se tuvo en cuenta la estructura de la Norma ISO 13407:1999, el estándar ISO 25000 e información de la industria del software y servicios informáticos de la región.

Palabras clave: Accesibilidad, Diseño Centrado en las Personas, Modelo de Calidad, Interacción, Métricas e Indicadores.

Abstract

In the interaction with software, there are different factors that influence it, in addition to those of the product itself. Companies implement artificial intelligence and process automation to increase productivity and improve the user experience. But how do they impact companies? How do they improve the user experience? Consumers are more likely to buy relevant and personalized offers. Personalized experiences can increase conversion rates by 300% and AI helps to achieve this.

We propose a quality model centered on people that places them at the center of design-driven development, which serves as a guide to help companies position themselves competitively, producing quality software based on the user experience. To develop the model, the structure of the ISO 13407:1999 standard, the ISO 25000 standard and information from the software and IT services industry in the region were taken into account.

Keywords: Accessibility, Human-Centered Design, Quality Model, Interaction, Metrics and Indicators.

Introducción

Pensar en la experiencia que tendrá el usuario al interactuar con una pieza de software, es comenzar a entender que, en el proceso de interacción, influyen distintos factores: individuales, sociales, culturales contextuales y aquellos propios del producto en cuestión.

La Inteligencia Artificial (IA) y la Automatización de Procesos (AP): ¿cómo impactan en las empresas? ¿Cómo pueden mejorar la experiencia de usuarios? Entre otras tecnologías, la IA y la AP se implementan en las empresas para aumentar la productividad y mejorar la experiencia de los clientes y los proveedores.

Los consumidores son más propensos a comprar marcas que reconocen, recuerdan y proporcionan ofertas relevantes y personalizadas. Las experiencias personalizadas pueden aumentar las tasas de conversión en un 300% y, justamente, la IA viene a colaborar para lograrlo. En este sentido, el objetivo de la presente propuesta, es brindar a las empresas de desarrollo de software un modelo de calidad con un enfoque centrado en las personas que las coloca en el centro del desarrollo impulsado por el diseño, que sirva como instrumento, guía o buenas prácticas que les permita posicionarse en un nivel altamente competitivo en el mercado actual, mediante la producción de software de calidad basado en la experiencia de usuario. Para ello se propone un modelo de calidad para cuyo desarrollo se tuvo en cuenta la estructura de la Norma Internacional ISO 13407:1999, el estándar ISO 25000 e información recabada de la industria del software y servicios informáticos de la región.

Un Modelo de Calidad para la Evaluación de la Accesibilidad de los Productos Software

Aprovechar las oportunidades que las organizaciones/empresas tienen para llegar a sus clientes con ofertas personalizadas y relevantes será clave a la hora de capitalizar el momento de navegación del usuario. De esta forma, podrán descubrir los productos que deseen comprar con mayor facilidad, que su experiencia en la vitrina los lleve a tomar la decisión de compra y que luego ésta se pueda complementar con ventas cruzadas. Para eso, las organizaciones/empresas deben primero conocer a sus clientes, su comportamiento online y sus intereses particulares y sus limitaciones o diferencias para poder apropiarse de la información de los productos que se están ofreciendo. Actualmente, la tendencia en el desarrollo de productos software es que los mismos cumplan con normas de accesibilidad acorde a capacidades diferentes. En este sentido la W3C, a través de la Iniciativa de la Accesibilidad Web (WAI: Web Accessibility Initiative (W3C)), definió las Guías de Accesibilidad de Contenido Web (W3C, 2008) que cubren una amplia gama de recomendaciones para hacer que el contenido web sea más accesible. Así mismo, en 2010 en Argentina se Sancionó Ley De Accesibilidad De La Información En Las Páginas Web (Ley N° 26.653) que establece que el Estado nacional, los entes públicos no estatales, las empresas del Estado y las empresas privadas concesionarias de servicios públicos, deberán respetar en los diseños de sus páginas Web las normas y requisitos sobre accesibilidad de la información que faciliten el acceso a sus contenidos, a todas las personas con discapacidad.

En base a lo anterior se propone el siguiente modelo de calidad:

- | | |
|--------------------------------------|---|
| 1. Accesibilidad | 1.1.4. Inteligencia Artificial |
| 1.1. Tecnologías de Asistencia | 1.1.4.1. Interpretar Imágenes |
| 1.1.1. Lectores de Pantalla | 1.1.4.2. Controlar Dispositivos (sin teclados, ratones o pantallas) |
| 1.1.1.1. Leen Textos | 1.1.4.3. Recibir información (sin teclados, ratones o pantallas) |
| 1.1.1.1.1. Sintetizadores de Voz | 1.1.4.4. Comunicarse (sin teclados, ratones o pantallas) |
| 1.1.1.1.2. Muestran en Braille | |
| 1.1.2. Navegación con Teclado | |
| 1.1.3. Interfaces Adaptables | |

Para el desarrollo del modelo propuesto se tuvo en cuenta:

1. La Norma ISO 25010 (ISO, 2011) en su característica Usabilidad y especialmente en su subcaracterística Accesibilidad.
2. La estructura de la Norma Internacional ISO 13407:1999 que describe cómo un proceso de Diseño Centrado en Usuario puede ser implementado para lograr sistemas usables; y su revisión ISO 9241-210:2010 confirmada en 2015 (ISO/IEC, 2010).
3. Información recabada de la Industria del Software y Servicios Informáticos de la región.

El objetivo de nuestra propuesta es brindar a las empresas de desarrollo de software una herramienta, guía o buenas prácticas que les permita posicionarse en un nivel altamente competitivo en el mercado actual, mediante la producción de software de calidad basado en la experiencia de usuario.

Definición de Métricas e Indicadores

Para la medición de las características y subcaracterísticas establecidas en el modelo, se definió un conjunto de métricas e indicadores, algunas de las cuales se describen a continuación.

Métricas Directas:

- Cant_App_Braile: Contabiliza la cantidad de aplicaciones que permiten traducir a lenguaje Braille en la implementación de los procesos de negocio de la empresa (PNE).
- Cant_App_SVoz: Contabiliza la cantidad de aplicaciones que permiten sintetizar la voz en la implementación de los PNE.
- Cant_App_con_Tecl: Contabiliza la cantidad de aplicaciones que se pueden controlar con el teclado en la implementación de los PNE.
- Cant_App_Adaptables: Contabiliza la cantidad de aplicaciones con pantallas responsive en la implementación de los PNE.
- Cant_App_Interp_Imag: Contabiliza la cantidad de aplicaciones que permiten interpretar imágenes en la implementación de los PNE.
- Cant_App_Cont_Displ: Contabiliza la cantidad de aplicaciones que permiten controlar dispositivos sin la necesidad de ratones, teclados o pantallas en la implementación de los PNE.
- Cant_App_Rec_Inf: Contabiliza la cantidad de aplicaciones que permiten recibir información sin la necesidad de ratones, teclados o pantallas en la implementación de los PNE.
- Cant_App_Com: Contabiliza la cantidad de aplicaciones que permiten comunicarse sin la necesidad de ratones, teclados o pantallas en la implementación de los PNE.

A partir de estas métricas directas, se definen métricas derivadas como:

- Cant_App_IA: Contabiliza la cantidad de aplicaciones que permiten, a través de la inteligencia artificial, interactuar con los distintos usuarios de la implementación de los PNE. Esta métrica se define como:

$$\text{Cant_App_IA} = \text{Cant_App_Interp_Imag} + \text{Cant_App_Cont_Disp} + \text{Cant_App_Rec_Inf} + \text{Cant_App_Com}$$

- %_App_Voz: Representa el porcentaje de las aplicaciones de manejo de voz a través de IA incluidas en la implementación de los PNE.

$$\%_App_Voz = \text{Cant_App_SVoz} / \text{Cant_App_IA}$$

Para cada métrica se definen los indicadores que permiten interpretarlas. Así, A modo de ejemplo se presentan algunos de estos indicadores., se define el indicador elemental:

- Para interpretar la métrica Cant_App_Braile:

- o GuBraile = Grado de Utilización de Herramientas de Traducción al Lenguaje Braille

$$\text{GuBraile} = \begin{cases} 0 & \text{Cant_App_Braile} = 0 \\ 0,65 & 0 < \text{Cant_App_Braile} \leq 1 \\ 0,80 & 1 < \text{Cant_App_Braile} \leq 3 \\ 1 & \text{Cant_App_Braile} > 3 \end{cases}$$

- Para interpretar la métrica %_App_Voz:

- o GuHIAv = Grado de Utilización de Herramientas de IA para trabajo de voz

$$\text{GuHIAv} = \begin{cases} 0 & \%_App_Voz = 0 \\ 0,2 & 0 < \%_App_Voz < 0.25 \\ 0,4 & 0.25 \leq \%_App_Voz < 0.5 \\ 0,65 & 0.50 \leq \%_App_Voz < 0.75 \\ 0,8 & 0.75 \leq \%_App_Voz < 1 \\ 1 & \%_App_Voz = 1 \end{cases}$$

En términos generales, la accesibilidad básica incluye tecnologías de asistencia como lectores de pantalla, que leen el texto en voz alta a través de sintetizadores de voz o muestran el texto en braille; navegación con teclado, que permite a los usuarios moverse a través de elementos digitales usando botones; e interfaces adaptables, donde los diseños de las páginas cambian según los comportamientos de los usuarios.

Más recientemente, la inteligencia artificial (IA) ha promovido productos accesibles a través del reconocimiento de voz, donde los usuarios pueden controlar dispositivos, recibir información y comunicarse sin depender de teclados, ratones o pantallas. La IA generativa ayuda a los usuarios con discapacidad visual a interpretar imágenes, el lenguaje de señas impulsado por la IA está ayudando a los usuarios con discapacidad auditiva a moverse a través de experiencias digitales y los vestidores virtuales ayudan a las personas con restricciones de movilidad a probarse ropa. Las organizaciones deben recordar siempre que el potencial máximo de las herramientas debe ser el estándar mínimo para sus esfuerzos de accesibilidad. Esta característica, como cualquier etapa del proceso de creación de un producto, debe probarse e iterarse continuamente para confirmar que está teniendo el impacto deseado. Las organizaciones deben tener objetivos de accesibilidad claros y específicos y criterios de éxito que dirijan su impulso de accesibilidad y los mantengan centrados en las personas.

A lo largo del ciclo de vida del producto, las organizaciones deben probar exhaustivamente el producto con los usuarios para abordar cualquier barrera de accesibilidad, así como testear con herramientas digitales para detectar cualquier problema técnico. En la medida de lo posible, las pruebas deben ser realizadas por equipos que incluyan personas con diferentes capacidades. Cuantas más perspectivas diversas se coloquen sobre un producto, más completa será la evaluación de éste. Del mismo modo, las organizaciones deben ser transparentes al informar sobre los resultados de accesibilidad: los documentos deben compartirse con los equipos internos y la comunidad de usuarios, expresando lo que ha funcionado y lo que no, y cuáles son los próximos pasos a seguir.

Una Instanciación del Modelo Propuesto

Durante décadas, las aplicaciones heredadas han sido el núcleo de las operaciones empresariales, albergando procesos y datos cruciales. Sin embargo, a medida que el tiempo avanza, éstas se están transformando en una fuente de ineficiencia productiva. Bajo estas condiciones, la dirección de una empresa del medio decidió realizar un control sobre el software y los procesos involucrados en la transición o evolución de la empresa en el nuevo panorama mundial de lo que respecta a los Procesos de Negocio en los nuevos paradigmas. En este contexto, y continuando con el trabajo realizado para lograr la migración a la nube de los procesos de negocio que se llevó a cabo en dicha empresa, en el cual, en su comienzo se logró un primer paso en lo que refiere a la transformación digital (Debnath et al., 2015). Así, luego de trasladar algunos de los procesos de negocio de la empresa, se necesitaba lograr una plataforma que permita integrar las distintas tecnologías como la nube, automatización de procesos y la accesibilidad para lograr una experiencia de usuario satisfactoria.

Pero eso traía aparejado un problema de adaptación para los equipos de trabajos de la empresa. La migración presentaba un desafío porque surgieron distintos requisitos a cumplir por parte del software de la empresa y, además, ajustar los procesos de validación y verificación para alcanzar el aseguramiento de la calidad. Para tal fin se reorganizó el trabajo del recurso humano de la empresa con la utilización de una estrategia (Debnath et al., 2015) para rediseñar o acondicionar las interfaces de las aplicaciones web y móvil para adecuarse a los nuevos paradigmas de negocio. Pero surgió, luego de sucesivas adecuaciones de la usabilidad de las aplicaciones, que no se incrementaba la cantidad de clientes, por lo tanto, se buscó adecuarse a nuevas tecnologías.

Para el trabajo se utilizó el modelo de calidad previamente definido teniendo en mente las interfaces adaptables de navegación con teclado, Lectores de pantalla e IA. Se enfocó en las características y subcaracterísticas de interés respecto al cliente. Se realizó un estudio de los documentos que se utilizan para registrar los resultados de los procesos de negocio. Para ello, se contabilizó la cantidad de publicidad dirigida puntualmente a cada cliente en base a sus preferencias o necesidades. De las compras, pedidos de presupuestos, se hizo una trazabilidad con los registros de las mismas y las publicidades, recomendaciones personalizadas que se hacían. Se pudo constatar que, a través de los empleados se podía tener una aproximación del comportamiento de los clientes. Pero se observó una marcada carencia en lo que respecta a la información digital de lo mismo. La Tabla 1, muestra un resumen de las medidas obtenidas para las métricas definidas.

Tabla 1. Instanciación de las métricas en la implementación previa al estudio

Métrica	Valor
%_App_Interp_Imag	0%
%_App_Cont_Disb	10%
%_App_Rec_Inf	15%
%_App_Com	0%

A modo de ejemplo, tras analizar los datos e información, se detectó que un porcentaje de los domicilios ya estaban en la base de datos de otros clientes que hacían las compras para sus familiares, debido a la poca accesibilidad que presentaban las aplicaciones software con las que se contaba. Luego del análisis y puesta en marcha el agregado de funcionalidades adecuadas a las nuevas tecnologías, se incrementó la cantidad de clientes. Las mejoras en la aplicación referente a la accesibilidad aumentaron la tasa de compradores (Figura 1).

En la Actualidad	Con anterioridad
$CR = NVC / NV = 4755 / 7500 = 0,617$ Donde: NVC = 4755 Compradores NV = 7500 Visitantes	$CR = NVC / NV = 4280 / 7250 = 0,590$ Donde: NVC = 4280 Compradores NV = 7250 Visitantes

Figura 1: Tasa de Compradores

En base a estos nuevos valores, Se instanció nuevamente el modelo de calidad propuesto y en lo que refiere al uso de herramientas para accesibilidad, se obtuvieron mejoras con respecto a lo estudiado anteriormente como puede observarse en la tabla 2.

Tabla 2. Instanciación de las métricas en la implementación posterior al proceso de mejora

Métrica	Valor
%_App_Interp_Imag	30%
%_App_Cont_Disip	30%
%_App_Rec_Inf	25%
%_App_Com	15%

Para esta nueva instanciación, del modelo para la nueva versión del producto, se definieron nuevas métricas clave, se recopilaron y analizaron datos desde los que se tomaron las decisiones. En nuestro caso, se llevaron distintos procesos de negocio a la nube, para lo que se está desarrollando una aplicación móvil/ web de comercio electrónico. En este incremento, se implementó una nueva función de búsqueda avanzada, para cuya medición se definieron métricas como: Tasa de clics en los resultados de búsqueda, Tiempo promedio de búsqueda y Tasa de conversión. Al analizar estos datos, pudimos determinar si la nueva función de búsqueda mejoraba la experiencia del usuario y generó un mayor valor para el negocio.

Conclusiones

Un enfoque centrado en las personas, coloca a las organizaciones en el centro del desarrollo impulsado por el diseño. Prioriza la empatía y la formación de productos de alta calidad y que realmente atiendan a todos, por ejemplo, la IA generativa está ayudando a los usuarios con discapacidad visual a interpretar imágenes.

El pensamiento de diseño centrado en el ser humano va de la mano con la accesibilidad porque fomenta la inclusión, incorporando a más personas al mundo digital y, al mismo tiempo, creando mejores productos para beneficio de todos. La cantidad de nuevos casos de uso y la accesibilidad que permite la IA generativa aumentarán drásticamente la automatización y, por lo tanto, la productividad de los trabajadores en todas las empresas.

A medida que los líderes consideran este futuro, muchos llegan a la misma conclusión: las mejores aplicaciones para esta tecnología van más allá del resultado del modelo de forma aislada. El potencial real radica en los flujos de trabajo generales en los que se pueden integrar y la acción que se puede tomar a partir de estos modelos. Así, luego de realizar la instanciación del modelo de calidad propuesto, y la aplicación de las métricas e indicadores, se pudo concluir que, en el proceso de optimizar el acceso de la información a los visitantes y clientes del ecommerce, era necesario una serie de ajustes y transformaciones en los procesos de negocio, puesto que, no todos los usuarios buscan lo mismo o acceden de la misma forma ni se informan de la misma manera. Cuando la empresa entiende que, de acuerdo al journey (recorrido), hay distintos perfiles de consumidores en diferentes etapas en las que interactúan con la firma o toman decisiones, es importante cómo hace para comprender qué necesitan. Los datos juegan hoy un rol clave porque todo está documentado y es importante saber usarlos, porque brindan las herramientas para que se pueda accionar en el momento en que el usuario lo necesita para vender un producto o servicio. Así, para llegar al cliente desde diversas fuentes y maneras se decidió utilizar la IA en la aplicación para el manejo de los instrumentos que se utilizarán en la organización, y de esta manera poder llegar a ese usuario que quedaba excluido o dependía de alguien para acceder a los productos o servicios que necesitaba consumir.

Como beneficios adicionales de instanciar el modelo de calidad, sus métricas e indicadores y su utilización en la empresa, surgieron cosas interesantes como evaluar estados de los clientes, ventas, pedidos, etc. en distintos periodos de tiempo. Esto favorecía el monitoreo de los procesos a través de las métricas e indicadores, y poder actuar de forma predictiva o prescriptiva para la mejora continua de los procesos de negocio de la organización.

Referencias

Debnath, N., Peralta, M., Salgado, C., Baigorria, L., Montejano, G., & Riesco, D. (2015). Metrics and performance indicators to evaluate workflow processes on the cloud. Paper presented at the IEEE/ACS 12th International Conference of Computer Systems and Applications (AICCSA), Marrakech, Morocco.

ISO. (2011). ISO/IEC 25010:2011 Systems and software engineering -- Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) -- System and software quality models.

ISO/IEC. (2010). ISO 9241-210:2010 Ergonomics of human-system interaction -- Part 210: Human-centred design for interactive systems.

W3C. Web Accessibility Initiative: WAI, from <https://www.w3.org/WAI/>

W3C. (2008). Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0: W3C: The World Wide Web Consortium.

De las Necesidades de Usuarios a los Requisitos de calidad: Hacia una herramienta basada en SQUARE aplicada a historias de usuario

From User Needs to Quality Requirements: Towards a SQUARE-based tool applied to user stories

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Javier Saldarini

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina
saldarinijavier@gmail.com

Juan P. Mansilla

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina
juampimansilla17@gmail.com

Gastón Ferreyra

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina
gastonferreyra49@gmail.com

Claudio Carrizo

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina
cjcarrizo77@gmail.com

Sofía Bovo

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina
sofibovo501@gmail.com

Carlos Salgado

Universidad Nacional de San Luis, Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas y Naturales, Argentina
csalgado@unsl.edu.ar

Alberto Sánchez

Universidad Nacional de San Luis, Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas y Naturales, Argentina
asanchez@unsl.edu.ar

Mario Peralta

Universidad Nacional de San Luis, Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas y Naturales, Argentina
mperalta@unsl.edu.ar

Resumen

El uso de Historias de Usuario es una de las prácticas más comunes en el desarrollo de software guiado por los métodos ágiles; permiten introducir los requerimientos en el proceso de desarrollo, y consiste en una descripción corta de una funcionalidad valuada por un usuario o cliente de un sistema.

Habitualmente, no es común que las especificaciones de Historias de Usuario estén relacionadas a aspectos que no sean de tipo funcionales como, por ejemplo, atributos de calidad que debería tener un producto de software (Performance, Usabilidad, etc.)

En el presente trabajo se sientan las bases para el desarrollo de una web app que se integre a JIRA Software, cuya principal funcionalidad está centrada en mapear las necesidades de calidad de las partes interesadas con características de calidad de producto de software en el contexto de historias de usuario, tomando como marco de referencia la norma ISO/IEC 25030:2019.

Palabras clave: Historias de Usuario, Calidad de producto, ISO/IEC 25030, Métodos Ágiles

Abstract

The creation of User Stories is one of the most common practices in software development guided by agile methods. They fulfill the purpose of introducing requirements into the development process and are a short description of a functionality valued by a user or client of a system.

In practice, it is not very common for User Story specifications to be related to aspects other than strictly functional ones, such as attributes related to the quality that a software product should have, for example: Performance, Usability, etc.

This work presents a proposal that lays the foundation for the development of a web app that integrates with JIRA, and whose main functionality is focused on mapping the quality needs of stakeholders with software product quality characteristics in the context of user stories and taking the ISO/IEC 25030:2019 standard as a reference framework.

Keywords: User Stories, Product Quality, ISO/IEC 25030, Agile Methods

Introducción

Las metodologías ágiles para el desarrollo de software surgieron en la década de los noventa, están basadas en el denominado Manifiesto Ágil (Manifiesto for Agile Software Development, s.f.), y sus principales características están centradas en el desarrollo iterativo e incremental, las entregas frecuentes, la priorización de los requisitos, la constante interacción con el cliente, la adaptación al cambio, el trabajo colaborativo en equipo, etc.

Autores como Sommerville (Sommerville, 2011) y Pressman (Pressman, 2005) coinciden en que las más reconocidas en la industria del software son: Scrum (Scrum Alliance, s.f.), Programación Extrema (Extreme Programming, s.f.) y Crystal (CRYSTAL, Agile project management, s.f.).

En este sentido, Sommerville (Sommerville, 2011) expresa que el nuevo software se desarrolla rápidamente para aprovechar las actuales oportunidades. En consecuencia, en la actualidad la entrega y el desarrollo rápidos son por lo general el requerimiento fundamental de los sistemas de software. De hecho, muchas empresas están dispuestas a negociar la calidad del software y el compromiso con los requerimientos, para lograr con mayor celeridad la implementación que necesitan del software.

Según ISO/IEC 25030 (ISO/IEC 25030:2019, 2019) cuando hablamos de calidad del software es importante identificar y especificar los requisitos de calidad como parte de los requisitos del sistema, el software y los datos, porque encontrar el equilibrio adecuado entre los requisitos de calidad, además de los requisitos funcionales bien especificados, es un factor crítico de éxito para cumplir con los objetivos de las Partes Interesadas (PI).

En el trabajo denominado "*Herramientas y buenas prácticas para el aseguramiento de calidad de software con metodologías ágiles*" (Mercado-Ramos, 2015) se describe que existen distintos frameworks y/o herramientas para asegurar la calidad del software en un proyecto ágil, pero aún existen desafíos por solucionar y que además, que por las características y naturaleza de un proyecto desarrollado con metodologías ágiles es necesario contar con un conjunto de buenas prácticas, recomendaciones y herramientas, que, según sea el caso, se apliquen en determinado momento del proyecto.

En este último tiempo han surgido distintas herramientas o plataformas que permiten llevar a cabo la gestión de proyectos de desarrollo de software. En (IONOS Cloud S.L.U., s.f.) se describen y comparan herramientas como Jira, ClickUp, Sprintly, Redmine, Stackfield, Kanbanize, Open Project, Hive, entre otras. También se indica que con más de 65.000 usuarios alrededor del mundo, Jira Software (Atlassian, s.f.) se encuentra entre las soluciones más utilizadas para la gestión de proyectos y que esta solución facilita el desarrollo e integración de add-ons a través del marketplace que ofrece Atlassian (Atlassian, s.f.).

En este sentido, también se consideró conveniente investigar aquellas apps alojadas en el Marketplace de Atlassian (Atlassian, s.f.) para la gestión de la calidad y/o el testing. Principalmente se encontraron plugins dedicados al testing funcional tales como QMetry (QMetry, s.f.), Xray (Xray, s.f.) o Zephyr Squad (Zephyr Squad, s.f.), los cuales permiten el diseño y ejecución de test funcionales, integración con otras herramientas, reportes y analíticas. Sin embargo, estas soluciones no están específicamente enfocadas para la gestión de la calidad de producto de software o requisitos no funcionales.

Visto lo antes mencionado, es que, en este trabajo se presenta una propuesta que sienta las bases para el desarrollo de una web app que se integre a JIRA Software, cuya su principal funcionalidad está centrada en mapear las necesidades de calidad de las partes interesadas con las características de calidad de producto de software en el contexto de historias de usuario, tomando como marco de referencia la norma ISO/IEC 25030:2019 (ISO/IEC 25030:2007, 2007).

Desarrollo

Especificación de Requisitos de Calidad del Software - ISO/IEC 25030:2019

El propósito de la familia de normas ISO/IEC 25000 (ISO/IEC 25000:2014, 2014) es ayudar al desarrollo y adquisición del producto de software, estableciendo criterios para la *especificación de requerimientos de calidad del producto de software, su medición y evaluación*.

En ese contexto, la Norma ISO/IEC 25030 (ISO/IEC 25030:2019, 2019) permite llevar a cabo el proceso de especificación de requerimientos de calidad de software. Según se expresa en esta norma, los requisitos de calidad del software, así como todos los demás requisitos, no pueden ser vistos en forma aislada, sino que deben considerarse en un contexto más amplio.

En la Figura 1 se puede observar el proceso propuesto por ISO/IEC 25030 (ISO/IEC 25030:2019, 2019) para la obtención de los requisitos de calidad desde las necesidades de las partes interesadas hasta obtener los requisitos del sistema / software, también, esta norma proporciona una serie de pasos para guiar esa especificación, los cuáles se pueden observar en la Figura 2.

En esta última se puede ver que para cumplir con el paso (1) se debe interactuar con los modelos de calidad que propone la familia de normas ISO/IEC 25000 (ISO/IEC 25000:2014, 2014), para nuestro caso utilizaremos el modelo de calidad de producto establecido en la norma ISO/IEC 25010 (ISO/IEC 25010:2011, 2011) con la cual podremos identificar las características y subcaracterísticas de calidad necesarias. Del mismo modo, para cumplir con el paso (5) y establecer las métricas necesarias para medir los atributos de calidad de producto que se deriven del Paso (1) es que utilizaremos la norma ISO/IEC 25023 (ISO/IEC 25023:2016, 2016 (E)).

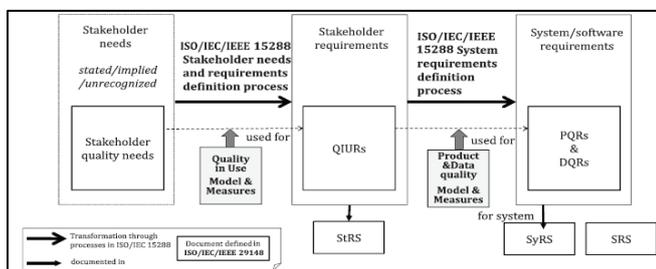


Figura 1. Desde las necesidades de las partes interesadas hasta los requisitos del sistema / software

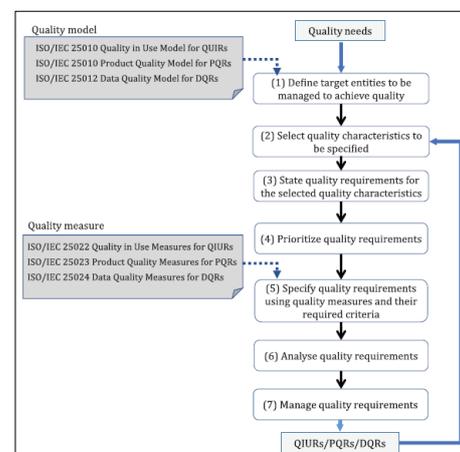


Figura 2. Pasos para definir los requisitos de calidad

Modelo de Cardinalidad entre Entidades

A fin de poder modelar de mapeo entre las necesidades de la PI y los requisitos de calidad de software, obtenidos a través de proceso que contiene un serie de pasos, establecidos en ISO/IEC 25030 (ISO/IEC 25030:2019, 2019), se desarrolló un modelo de cardinalidad compuesto por Entidades, Atributos, Relaciones y su Cardinalidad (Figura 3).

A continuación, se muestra un ejemplo:

Un REQUISITO DE CALIDAD está compuesto por una o muchas NECESIDADES DE CALIDAD y una o muchas SUBCARACTERÍSTICAS DE CALIDAD

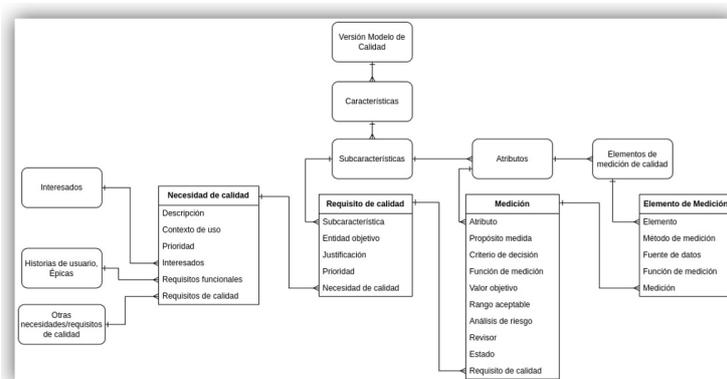


Figura 3. Modelo de cardinalidad basado en proceso de ISO/IEC 25030

Funcionalidad de la Web App

En las Figuras 4 y 5 se presenta la interface de integración de la web app con Jira Software (Atlassian, s.f.), la cual permite mapear las necesidades de las PI con las características de calidad de producto, teniendo en cuenta el proceso

descrito en ISO/IEC 25030 (ISO/IEC 25030:2019, 2019); también se utiliza como referencia el modelo de calidad de producto ISO/IEC 25010 (ISO/IEC 25010:2011, 2011), que permite identificar las características y sub-características de calidad, y la norma ISO/IEC 25023 (ISO/IEC 25023:2016, 2016 (E)) para establecer las medidas de calidad.

Para explicar las funcionalidades se detalla el paso a paso junto a un ejemplo práctico basado en una Épica que contiene tres historias de usuario.

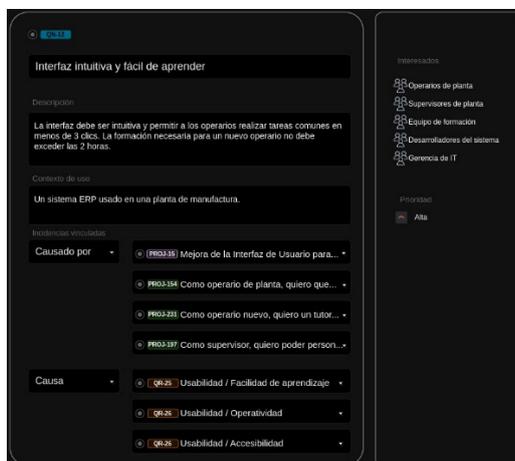


Figura 4. Interface 1 de integración con JIRA

1- Para especificar correctamente un requisito de calidad, se debe partir de una *Necesidad de Calidad*. Para ello se utiliza una Incidencia de Jira de tipo “*Necesidad de Calidad*”, la cual requiere los siguientes campos:

- **Título:** un nombre resumido que explique la necesidad en cuestión;
- **Descripción:** describir de forma detallada en qué consiste esa necesidad de calidad en términos del negocio
La interfaz debe ser intuitiva y permitir a los operarios realizar tareas comunes en menos de 3 clics. La formación necesaria para un nuevo operario no debe exceder las 2 horas.
- **Contexto de uso:** describir el entorno en el que se enmarca esta necesidad de calidad
Un sistema ERP usado en una planta de manufactura
- **Prioridad:** puede ser muy alta, alta, media, baja o muy baja
Alta
- **Interesados:** seleccionar cuales de todos los interesados en este proyecto son afectados de alguna manera por esta necesidad de calidad
 - *Operarios de planta*
 - *Supervisores de planta*
 - *Equipo de formación*
 - *Desarrolladores del sistema*
 - *Gerencia de IT*
- **Incidencias Jira que causan esta necesidad de calidad:** una Necesidad de Calidad puede ser causada por Requisitos funcionales (Épicas, Historias de Usuario) o por otras Necesidades de Calidad. Para ello se utiliza la funcionalidad de Jira para “Vincular incidencias”, que permite relacionar incidencias entre sí y elegir un tipo de relación. En este caso se elige el tipo de relación “Causado por” junto con una épica, dos historias de usuario y dos necesidades de calidad.

Requisitos funcionales relacionados

Épica: Mejora de la Interfaz de Usuario para Operarios

- *Historia de Usuario 1:* Como operario de planta, quiero que el sistema me permita completar tareas en no más de 3 clics para mejorar mi eficiencia.
- *Historia de Usuario 2:* Como operario nuevo, quiero un tutorial interactivo que me guíe a través de las funciones principales para poder empezar a usar el sistema rápidamente.
- *Historia de Usuario 3:* Como supervisor, quiero poder personalizar la interfaz para que se adapte mejor a las tareas diarias de mi equipo.

Nota: por una cuestión de espacio de aquí en adelante solo se detallan los pasos a seguir para la Historia de Usuario 2

- **Requisitos de calidad causados por la necesidad de calidad:** luego de analizar qué sub-características aplican para cumplir con la necesidad de calidad, se deben crear otras incidencias Jira de tipo “Requisito de Calidad”. Los Requisitos de Calidad generados a partir de la Necesidad de Calidad se vinculan mediante la relación “Causa”.
 - *Usabilidad / Facilidad de aprendizaje:*

- **Justificación:** Dado que uno de los objetivos es que los operarios nuevos puedan aprender a usar el sistema rápidamente, la facilidad de aprendizaje es crucial. Esto incluye cómo el sistema apoya a los usuarios en la comprensión y dominio de sus funcionalidades.
- **Prioridad:** *Alta*

2- En Figura 5 se muestra que Jira le asigna un identificador único a cada incidencia de forma automática. Las incidencias cuyo identificador comienza con “QN-” referencian a una Necesidad de Calidad y si comienza con “QR-” se está referenciando a un Requisito de Calidad.

Las incidencias de tipo “Requisito de Calidad” requieren los siguientes campos:

- **Título:** *Usabilidad / Facilidad de aprendizaje*
- **Justificación:** indicar porque esa sub-característica permite satisfacer la necesidad de calidad de origen
Dado que uno de los objetivos es que los operarios nuevos puedan aprender a usar el sistema rápidamente, la facilidad de aprendizaje es crucial. Esto incluye como el sistema apoya a los usuarios en la comprensión y dominio de sus funcionalidades.
- **Entidad objetivo:** seleccionar un Componente de Jira el cual se vería afectado por esta sub-característica
Sistema de Gestión de operaciones en Planta (SGOP)
- **Prioridad:**
Alta
- **Vínculo “Causado por”:** generado automáticamente cuando se crea el Requisito de Calidad como contraparte del vínculo “Causa” en la Necesidad de calidad:
Interface intuitiva y fácil de aprender
- **Medidas causadas por el requisito de calidad:** luego de analizar qué atributos de calidad aplican para medir este requisito de calidad, se deben crear otras incidencias Jira de tipo “Medición”. Las Mediciones generadas a partir del Requisito de Calidad se vinculan mediante la relación “Causa” y sus identificaciones comienzan con “QM-”.
Exhaustividad de la guía del usuario
 - *Propósito de la Medida de la Calidad del Software (Información Necesaria):* Evaluar la cobertura de la documentación del usuario con el fin de asegurar que todas las funciones necesarias estén adecuadamente explicadas, permitiendo a los usuarios comprender y utilizar el sistema eficientemente.
 - *Criterios de Decisión:* Si la exhaustividad de la guía del usuario es inferior al 90%, se deben realizar revisiones adicionales de la documentación para cubrir las funciones faltantes.
 - *Función de Medición:*
 - $X=A/B$
 - *Elementos de Medida de la Calidad Utilizados:*
 - A: Número de funciones descritas en la documentación del usuario u otros elementos de ayuda según se requiera.
 - B: Número de funciones implementadas que se requieren para ser documentadas.
 - *Método de Medición:*
 - A: Conteo de funciones documentadas.
 - B: Conteo de funciones implementadas.
 - *Fuente de Dato(s):*
 - A: Revisión de la documentación del usuario.
 - B: Revisión del sistema para identificar todas las funciones implementadas.
 - *Valor objetivo:*
 - 95%
 - *Rango de valores aceptables:*
 - 90% - 100%

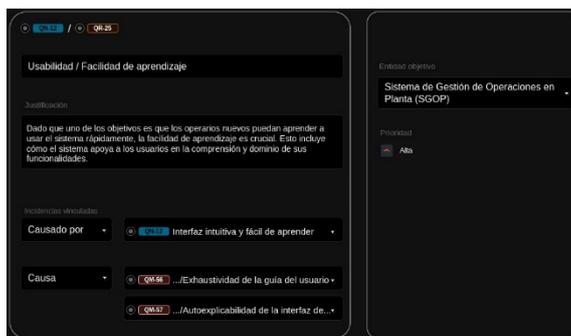


Figura 5. Interface 2 de integración con JIRA

Conclusiones

Si bien los resultados de esta propuesta son iniciales, demuestran la utilidad de poder contar con herramientas que estén basadas en un estándar de calidad reconocido a nivel mundial, como lo es la familia de normas ISO/IEC 25000, y que las mismas se puedan integrar a herramientas de gestión de proyectos que dan soporte a los marcos ágiles para el desarrollo del software como lo es Jira Software.

En base a lo desarrollado, se pudo observar que es factible poder establecer características, sub-características y medidas de calidad partiendo de las necesidades de calidad de las partes interesadas desde las historias de usuario, utilizando como marco lo establecido en ISO/IEC 25030 y su relación con las normas ISO/IEC 25010 y ISO/IEC 25023.

Se plantea a futuro seguir trabajando en esta línea de investigación, por un lado, se pretende terminar de manera completa la web app y realizar ensayos en múltiples proyectos de desarrollo de software guiados por metodologías ágiles, por otro, desarrollar la Incidencia de tipo "Medición", la cual, estará configurada para ser testeada, lo que implica un tratamiento similar al que dan herramientas de testing como XRay a los "Test Case". Esto permitirá planificar las tareas de medición, registrar los valores de cada elemento de la función de medición, documentar los resultados y verificar el cumplimiento de los requisitos y necesidades de calidad.

Referencias

- Atlassian. (n.d.). Atlassian. Retrieved from <https://bit.ly/3SwMmDd>
- CRYSTAL, Agile project management. (n.d.). Retrieved from <http://crystalmethodologies.org>
- Estayno, M., & Meles, J. (2014). El Rol del Product Owner en la definición y validación de las user stories. *Ciencia y Tecnología*(14), 145-162.
- Extreme Programming. (n.d.). Retrieved from <https://www.agilealliance.org/glossary/xp>
- IONOS Cloud S.L.U. (n.d.). IONOS Cloud. Retrieved from <https://www.ionos.es/digitalguide/paginas-web/desarrollo-web/alternativas-a-jira/>
- ISO/IEC 25000:2014. (2014). Systems and software engineering-Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE). ISO-Guide to SQuaRE.
- ISO/IEC 25010:2011. (2011). Systems and software engineering-Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE)-System and software quality models.
- ISO/IEC 25023:2016. (2016 (E)). Systems and software engineering – Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – Measurement of system and software product quality.
- ISO/IEC 25030:2007. (2007). Software engineering – Software product Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – Quality requirements. ISO.
- ISO/IEC 25030:2019. (2019). Ingeniería de Software – Requisitos de la calidad del producto de software (SQuaRE) – Requisitos de Calidad. ISO.
- Jeffries, R. (2019). Three-C's Revisited. Retrieved from <https://ronjeffries.com/articles/019-01ff/3cs-revisited/>
- Manifesto for Agile Software Development. (n.d.). Retrieved from <http://agilemanifesto.org/>
- Mercado-Ramos, V. Z. (2015). HERRAMIENTAS Y BUENAS PRÁCTICAS PARA EL ASEGURAMIENTO DE CALIDAD DE SOFTWARE CON METODOLOGÍAS ÁGILES. *6*(1), 73-83.
- Pressman, R. (2005). Ingeniería de Software. (6 ed.). McGraw-Hill.
- QMetry. (n.d.). QMetry - Gestión de testing para Jira. Retrieved from <https://marketplace.atlassian.com/apps/1215144/qmetry-test-management-for-jira-qtm4j?tab=overview&hosting=cloud>
- Scrum Alliance. (n.d.). Retrieved from <https://resources.scrumalliance.org/Article/quick-guide-things-scrum>
- Sommerville, I. (2011). Ingeniería de Software (9° ed.). México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Xray. (n.d.). Xray - Gestión de testing para Jira. Retrieved from <https://marketplace.atlassian.com/apps/1211769/xray-test-management-for-jira?tab=overview&hosting=cloud>
- Zephyr Squad. (n.d.). Zephyr Squad - Gestión de testing para Jira . Retrieved from <https://marketplace.atlassian.com/apps/1014681/zephyr-squad-test-management-for-jira?tab=overview&hosting=cloud>

Análisis de Riesgos de seguridad en Redes SDN

Security Risk Analysis in SDN Networks

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Juan Carlos CALLONI

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina
jccalloni@gmail.com

Antonela CALLONI

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina
antocalloni@gmail.com

Facundo MONDINO

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina
mondinofacundo254@gmail.com

Rebeca FILIPPA

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina
rebefilippa@gmail.com

Luciano VILLA

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina
lucianovilla00@gmail.com

Resumen

El presente trabajo está basado en un exhaustivo análisis de los riesgos de seguridad en las redes definidas por software (SDN), centrándose especialmente en la protección de los controladores SDN, que representan el núcleo de la arquitectura de estas redes. Se examinan las vulnerabilidades inherentes a los controladores SDN, tales como su susceptibilidad a diversos tipos de ataques, incluyendo los de denegación de servicio distribuido (DDoS). Además, se propone un método basado en el análisis para modelar y evaluar los riesgos de seguridad en estos entornos. Este método permite una representación estructurada mediante casos de uso y un análisis profundo de las amenazas a través de una matriz de riesgos, facilitando la identificación de puntos críticos de fallo y la formulación de estrategias de mitigación eficaces. Este estudio es de gran relevancia para profesionales y académicos interesados en mejorar la seguridad en redes SDN, ofreciendo un marco conceptual robusto para la gestión de riesgos en este entorno tecnológico emergente.

Palabras clave: Redes definidas por Software, Seguridad, Riesgos, Casos de uso.

Abstract

This work is based on an exhaustive analysis of security risks in software-defined networks (SDN), focusing especially on the protection of SDN controllers, which represent the core of the architecture of these networks. Vulnerabilities inherent to SDN controllers are examined, such as their susceptibility to various types of attacks, including distributed denial of service (DDoS). Furthermore, an analysis-based method is proposed to model and evaluate security risks in these environments. This method allows a structured representation through use cases and a deep analysis of threats through a risk matrix, facilitating the identification of critical points of failure and the formulation of effective mitigation strategies. This study is of great relevance for professionals and academics interested in improving security in SDN networks, offering a robust conceptual framework for risk management in this emerging technological environment.

Keywords: Software Defined Networks, Security, Risks, Use Cases.

Introducción

La Red Definida por Software (SDN) es un enfoque de red que permite a los administradores de red inicializar, controlar, cambiar y administrar el comportamiento de la red de manera dinámica mediante interfaces abiertas como el protocolo OpenFlow. SDN está cambiando la forma en que se controlan, gestionan y configuran las infraestructuras de redes de TI (Lawal, 2018).

Las redes definidas por software (SDN) han emergido como una arquitectura clave en la evolución de infraestructuras de red a gran escala, particularmente en el contexto de nuevas tendencias tecnológicas. SDN ha captado el interés de organizaciones y fabricantes, quienes han comenzado a implementar esta tecnología en centros de datos y están explorando su potencial en redes perimetrales, donde la seguridad definida por software presenta nuevos paradigmas. Además, SDN ofrece oportunidades significativas en la infraestructura de redes empresariales, destacándose por su capacidad de reducir costos operativos y de capital relacionados con la inversión en nueva infraestructura.

Sin embargo, la integración de SDN en el contexto de la seguridad de la información ha sido abordada de manera fragmentada, dejando fuera del Sistema de Gestión de la Seguridad de la Información (SGSI) aspectos cruciales del diseño e implementación de esta infraestructura. A diferencia de las redes convencionales, donde la seguridad es un aspecto integral del diseño, SDN aún enfrenta desafíos en su adopción segura, especialmente en entornos que también incluyen tecnologías emergentes como IoT, SDDC, IaaS, PaaS, SaaS, computación en la nube y virtualización (Fogelbach, 2015).

La gestión de la seguridad de la información en redes definidas por software (SDN) es muy importante dentro del contexto de un Sistema de Gestión de Seguridad de la Información (SGSI), alineado con las normas ISO/IEC 27001:2005 y 2013 (normaiso27001.es, 2024). La importancia de implementar una estrategia para planificar, ejecutar, monitorear y mejorar la seguridad de la información en una infraestructura SDN es destacada, y se identifican actividades clave para este proceso, como la evaluación de riesgos, identificación de activos, amenazas y vulnerabilidades, así como la implementación de controles. Este trabajo aportará la gestión de riesgo en el ámbito de una Universidad, en particular de la UTN Facultad Regional San Francisco.

La ISO 27001 establece la necesidad de seleccionar una metodología para la evaluación de riesgos. Métodos como Mehari, Magerit, NIST800-30 y la Guía de Gestión de Seguridad de Microsoft son opciones viables, siendo todos aplicables a infraestructuras SDN. Los principales pasos a seguir según esta Norma son: identificación de activos, valorizándolos según su función dentro de la red; identificación de amenazas y vulnerabilidades; y análisis y evaluación de los riesgos, donde se plantea el uso de una matriz de análisis de riesgos que correlacione amenazas con activos, considerando la probabilidad de materialización de riesgos.

Este enfoque asegura que solo las actividades y controles relevantes se apliquen a la infraestructura SDN dentro del SGSI, lo que garantiza una gestión de seguridad de la información eficiente y adaptada a este tipo de red.

Por último, es importante mencionar que el análisis de seguridad en controladores SDN desde una perspectiva del análisis de riesgos es un campo en constante evolución. A medida que surgen nuevas amenazas y vulnerabilidades, es necesario adaptar y mejorar continuamente las medidas de seguridad y los modelos ontológicos para garantizar una protección efectiva de la red.

El presente trabajo aportará una visión integral y actualizada sobre la importancia de la gestión de riesgos en infraestructuras de una red SDN en una Universidad, especialmente en el contexto de la seguridad de la información. Este análisis subraya la necesidad de adaptar y evolucionar las metodologías tradicionales de evaluación de riesgos, como ISO 27001, para enfrentar los desafíos únicos que presentan las redes SDN. Al abordar aspectos críticos como, la detección de amenazas y vulnerabilidades, y la implementación de controles específicos para SDN, este trabajo ofrece un marco sólido para gestionar de manera efectiva la seguridad en entornos tecnológicos emergentes.

Objetivo

Desarrollar un análisis de riesgos de seguridad en redes definidas por software (SDN) en un entorno universitario, específicamente para los controladores SDN en la red de la UTN FR San Francisco; a través del análisis de casos de uso de seguridad específicos para estos controladores, se busca definir una matriz de riesgos que permita identificar, evaluar y mitigar posibles vulnerabilidades, mejorando así la seguridad y resiliencia de la red universitaria.

Conceptos

Las redes definidas por software (SDN) son un conjunto de técnicas en el ámbito de las redes computacionales que permiten la implementación de servicios de red de manera determinista, dinámica y escalable, sin necesidad de que el administrador coordine estos servicios a nivel bajo. Esto se logra separando el plano de datos, que se encarga de enviar las tramas, del plano de control, que gestiona los dispositivos. Toda la inteligencia y lógica de control de la red se centraliza en un controlador basado en software (Cuesta, 2021).

Una característica clave de las redes SDN es la programabilidad, que permite que todas las operaciones de red se describan como programas de software, integrando algoritmos y conceptos de programación propios del desarrollo de software. Esto facilita la implementación de medidas de seguridad, permitiendo resolver de manera eficaz y confiable muchos problemas de seguridad que afectan a las redes convencionales, mediante aplicaciones de software específicas para la seguridad de la red (Correa Chica Juan Camilo, 2020).

SDN está cambiando la forma en que se controlan, gestionan y configuran las infraestructuras de redes de TI (Lawal, 2018).

Aunque SDN ofrece beneficios en la administración centralizada y ágil de redes, también introduce riesgos de seguridad, especialmente en la capa de control, que es crucial para la interconexión del sistema. Si esta capa es vulnerada, puede causar fallos parciales o la interrupción total de los servicios. Dado el aumento en los delitos informáticos que amenazan la confidencialidad, integridad y disponibilidad (CIA) de la información en las organizaciones, es fundamental fortalecer la seguridad en las redes de datos (Alcívar Pedro, 2020).

Por ello, se propone desarrollar una guía teórico-práctica para Universidades que implementen SDN, con el objetivo de prevenir ataques como el DoS/DDoS en la capa de control. Esta guía incluirá un análisis de riesgos para identificar prácticas y herramientas efectivas para mitigar estos ataques y garantizar la autenticidad, confidencialidad y disponibilidad de la información en las redes SDN (Yibytha Tatiana Borda Ardila, 2023).

La ISO 27001 es un estándar de seguridad de la información que puede implementarse en cualquier organización para establecer buenas prácticas en la seguridad de la red. Este estándar es útil para gestionar, identificar y analizar los riesgos, lo que permite desarrollar estrategias de ciberseguridad y realizar auditorías que aseguren un control efectivo de la seguridad informática (Yibytha Tatiana Borda Ardila, 2023).

La ISO 27001 incluye un anexo (Anexo A) que contiene un listado de 114 controles distribuidos en 14 dominios. Al implementar un Sistema de Gestión de la Seguridad de la Información (SGSI), es posible seleccionar los dominios más relevantes para garantizar la seguridad en redes definidas por software (SDN). Esto ayuda a las organizaciones a proteger sus redes de manera más eficaz, siguiendo un marco reconocido internacionalmente para la seguridad de la información. Nuestro trabajo apunta en esta etapa a un análisis de riesgo de posibles tipos de ataques (ISO.ORG, 2013).

Análisis de Proyectos Similares

En el siguiente trabajo **“Propuesta De Diseño De Red De Datos Del Colegio Popular Bolivariano”**. El documento propone un diseño de red para el Colegio Popular Bolivariano, que incluye la identificación y tratamiento de riesgos mediante la metodología Magerit, siguiendo el ciclo PHVA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar). En la fase de planificación, se identifican los activos de la institución y se valoran según su importancia para la organización en términos de confidencialidad, integridad y disponibilidad, utilizando una escala cualitativa (Bajo, Medio, Alto). Luego, se evalúa el grado de criticidad de estos activos, clasificándolos en baja, moderada o alta criticidad (Fausto Camilo Vanegas Arévalo, 2023).

Una parte importante de este trabajo aporta a nuestro proyecto, pero no resuelve el problema que se plantea sobre tener un estudio de Análisis de Riesgos de seguridad en Redes SDN en una red híbrida universitaria mediante un conjunto de casos de uso específico.

En el siguiente trabajo **“Metodología de detección y mitigación de ataques ddos en entornos sdn basado en la norma iso/iec 27001 para mejorar la seguridad en el plano de control”** se menciona “El presente trabajo se realizó con el objetivo de desarrollar una Metodología para la implementación de una solución de seguridad relacionada a la detección y mitigación de ataques DDoS en el plano de control de SDN, capaz de ser utilizada como guía para los profesionales de la rama y demás interesados en la seguridad de la información. La metodología se desarrolló en base a la norma ISO 27001 y su alineación con el ciclo PDCA, de donde se tomaron las directrices generales para la realización de cada uno de los subprocesos de la metodología planteada: Identificación de riesgos, Planificación, Selección del mecanismo, Pruebas, Implementación, Monitoreo y Mejora” (Cheza, 2021).

Una parte importante de este trabajo servirá de aporte a nuestro proyecto, la parte de simulación y la metodología planteada pero no resuelve el problema que se plantea sobre tener un estudio de Análisis de Riesgos de seguridad en Redes SDN en una red híbrida universitaria.

Resultado y Método

El análisis de riesgos de la red de la facultad se inició tomando como referencia el diseño de la infraestructura de red existente. Con esta base, se procedió a desarrollar una serie de casos de uso que simulan los ataques más probables que podrían sufrir los sistemas. Cada caso de uso describe una secuencia de acciones que un atacante podría realizar para comprometer la seguridad de la red. A partir de estos casos de uso, se identificaron los riesgos específicos a los que está expuesta la red. Estos riesgos se clasificaron en función de su probabilidad de ocurrencia y su impacto potencial en la institución, documentándolos en una matriz de riesgos.

En la Figura 1 se muestra el diseño de una red para la UTN - Facultad Regional San Francisco, compuesta por tres conexiones WAN a Internet, cada una conectada a través de un router (Router A, B, y C). Estas conexiones están protegidas por dos firewalls (Firewall 1 y Firewall 2) que dividen la red en diferentes segmentos. El Firewall 1 conecta la red a un switch que maneja la LAN de Laboratorios y otro switch que maneja la red WiFi. El Firewall 2 está conectado a un switch que gestiona la LAN de Secretarías y a un switch adicional que se encarga de la zona desmilitarizada (DMZ), donde se encuentra un servidor o recurso crítico. Este diseño segmenta la red para proteger diferentes áreas, asegurar la gestión eficiente del tráfico, y brindar seguridad adecuada para cada segmento de la infraestructura de TI.

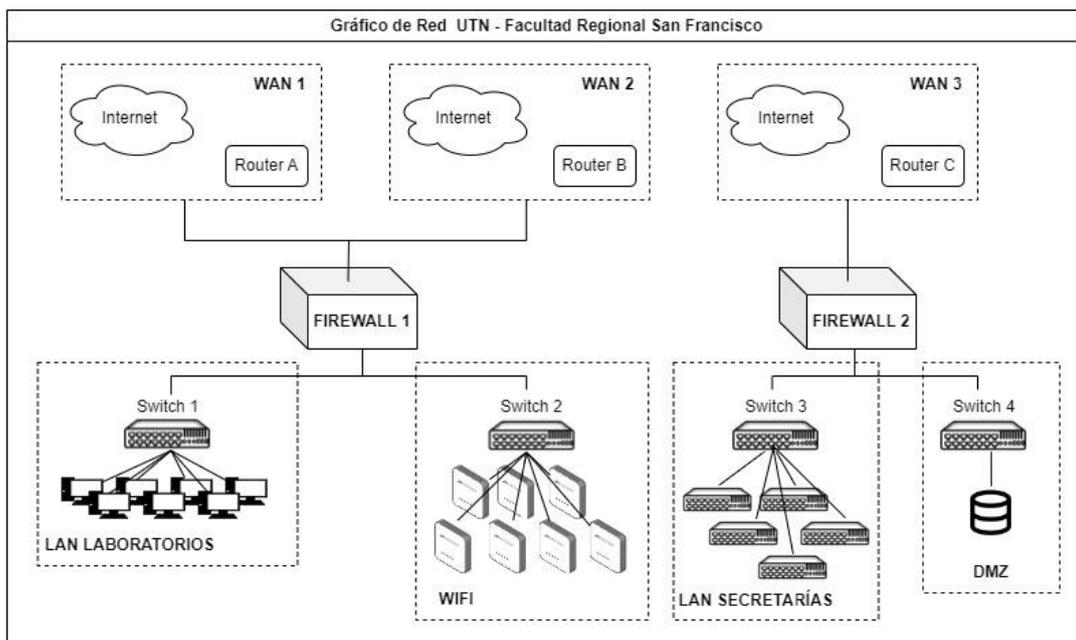


Figura 1. Gráfico de Red UTN San Francisco

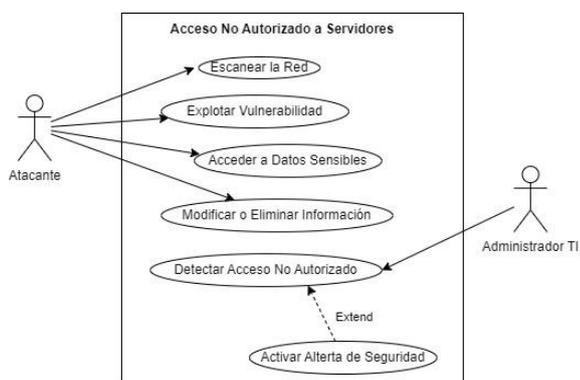


Figura 2. Acceso No Autorizado a Servicio

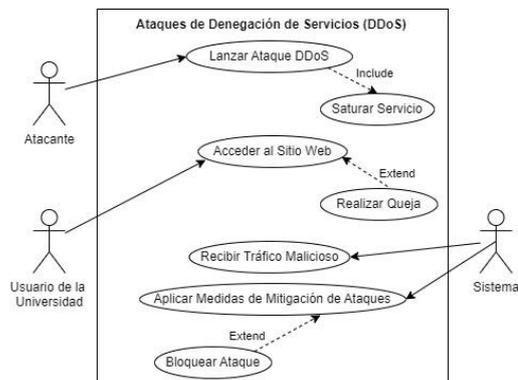


Figura 3. Ataques DDoS

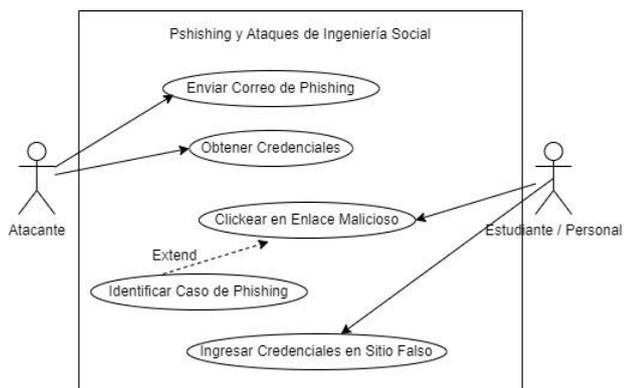


Figura 4. Phishing y ataques de Ingeniería Social

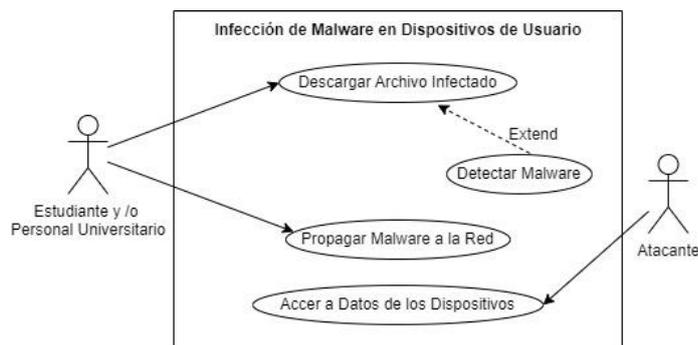


Figura 5. Infección de Malware

Los diagramas de casos de uso que se muestran en Figura 2 a Figura 9, ofrecen una visualización detallada de las secuencias de ataques más probables que podrían comprometer la seguridad de la red SDN de la institución. Cada caso de uso describe una serie de acciones que un atacante podría llevar a cabo, desde la fase de reconocimiento inicial hasta la obtención de acceso no autorizado a sistemas y datos sensibles. Los mismos se han utilizado para alimentar la matriz de riesgos.

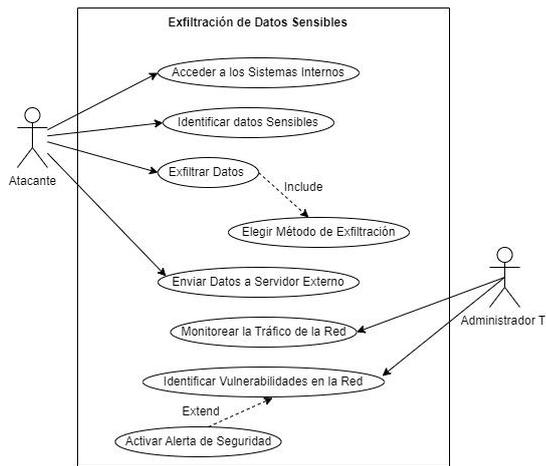


Figura 6. Exfiltración de datos sensibles

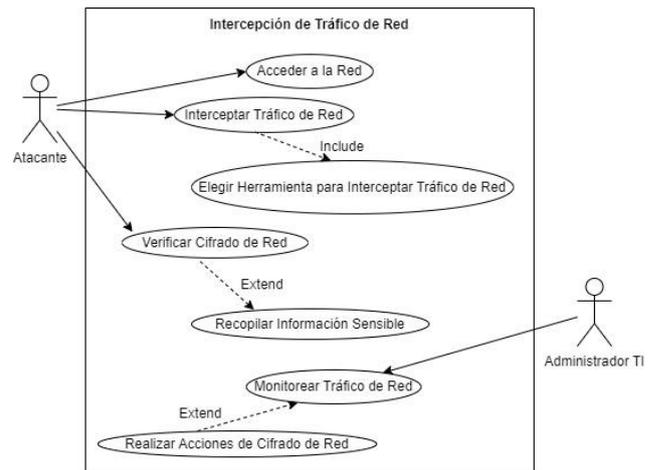


Figura 7. Intercepción de Tráfico de Red

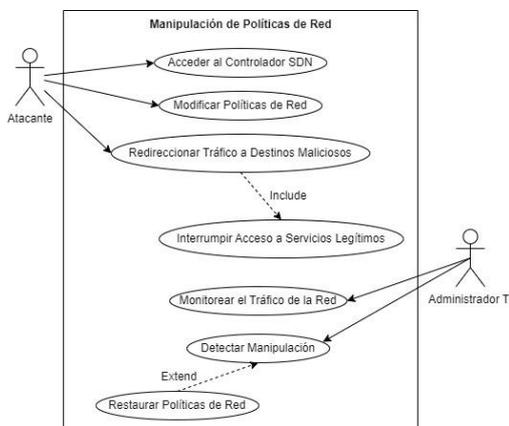


Figura 8. Manipulación de Política de Red

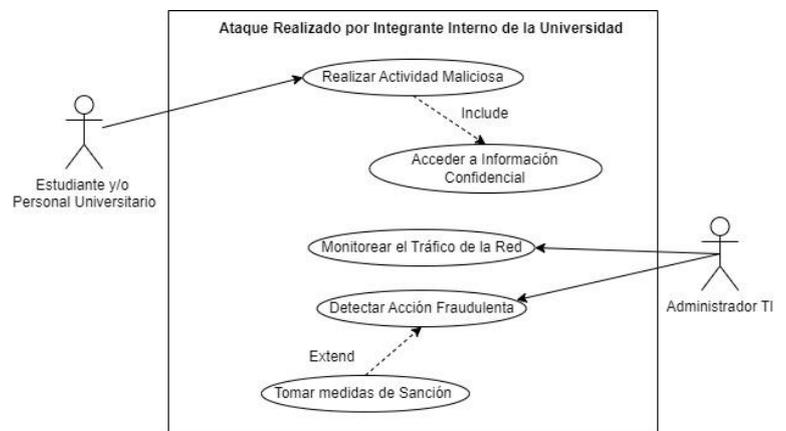


Figura 9. Ataque por integrante Interno

Tabla 1. Matriz de Riesgos de tipos de Ataques

N	Riesgo de tipo de Ataques	Probabilidad (1-5)	Impacto (1-5)	Nivel de Riesgo (P x I)	Comentarios
1	Propagación de Malware Interno	4	5	20	Puede comprometer toda la red universitaria.
2	Ataques DDoS Externos	4	5	20	Afecta gravemente la disponibilidad de servicios críticos.
3	Falta de Capacitación en Seguridad	4	4	16	Alta probabilidad de errores humanos que pueden ser explotados.
4	Phishing Dirigido a la Comunidad Universitaria	4	4	16	Alta probabilidad de que usuarios caigan en la trampa.
5	Robo de Información por Personal Interno	3	5	15	Riesgo significativo debido a la posibilidad de acceso a datos sensibles.
6	Cambios en la Legislación de Protección de Datos	3	5	15	Nuevas regulaciones pueden imponer sanciones significativas.
7	Reputación Dañada por Incidentes de Seguridad	3	5	15	Impacto a largo plazo en la confianza de la comunidad.
8	Responsabilidad Legal y Multas	3	5	15	Riesgo significativo debido a la normativa vigente en Argentina.
9	Desactualización de Sistemas y Software	3	4	12	Vulnerabilidades pueden ser explotadas si no se actualizan regularmente.
10	Inadecuada Gestión de Contraseñas	3	4	12	Contraseñas débiles pueden facilitar accesos no autorizados.
11	Acceso No Controlado a Recursos	3	4	12	Falta de políticas claras puede resultar en accesos no autorizados.
12	Intercepción de Datos en Redes Públicas	3	4	12	Uso de redes Wi-Fi públicas puede comprometer la seguridad.
13	Fugas de Información por Errores Humanos	4	3	12	Riesgo común que puede resultar en la exposición de datos sensibles.
14	Pérdida de Productividad	4	3	12	Afecta a estudiantes y personal, generando retrasos.
15	Inexistencia de Protocolos de Respuesta a Incidentes	2	5	10	Dificultad en la gestión de incidentes de seguridad.
16	Desastres Naturales	2	5	10	Riesgo moderado, pero con alto impacto potencial.
17	Competencia Desleal y Robo de Propiedad Intelectual	2	4	8	Riesgo moderado, pero puede afectar la reputación.

La matriz de riesgos presentada en este trabajo ofrece una visión detallada de las potenciales amenazas a la seguridad de las redes SDN de la institución educativa. Cada riesgo ha sido evaluado considerando dos dimensiones claves: probabilidad de ocurrencia y su impacto potencial. El factor de probabilidad se ha cuantificado en una escala del 1 al 5, donde 5 representa la mayor probabilidad de ocurrencia, mientras que el factor de impacto se ha evaluado en términos de las consecuencias que podría tener el riesgo sobre la institución, considerando aspectos como la disponibilidad de los servicios, la pérdida de información, daños a la reputación, y posibles sanciones legales. El

cálculo del producto de estos factores arroja el nivel de riesgo, proporcionando una medida cuantitativa de la gravedad de cada amenaza. La asignación de los valores se realizó a través de la lectura y clasificación de eventos de seguridad que ocurrieron en los últimos 15 años en la red de la UTN Facultad Regional San Francisco.

La relación entre la red, los casos de uso y la matriz de riesgos se centra en que la red proporciona el contexto para identificar los posibles puntos de ataque y vulnerabilidades, los casos de uso concretizan las amenazas y describen las secuencias de ataque más probables y la matriz de riesgos permite evaluar y priorizar los riesgos identificados en los casos de uso, facilitando la toma de decisiones en materia de seguridad. Al seguir este método, se logró obtener una visión clara y detallada de los riesgos a los que está expuesta la red de la facultad, lo que permitió diseñar e implementar medidas de seguridad efectivas para proteger los sistemas y datos de la institución.

Conclusión

El presente trabajo abordó de manera exhaustiva el análisis de riesgos en redes definidas por software (SDN) dentro de la infraestructura de la UTN - Facultad Regional San Francisco. A través de un método meticuloso que incluyó, la evaluación de amenazas y vulnerabilidades específicas, y el desarrollo de casos de uso detallados, se logró construir una matriz de riesgos que ofrece una visión cuantitativa y cualitativa de las amenazas a las que está expuesta la red SDN de la institución. El análisis ha destacado que, si bien SDN ofrece beneficios significativos en términos de flexibilidad, eficiencia y centralización en la gestión de redes, también introduce desafíos en materia de seguridad, particularmente en la capa de control. La centralización inherente de SDN, si no se protege adecuadamente, puede convertirse en un punto crítico de fallo que podría comprometer la totalidad de la red.

Asimismo, se ha evidenciado la importancia de adaptar y evolucionar las metodologías tradicionales de gestión de seguridad, como las propuestas por la norma ISO 27001, para enfrentar los retos específicos que presentan las redes SDN. La matriz de riesgos desarrollada no solo proporciona una herramienta valiosa para la toma de decisiones en materia de seguridad, sino que también subraya la necesidad de un monitoreo continuo y la actualización de las medidas de seguridad conforme emergen nuevas amenazas y vulnerabilidades.

Trabajos Futuros

Con la creciente adopción de SDN, también surge la necesidad de desarrollar métodos específicos de auditoría y cumplimiento normativo para estas redes. Un proyecto futuro podría centrarse en la creación de herramientas y metodologías para asegurar que las redes SDN cumplan con las normativas y estándares de seguridad internacionales.

Referencias

- Alcívar Pedro, N. M. (2020). Comparativa entre red tradicional y red definida por software: Caso de estudio ESPAM MFL. *Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao*, 70-90.
- Cheza, J. E. (2021). "Metodología de detección y mitigación de ataques ddos en entornos sdn basado en la norma iso/iec 27001 para mejorar la seguridad en el plano de control". UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES. Ibarra, Ecuador.
- Correa Chica Juan Camilo, J. C. (2020). Seguridad en SDN: un estudio exhaustivo. *Revista de aplicaciones informáticas y de redes*, 159, artículo 102595. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2020.102595>.
- Cuesta, J. R. (2021). Seguridad en Redes definidas por software (SDN). Valencia: Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación.
- Fausto Camilo Vanegas Arévalo, R. D. (2023). PROPUESTA DE DISEÑO DE RED DE DATOS DEL COLEGIO POPULAR BOLIVARIANO. BOGOTÁ: UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.
- Fogelbach, R. -G.-G. (2015). Seguridad y Gestión del Riesgo en Redes Definidas por Software. Ciudadela Don Bosco, Soyapango: Universidad Don Bosco. Obtenido de <https://rd.udb.edu.sv/items/cb1b7edc-0a48-4528-84aa-a5e292cb88d2>
- ISO.ORG. (2013). ISO.ORG. Obtenido de ISO.ORG: https://www.iso.org/obp/ui/?utm_source=google&utm_medium=ppc_paid_social&utm_campaign=am24-registration&gad_source=1&gclid=CjwKCAjw_ZC2BhAQEiwAXSgClhw1_c_nvMHNi4pfUtveMbndFn9Aw8V-GFLhygBEMnuCIHO7sePaBoCq80QAvD_BwE#iso:std:iso-iec:27001:ed-2:v1:en
- Lawal, B. H. (2018). Real-Time Detection and Mitigation of Distributed Denial of Service (DDoS) Attacks in Software Defined Networking (SDN). 26 Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU). 1-4.
- Moreno, D. C. (2015). Atributos contextuales influyentes en el proceso de educación de requisitos: una exhaustiva revisión de literatura,. *Ingeniare. Revista chilena de Ingeniería*, 23(DOI 10.4067/S0718-33052015000200006), 208-218.
- normaiso27001.es. (15 de 8 de 2024). ISO 27001. Obtenido de ISO 27001: <https://www.normaiso27001.es/>
- Yibyth Tatiana Borda Ardila, W. G. (2023). Guía teórica-práctica sobre mejores prácticas de seguridad en los principales ataques DoS/DDoS en la capa de control de las redes definidas por Software (SDN) para medianas empresas. Bogotá: Universidad Distrital Francisco Jose De Caldas Facultad Tecnológica Ingeniería Telemática.

Framework multiplataforma para automatizar la intercepción de tráfico en aplicaciones móviles Android

Cross-platform framework to automate traffic interception in Android mobile applications

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Fabián GIBELLINI

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Argentina
fabiangibellini@gmail.com

Leonardo CICERI

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Argentina
leonardociceri@gmail.com

Ileana BARRIONUEVO

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Argentina
ilebarrionuevo@gmail.com

Germán PARISI

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Argentina
germannparisi@gmail.com

Milagros ZEA CARDENAS

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Argentina
milyzc@gmail.com

Analía RUHL

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Argentina
analialorenaruhl@gmail.com

Marcelo AUQUER

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Argentina
marcelo.auquer@gmail.com

Federico BERTOLA

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Argentina
fedebertola@gmail.com

Juliana NOTRENI

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Argentina
julinotreni@gmail.com

Sergio QUINTEROS

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Argentina
ser.quinteros@gmail.com

Ignacio SÁNCHEZ BALZARETTI

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Argentina
ignaciojsb@gmail.com

Resumen

El análisis dinámico de aplicaciones móviles requiere de destinar esfuerzo a la inspección de tráfico web entre aplicación y servidor para encontrar vulnerabilidades y comprender el funcionamiento de los flujos de la

aplicación. Para realizar este proceso, se debe tener en cuenta que las aplicaciones están desarrolladas en distintos lenguajes de programación, con distintos frameworks, para distintas plataformas, y además poseen ciertas protecciones para evitar que un intermediario intercepte esa comunicación entre cliente y servidor. Es en este punto donde los pentesters se encuentran con algunas dificultades que deben sortear manualmente y con algunas herramientas automatizadas, pero éstas no cubren todas las expectativas ya que comúnmente requieren de pasos adicionales y, algunas veces, extensos, para lograr que la interceptación sea exitosa. Es por ello que el proyecto pretende reunir tanto técnicas manuales como automatizadas que sirvan como abanico de posibilidades para el pentester en una sola herramienta.

Palabras clave: Seguridad, Test de penetración, Interceptación, Burp Suite, Android .

Abstract

Dynamic analysis of mobile applications requires investing effort to web traffic inspection between the application and the server to find vulnerabilities and understand how the application flows work. To carry out this process, it must be taken into account that the applications are developed in different programming languages, with different frameworks, to work in several platforms, and also have certain protections to prevent an intermediary from intercepting that communication between the client and the server. It is at this point where pentesters face some obstacles that they must overcome manually and with automated tools, but these do not meet all expectations since they commonly require additional and sometimes extensive steps to achieve successful interception. That is why the project aims to bring together both manual and automated techniques that serve as a range of possibilities for the pentester in a single tool.

Keywords: Security, Pentesting, Interception, Burp Suite, Android.

Introducción

Entre los distintos ataques a las aplicaciones móviles, el proyecto se ha enfocado en uno en particular: es el ataque de tipo man-in-the-middle, que explota el hecho de que el servidor HTTPS envía un certificado con su clave pública al navegador web. Si este certificado no es confiable, toda la comunicación es vulnerable (Callegati et ál, 2009) ya que reemplaza el certificado original que autentica al servidor HTTPS servidor con un certificado modificado. El ataque tiene éxito si el usuario se niega a verificar el certificado cuando el navegador envía una notificación de advertencia. Todo esto corresponde al tipo de análisis activo, en donde el investigador intercepta activamente toda la comunicación de red, pudiendo analizar, interactuar, modificar los datos en ese preciso instante. Aquí se utiliza generalmente un proxy web y todas las llamadas hechas y recibidas por la aplicación y el servidor pasan a través del mismo (Gupta, 2023).

El presente proyecto hace hincapié en facilitar mediante una sola herramienta, las técnicas de análisis activo de red, que bien pueden servir para un análisis pasivo.

Desarrollo

Después de una categorización profunda de las técnicas y herramientas actuales (Gibellini et ál, 2023), se ha decidido la incorporación de las siguientes técnicas y herramientas que presentan las siguientes particularidades:

- BurpSuite requiere de la descarga del certificado desde su propia interfaz, la modificación de la extensión de dicho certificado, y la posterior instalación manual en el dispositivo (PortSwigger, s.f.).
- Frida: implica la instalación manual y ejecución de un agente en dispositivo rooteado, y luego correr el script para saltar la protección de SSL pinning. Esta herramienta posee cobertura respecto al agente servidor, en dispositivos rooteados únicamente. Para dispositivos no rooteados, posee cobertura únicamente a través de la inyección de un gadget en la aplicación objetivo. Funciona tanto en iOS como en Android (Frida, s.f.).
- Objection: requiere modificar la aplicación, generar otra a la que se le inyecta un gadget de Frida, e instalarla en el dispositivo. Funciona con dispositivos rooteados o no rooteados. Posee cobertura tanto en Android como iOS (SensePost, s.f.).

- reFlutter: también implica modificar la aplicación original para generar otra, y además el puerto de proxy ya viene determinado, por lo cual deberá configurar el proxy en escucha en el mismo puerto que indica reFlutter, y en el dispositivo móvil también. Su cobertura abarca dispositivos rooteados y no rooteados (PtSwarm, s.f.).
- patch-apk: script de unificación de splits de apk, requiere de Linux (NickstaDB, s.f.).

La ejecución de estas herramientas posee algunas carencias o fallas en Windows. Cabe destacar que las mismas son compatibles tanto con dispositivos móviles reales como con emuladores.

En el proyecto se ha desarrollado un menú integrado de herramientas como adb, apktool y objection, automatizando: obtención de apk desde el dispositivo; obtención e instalación del certificado de proxy en el dispositivo; decompilado de la aplicación; modificación de las configuraciones de seguridad en el archivo network_security_config.xml; compilación y firma de la aplicación modificada, instalación de la aplicación modificada en el dispositivo; interacción con objection para conectar con la sesión en el dispositivo.

La arquitectura del proyecto fue planteada como observamos en la Fig. 1:

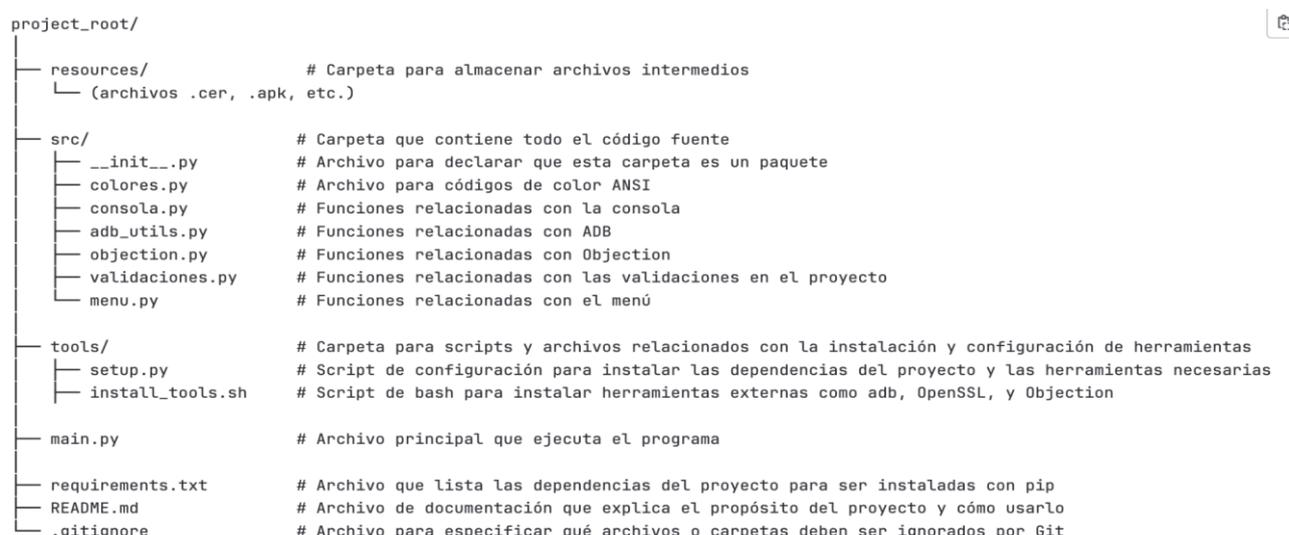


Figura 1. Arquitectura del proyecto.

Se avanzó en la detección del dispositivo Android conectado mediante USB debugging, determinando si es root o no root. Se ofrece el siguiente menú, que agrupa en cada opción otro abanico de posibilidades para poder interactuar con los paquetes de apk y las integraciones (Fig. 2):



Figura 2. Menú de la herramienta.

Respecto a la gestión de certificados, las opciones en las que se avanzó mayormente se refieren a:

- Opción 1: almacenar un certificado (.der) directamente en el dispositivo.
- Opción 2: verificar y/o eliminar certificados instalados en el dispositivo móvil.
- Opción 3: facilita la configuración del proxy, en este caso BurpSuite, de manera fácil y rápida, ya sea un solo dispositivo o en múltiples dispositivos conectados.

Se dispone de la opción de “Gestión de APK”, la cual permite realizar diversas acciones con las APK:

- Opción 1: Permite instalar una APK en uno de los dispositivos seleccionados.
- Opción 2: A partir de esta opción se listan todas las APK instaladas en el dispositivo, y luego se permite seleccionar aquella que se quiera descargar.
- Opción 3: Permite eliminar una APK que se encuentre instalada en el dispositivo.

Se incorpora también la posibilidad de detectar si existen splits en el dispositivo, para luego poder unificarlos mediante la herramienta *patch-apk* (Fig. 3):

```
Getting APK path(s) for package: com.mercadolibre
[+] APK path: /data/app/---hQeru_93scJGxBn67yAWkQ==/com.mercadolibre-zaTWNRFiMCZZyy9vmK-8IQ==/base.apk
[+] APK path: /data/app/---hQeru_93scJGxBn67yAWkQ==/com.mercadolibre-zaTWNRFiMCZZyy9vmK-8IQ==/split_config.arm64_v8a.apk
[+] APK path: /data/app/---hQeru_93scJGxBn67yAWkQ==/com.mercadolibre-zaTWNRFiMCZZyy9vmK-8IQ==/split_config.xxhdpi.apk

Pulling APK file(s) from device.
[+] Pulling: com.mercadolibre-base.apk
--disable-styles-hack[+] Pulling: com.mercadolibre-split_config.arm64_v8a.apk
[+] Pulling: com.mercadolibre-split_config.xxhdpi.apk

App bundle/split APK detected, rebuilding as a single APK.

Extracting individual APKs with apktool.
[+] Extracting: /var/folders/6j/v7lp2kd52bn4z0tkkdwv9_c0000gn/T/tmpyfxshh9i/com.mercadolibre-base.apk
[+] Extracting: /var/folders/6j/v7lp2kd52bn4z0tkkdwv9_c0000gn/T/tmpyfxshh9i/com.mercadolibre-split_config.arm64_v8a.apk
[+] Extracting: /var/folders/6j/v7lp2kd52bn4z0tkkdwv9_c0000gn/T/tmpyfxshh9i/com.mercadolibre-split_config.xxhdpi.apk

Copying files and directories from split APKs into base APK.
```

Figura 3. Detección de splits y unificación.

Finalmente, se obtiene un solo archivo apk con el cual se facilita el trabajo de intercepción de tráfico posterior.

Además, se ha incorporado la herramienta *objection* para inyección del gadget de *Frida* que permite la interacción entre comandos Linux y la propia aplicación, pudiendo no sólo romper el mecanismo de SSL pinning, sino también interceptar las funciones del código de la APK en tiempo de ejecución.

Frida ha sido una de las mejores incorporaciones para este proyecto, ya que su compatibilidad con las plataformas y dispositivos permite al investigador desarrollar diversos scripts que luego se ejecutarán para manipular las aplicaciones. El script más utilizado por su efectividad es llamado “*frida_multiple_unpinning.js*”. Cubre diferentes funciones posiblemente utilizadas por los desarrolladores para proteger el tráfico de la aplicación, pero con este script se busca deshabilitarlas. Al incorporar Frida y objection como herramientas base de nuestro proyecto, el investigador solamente debe decidir cuál desea utilizar, y se ejecutará dicho requerimiento sin necesidad de realizar configuraciones extras.

Ejemplo del script “*frida_multiple_unpinning.js*” (Fig. 4):

```
[#] Android Bypass for various Certificate Pinning methods [#]
[~] OkHttpV3 {2} pinner not found
[~] Trustkit {1} pinner not found
[~] Trustkit {2} pinner not found
[~] Trustkit {3} pinner not found
[~] Appcelerator PinningTrustManager pinner not found
[~] Fabric PinningTrustManager pinner not found
[~] OpenSSLSocketImpl Conscrypt {1} pinner not found
[~] OpenSSLSocketImpl Conscrypt {2} pinner not found
[~] OpenSSLEngineSocketImpl Conscrypt pinner not found
[~] OpenSSLSocketImpl Apache Harmony pinner not found
[~] PhoneGap sslCertificateChecker pinner not found
[~] IBM MobileFirst pinTrustedCertificatePublicKey {1} pinner not found
[~] IBM MobileFirst pinTrustedCertificatePublicKey {2} pinner not found
[~] IBM WorkLight HostNameVerifierWithCertificatePinning {1} pinner not found
[~] IBM WorkLight HostNameVerifierWithCertificatePinning {2} pinner not found
[~] IBM WorkLight HostNameVerifierWithCertificatePinning {3} pinner not found
[~] IBM WorkLight HostNameVerifierWithCertificatePinning {4} pinner not found
[~] Conscrypt CertPinManager (Legacy) pinner not found
[~] CWAC-Netsecurity CertPinManager pinner not found
[~] Worklight Androidgap WLCertificatePinningPlugin pinner not found
[~] Netty FingerprintTrustManagerFactory pinner not found
[~] Squareup CertificatePinner {1} pinner not found
[~] Squareup CertificatePinner {2} pinner not found
[~] Squareup OkHostnameVerifier check not found
[~] Squareup OkHostnameVerifier check not found
[~] Android WebViewClient {2} check not found
[~] Apache Cordova WebViewClient check not found
[~] Boye AbstractVerifier check not found
[~] Apache AbstractVerifier check not found
[~] Chromium Cronet pinner not found
[~] Flutter HttpCertificatePinning pinner not found
[~] Flutter SslPinningPlugin pinner not found
[+] Bypassing TrustManagerImpl (Android > 7) checkTrustedRecursive check: api.
[+] Bypassing TrustManagerImpl (Android > 7) checkTrustedRecursive check: api.
```

Figura 4. Chequeo de presencia de métodos de SSL pinning.

Notar que las dos últimas líneas hacen referencia al método encontrado y que luego es deshabilitado para interceptación del dominio en la aplicación. El investigador, posterior a este paso, únicamente debe seguir interactuando con la aplicación e interceptando el tráfico en un web proxy (BurpSuite) sin inconvenientes, logrando así el objetivo del proyecto.

Conclusiones

Como se ha mencionado se pretende crear una herramienta multiplataforma, es decir que funcione tanto en sistemas operativos Windows (WSL) y Linux/GNU, por lo que seguir con Python ha sido la mejor opción. Por otro lado, se habían realizado búsquedas y estudios sobre aplicaciones iOS, pero se decidió realizar un enfoque sobre aplicaciones en Android, ya que se requiere la utilización de recursos de los cuales no se dispone en el proyecto, como la adquisición de un dispositivo iOS. Sin embargo, varias de las herramientas incorporadas en el proyecto ya brindan soporte para interceptación de tráfico en iOS, por lo que, de alguna manera, las aplicaciones para dicha plataforma quedan cubiertas.

La primera versión de este framework es capaz de automatizar las tareas que permitan interceptar una comunicación entre una aplicación móvil y su servidor, mediante Frida y objection. Posteriormente se avanzará sobre reFlutter. El foco actual del equipo de desarrollo está puesto en mejoras de la detección de dispositivos, condiciones de la aplicación instalada, y mejoras en el script de instalación de componentes de acuerdo al kernel de Linux, de manera tal que también el proyecto funcione en WSL (Windows).

En resumen, la herramienta refleja un abanico de posibilidades para el investigador, facilitando su tarea y evitando inversiones de tiempo extra de instalación de herramientas por separado, configuraciones y corrección manual de errores en cada técnica que suele aplicar.

Referencias

Callegati, F., Ceroni, W., & Ramilli, M. (2009). Man-in-the-middle attack to the HTTPS protocol. *IEEE Security & Privacy*, 7(1), 78-81. <https://doi.org/10.1109/MSP.2009.12>

Frida. (s.f.). FRIDA - Dynamic instrumentation toolkit for developers, reverse-engineers, and security researchers. Recuperado el 19 de abril de 2024, de <https://frida.re/>

Gibellini, F., Ciceri, L., Notreni, J., Parisi, G., Ruhl, A., Zea Cardenas, N., Auquer, M., Barrionuevo, I., Bertola, F., Quinteros, S., & Sanchez Balzaretti, I. (2023). Intercepción de tráfico en aplicaciones móviles. Memorias de las JAIIO, 9(8), 52-52. Recuperado de <https://publicaciones.sadio.org.ar/index.php/JAIIO/article/view/756>

Gupta, A. (2023). Learning pentesting for Android devices. Packt Publishing.

NickstaDB. (s.f.). patch-apk - App Bundle/Split APK Aware Patcher for Objection. Recuperado el 19 de abril de 2024, de <https://github.com/NickstaDB/patch-apk>

PortSwigger. (s.f.). Burp Suite Community Edition. Recuperado el 19 de abril de 2024, de <https://portswigger.net/burp/communitydownload>

PtSwarm. (s.f.). ReFlutter. Recuperado el 19 de abril de 2024, de <https://github.com/ptswarm/reFlutter>

SensePost. (s.f.). Objection - Runtime Mobile Exploration. Recuperado el 19 de abril de 2024, de <https://github.com/sensepost/objection>

La Perspectiva Social de la Sostenibilidad del Software

The Social Perspective of Software Sustainability

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Rosana Leo

Departamento de Informática – Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas y Naturales – Universidad Nacional de San Luis
leorosana@gmail.com

Carlos Salgado

Departamento de Informática – Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas y Naturales – Universidad Nacional de San Luis
csalgado@unsl.edu.ar

Mario Peralta

Departamento de Informática – Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas y Naturales – Universidad Nacional de San Luis
mperalta@unsl.edu.ar

Alberto Sanchez

Departamento de Informática – Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas y Naturales – Universidad Nacional de San Luis
alfanego@unsl.edu.ar

Luis Roqué Fourcade

Departamento de Informática – Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas y Naturales – Universidad Nacional de San Luis
araroq@unsl.edu.ar

Javier Saldarini

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina
saldarinijavier@gmail.com

Claudio Carrizo

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina
cjcarrizo77@gmail.com

Resumen

En la actualidad, en la mayoría de las actividades, los sistemas se informatizaron, esto deriva en la necesidad de que el software reúna ciertos criterios de calidad que permitan satisfacer las necesidades de los usuarios. Si hablamos de satisfacer necesidades, es importante considerar a la Sostenibilidad, que se refiere a la satisfacción de necesidades actuales sin comprometer los recursos y posibilidades de las futuras generaciones, garantizando el equilibrio entre el crecimiento económico, el medio ambiente y el bienestar social.

Dentro del proyecto de investigación “Ingeniería de Software: Estrategias de Desarrollo, Mantenimiento y Migración de Sistemas en la Nube”, en el Laboratorio de Calidad en Ingeniería del Software de la UNSL, se trabaja sobre métricas, indicadores, modelos y métodos de evaluación de calidad. En este contexto, se definió un modelo de calidad del software basado en la Norma ISO 25010, donde se incorpora a la sostenibilidad como característica transversal al mismo.

Tomando como referencia los Objetivos de Desarrollo Sostenible definidos por las Naciones Unidas y las métricas de las características del modelo más relevantes a la perspectiva social de la sostenibilidad, se definieron indicadores que permitirán evaluar la contribución del software a la Equidad, la Diversidad y la Inclusión (EDI), teniendo en cuenta que esto representa un desafío por ser una de las dimensiones menos estudiada y más difícil de medir por la complejidad de los indicadores.

Palabras clave: Modelo de Calidad, Sostenibilidad Social, ODS, indicadores

Abstract

Nowadays, in most activities, systems have been computerized, which leads to the need for software to meet certain quality criteria that allow it to satisfy the needs of users. If we talk about satisfying needs, it is important to consider Sustainability, which refers to the satisfaction of current needs without compromising the resources and possibilities of future generations, guaranteeing the balance between economic growth, the environment and social well-being.

Within the research project "Software Engineering: Strategies for Development, Maintenance and Migration of Systems in the Cloud", in the Software Engineering Quality Laboratory of the UNSL, work is being done on metrics, indicators, models and quality evaluation methods; a software quality model was defined based on the ISO 25010 Standard, where sustainability is incorporated as a transversal characteristic.

Taking as a reference the Sustainable Development Goals defined by the United Nations and the metrics of the most relevant model characteristics to the social perspective of sustainability, indicators were defined that will allow evaluating the software's contribution to Equity, Diversity and Inclusion (EDI), taking into account that this represents a challenge as it is one of the least studied dimensions and the most difficult to measure due to the complexity of the indicators.

Keywords: Quality Model, Social Sustainability, SDG, indicators

Introducción

Los avances tecnológicos posibilitaron la informatización de los procesos de gestión mediante el software, el cual se complejiza cada vez más, requiriendo cumplir con criterios de calidad para satisfacer necesidades de los usuarios. La calidad del software y la sostenibilidad están muy relacionadas, toda vez que implica no solo considerar aspectos técnicos sino también impactos económicos, ambientales y sociales a lo largo del ciclo de vida del software.

Se han propuesto modelos o estándares para asegurar la calidad del software mediante la gestión de atributos en el proceso de construcción, debido a que la concordancia con los requisitos son base de las medidas de calidad establecidas (Callejas Cuervo, Alarcón Aldana, & Álvarez Carreño, 2017). De esta manera, la calidad se convierte en algo concreto ya que se puede planificar, definir y medir.

La sostenibilidad, en este contexto, se refiere a la capacidad de un software / sistema de mantenerse funcional, relevante y útil en el tiempo, sin comprometer la capacidad de futuras generaciones de satisfacer sus necesidades. Se puede analizar desde sus tres dimensiones:

- Ambiental: implica minimizar el impacto ambiental durante el desarrollo, despliegue y operación del software. Esto es, eficiencia energética, reducción de la huella de carbono, gestión de residuos electrónicos (Por ejemplo, optimizar el código para consumir menos energía en servidores y dispositivos).
- Económica: tiene que ver con la factibilidad económica del software a largo plazo. (Por ejemplo, reducción de costos de mantenimiento, facilidad de actualización).
- Social: Cómo contribuye el software al bienestar social, teniendo en cuenta su accesibilidad, equidad, diversidad e inclusión (EDI). El software debe ser inclusivo para promover la justicia social.

La sostenibilidad en el Software

La literatura en general coincide que *Calidad* es el cumplimiento y/o grado de satisfacción de requisitos tanto explícitos como implícitos. La especificación y evaluación de la calidad son importantes para garantizar el valor a todas las partes interesadas del producto software. Para ello se definen características de calidad asociadas con metas y objetivos del sistema, las cuales deben especificarse, medirse y evaluarse mediante métodos de medición validados o ampliamente aceptados.

La Norma Internacional ISO/IEC 25010:2011 (ISO, 2011), de la serie SQUARE, presenta modelos de calidad interna, externa y en uso, para el producto software; define características y subcaracterísticas de calidad a tener en cuenta al momento de la evaluación.

Tomando esa referencia se propuso un modelo que incorpora a la sostenibilidad como característica transversal al mismo, no como una propiedad aislada, sino inmersa en todo el modelo. Según uno de los principios del manifiesto de Karlskrona (Becker, 2015), donde surge y se define el término sostenibilidad, ésta tiene múltiples dimensiones: ambiental, económica, técnica y social y según estas perspectivas se podrán evaluar características del modelo teniendo en cuenta criterios de sostenibilidad.

En el marco del proyecto de investigación “Ingeniería de Software: Estrategias de Desarrollo, Mantenimiento y Migración de Sistemas en la Nube” y más precisamente en el contexto del Laboratorio de Calidad en Ingeniería del Software (Lacis) de la Universidad Nacional de San Luis, se está trabajando en lo que refiere a Modelos y Métodos de evaluación de Calidad, Métricas e Indicadores. En este caso, profundizando en el estudio y análisis de la dimensión social de la sostenibilidad del software, en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible fue aprobada en septiembre de 2015 en la 70° Cumbre Del Desarrollo Sostenible en la Asamblea General de las Naciones Unidas. Se aprobó el documento “Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible”. Posee 17 objetivos de desarrollo sostenible (ODS) y 169 metas para aplicarse universalmente. Tomando la premisa del mandato de la Agenda: “*No dejar a nadie atrás*”, se analizó de qué manera los conceptos de Equidad, Diversidad e Inclusión se relacionan con algunos de los ODS. Las relaciones más relevantes se encontraron en:

ODS 1: Fin de la Pobreza. La equidad garantiza el acceso a oportunidades económicas, recursos y servicios básicos a todas las personas independientemente de su origen o circunstancias. La diversidad y la inclusión aseguran que las políticas de reducción de la pobreza beneficien a todos los grupos sociales, incluyendo minorías y personas en situación vulnerable.

ODS 4: Educación de Calidad. La equidad y la inclusión promueven la educación de calidad para todos, independientemente de género, raza, otras capacidades o situación socioeconómica. La diversidad, reconoce y valora diferentes formas de aprendizaje y cultura.

ODS 5: Igualdad de Género. Relacionado con la equidad, busca eliminar toda discriminación contra mujeres y niñas. Promueve la inclusión y diversidad de género en todos los ámbitos.

ODS 8: Trabajo Decente y Crecimiento Económico. Equidad en el trabajo es asegurar oportunidades laborales justas y acceso a empleos de calidad para todos. La diversidad y la inclusión fomenta que todas las personas puedan prosperar.

ODS 10: Reducción de las Desigualdades. Promueve la equidad en el acceso a recursos y oportunidades, dentro y entre los países. La diversidad e inclusión garantizan que se consideren, en las políticas y programas, las necesidades de todas las personas.

ODS 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles. Promueve las ciudades inclusivas que ofrezcan igualdad de acceso a servicios básicos, transporte y oportunidades de empleo. La equidad y la inclusión aseguran que hasta los residentes más vulnerables se beneficien de un desarrollo urbano sostenible y resiliente.

Por lo antes mencionado se concluye que los principios de Equidad, Diversidad e Inclusión aseguran que el progreso hacia el desarrollo sostenible sea inclusivo y justo, beneficiando a todas las personas y respetando diferencias culturales y diversas identidades.

A continuación, en Tabla 1, se detallan características del modelo propuesto más relevantes respecto de la perspectiva social de la sostenibilidad del software.

Tabla 1. Características del modelo.

Característica	Subcaracterística	Métrica	Propósito
USABILIDAD	SATISFACCION DEL USUARIO	Calificación de satisfacción	Medir la satisfacción de los usuarios con la interfaz
	ACCESIBILIDAD	Facilidad de acceso al sistema	Conocer la accesibilidad al sitio de personas con otras capacidades
MANTENIBILIDAD	CAPACIDAD DE SER MODIFICADO	Tiempo de implementación	Tiempo promedio necesario para implementar cambios que mejoren la inclusión y accesibilidad
PORTABILIDAD	COMPATIBILIDAD	Compatibilidad Multiplataforma	Conocer si el sistema funciona en diferentes plataformas de software
	REQUISITOS DE SISTEMA	Requisitos mínimos	Conocer las especificaciones mínimas de hardware y software para la ejecución del sistema
SEGURIDAD	CONFIDENCIALIDAD	Incidentes de Seguridad	Conocer si hubo incidentes de seguridad relacionados con la privacidad de los datos
	TRANSPARENCIA	Políticas de Seguridad	Evaluar la claridad de las políticas de privacidad y manejo de datos

Actualmente se está trabajando en la definición de Indicadores que permitan evaluar y monitorear cómo se está desempeñando el software en términos de equidad, diversidad e inclusión. Por ejemplo, respecto de las características de la Tabla 2.

Tabla 2. Características, métricas, indicadores.

Característica	Subcaracterística	Métrica	Indicador	Cálculo	Propósito
USABILIDAD	SATISFACCION DEL USUARIO	Calificación de satisfacción	Promedio de Calificación de satisfacción de usuario	$PCS = \frac{\sum \text{Calificación de Satisfacción}}{\text{Número de Usuarios encuestados}}$	Medir la satisfacción de los usuarios con la interfaz
	ACCESIBILIDAD	Facilidad de acceso al sistema	Tasa de éxito en acceso al sistema	$TEAS = \left[\frac{\text{Número de usuarios que completaron acceso}}{\text{Número Total de Usuarios que intentaron}} \right] \times 100\%$	Conocer la accesibilidad al sitio de personas con otras capacidades
MANTENIBILIDAD	CAPACIDAD DE SER MODIFICADO	Tiempo de implementación	Tiempo promedio de implementación de Cambios	$TPIC = \frac{\sum \text{Tiempo de implementación de cada cambio}}{\text{Número total de cambios realizados}}$	Tiempo promedio necesario para implementar cambios que mejoren la inclusión y accesibilidad

Se analizaron algunos sistemas de la Gestión Pública como, por ejemplo, el Sistema de Proveedores y Contratistas del Estado y en este caso específicamente el grado de equidad e inclusión que posibilite a los ciudadanos que así lo quisieren, la inscripción en el Registro para comercializar con el Estado.

El indicador “Promedio de calificación de satisfacción de usuario”, se calcula con las calificaciones obtenidas a través de encuestas o cuestionarios y podrán medirse mediante una escala del 1 al 5, donde 1 es “Muy Insatisfecho” y 5 es “Muy Satisfecho”. Esto nos permitirá realizar un seguimiento a fin de identificar tendencias, problemas y oportunidades de mejora en la interfaz y apariencia del software.

El indicador definido para la subcaracterística Accesibilidad, “Tasa de éxito en acceso al sistema”, mide el porcentaje de usuarios que completaron sin problemas el acceso al sistema. Un porcentaje alto nos indica que la mayoría pudo acceder y usar el sistema y un porcentaje bajo advierte problemas de accesibilidad que necesitan ser atendidos. En este caso y no solo refiriéndonos a usuarios con alguna discapacidad, sino incluso con alguna característica distintiva respecto del nivel de estudios, solvencia económica, etc., se analizaron las medidas que arrojan las métricas de “Visitas”, ya sean las simples visitas exploratorias o aquellas que derivaron en alguna gestión o cumplimiento de un trámite. En el año 2022, de un total de 703 ingresos, 504 derivaron en trámites cumplidos. Ante esa situación, con equipos interdisciplinarios de la repartición se infiere que era necesario profundizar en tareas que mejoren la comprensibilidad del sistema. Mediante mejoras del software y tutoriales y ayudas en línea puestos a disposición de los usuarios, en el año 2023 de un total de 735 visitas, 590 consiguieron finalizar un trámite.

Respecto del indicador asociado a la característica de mantenibilidad, “Tiempo promedio de implementación de cambios”, nos permite monitorear la capacidad del equipo para responder a necesidades de accesibilidad e inclusión. Un menor tiempo promedio nos indica que se trata de un software mantenible y que, eficiente y rápidamente, se pueden realizar mejoras. Por el contrario, un tiempo promedio elevado indica dificultades.

Por lo antes expuesto, queda en evidencia la importancia de contar con los indicadores que permitan obtener una visión integral del desempeño del software a fin de evaluar y monitorear desde diferentes perspectivas en busca de satisfacer las necesidades de los usuarios a través de la mejora continua del software.

Conclusiones

Acorde a la tendencia actual en los distintos ámbitos de la sociedad, y teniendo presente la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, el desarrollo de software, no queda exento de esta tendencia. Por ello, se propone un modelo de calidad considerando como característica transversal la sostenibilidad, lo que permitirá mejorar el impacto del producto software sobre el medioambiente. El modelo propuesto se basa en las características de la Norma ISO/IEC 25010, considerando sus atributos más relevantes respecto de las dimensiones ambiental, económica, técnica y social. Dicha característica, se encuentra inmersa en la evaluación a través de criterios sostenibles dependiendo de las particularidades y objetivos del software.

En particular, en esta etapa de nuestra investigación, se está trabajando en la dimensión social de la sostenibilidad, y cómo el software influye en ella; lo que significa un importante aporte, ya que de esta manera se asegura el cumplimiento de estándares técnicos, y se contribuye a los principios de EDI, ampliando la calidad del software a dimensiones sociales que reflejarán valores de una sociedad más justa y sostenible.

Analizar las características del modelo de calidad desde una perspectiva social permitirá que el software asegure la accesibilidad, mantenibilidad, portabilidad y seguridad a fin de mejorar la experiencia de las personas que interactúan con él, adaptarse a nuevas demandas sociales y alinearse con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Para lograr nuestro objetivo, se definieron indicadores que permiten evaluar desde esta perspectiva la satisfacción de usuario, la accesibilidad, la mantenibilidad del software, entre otras características. Esto nos permitirá realizar un seguimiento a fin de identificar tendencias, problemas y oportunidades de mejora en la interfaz y apariencia del software. Además, nos brinda una herramienta que nos permite monitorear la capacidad del equipo para responder a necesidades de accesibilidad e inclusión.

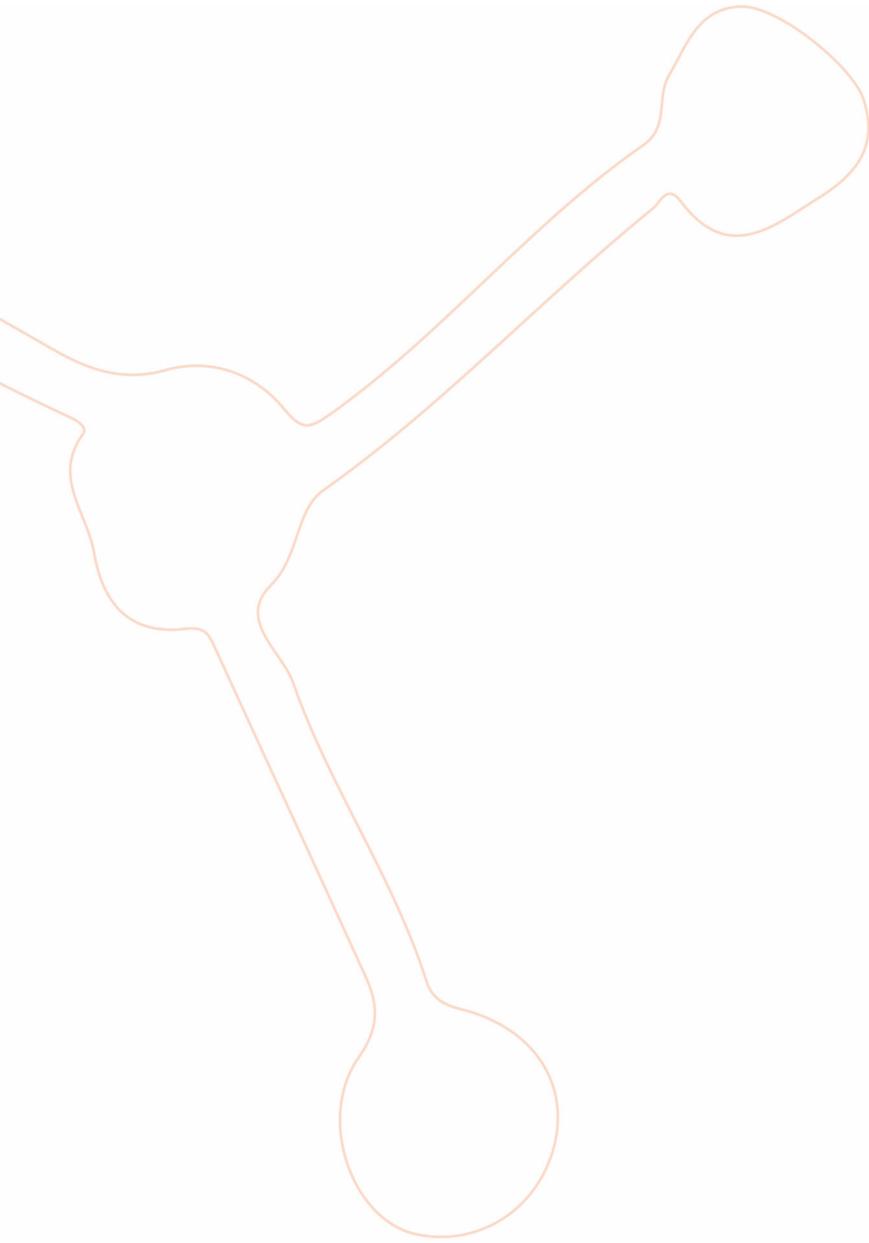
Como continuidad de la línea investigación se está trabajando en la aplicación del modelo propuesto en otros sistemas de la administración pública, de manera de establecer el grado de sostenibilidad de dichos sistemas aportando a la intensión del estado de convertir toda la gestión, y en particular sus sistemas de administración, en una gestión sostenible, y determinando el grado en que dicha sostenibilidad afecta la perspectiva social de los usuarios de estos sistemas.

Referencias

Becker, C. (2015). Manifiesto Karlskrona. Sustainability design and software.

Callejas Cuervo, M., Alarcón Aldana, A. C., & Álvarez Carreño, A. M. (2017). Modelos de calidad del software, un estado del arte. En: Entramado. 13, no. 1, 236-250. doi: <http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2017v13n1.25125>

ISO. (2011). ISO/IEC 25010:2011 Systems and software engineering -- Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) -- System and software quality models.



Licenciatura en Administración Rural



Análisis de expectativas agropecuarias en la zona centro del país 2024

Analysis of agricultural expectations in the central zone of the country 2024

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Raúl Marlatto

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Ingeniería Química, Argentina
raulmarlatto@gmail.com

Juan P. Bono

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Ingeniería en Sistemas de la Información, Argentina
juanpablobono@gmail.com

Gustavo Bogleione

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Licenciatura en Administración Rural, Argentina
aguscellatto@gmail.com

Luis Ariel Morano

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Licenciatura en Administración Rural, Argentina
lmorano@facultad.sanfrancisco.utn.edu.ar

García Javier Alberto

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Licenciatura en Administración Rural, Argentina
jgarcia@facultad.sanfrancisco.utn.edu.ar

Kamil Maggi

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Licenciatura en Administración Rural, Argentina
kami_maggi@hotmail.com

Agustina Scellatto

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Licenciatura en Administración Rural, Argentina
aguscellatto@gmail.com

Resumen

El Índice de Confianza Empresarial Agropecuario (ICE Agro) de la Universidad Tecnológica Nacional es un indicador innovador que mide la percepción y expectativas de empresarios del sector agropecuario en una región del país, minimizando la incertidumbre que enfrentan las empresas en decisiones de inversión y expansión. Este índice se enfoca en el análisis y la recopilación de datos a través de encuestas y estudios semestrales a productores, evaluando tanto la situación actual como las proyecciones futuras del sector en aspectos como producción, rentabilidad, inversiones y tamaño. Los resultados se presentan en una escala numérica, donde valores superiores a 50 indican optimismo y confianza, mientras que valores inferiores sugieren pesimismo. El ICE Agro se convierte así en una herramienta valiosa para la toma de decisiones empresariales, el análisis económico del sector agropecuario y la formulación de políticas públicas. La última encuesta muestra resultados que superan el punto de indiferencia, sugiriendo expectativas de crecimiento e inversión en el sector.

Palabras clave: Expectativas. Índice. Confianza Empresarial. Agropecuario.

Abstract

The Agricultural Business Confidence Index (ICE Agro) of the Universidad Tecnológica Nacional is an innovative indicator that measures the perception and expectations of entrepreneurs in the agricultural sector in a region of the country, minimizing the uncertainty that companies face in investment and

expansion decisions. This index focuses on the analysis and collection of data through semiannual surveys and studies of producers, evaluating both the current situation and future projections of the sector in aspects such as production, profitability, investments and size. The results are presented on a numerical scale, where values above 50 indicate optimism and confidence, while values below suggest pessimism. The ICE Agro thus becomes a valuable tool for business decision-making, economic analysis of the agricultural sector and the formulation of public policies. The latest survey shows results that exceed the point of indifference, suggesting expectations of growth and investment in the sector.

Keywords: Expectations. Index. Business Confidence. Agriculture.

Introducción

El interés en la evolución de la economía a corto plazo es considerado de relevancia tanto para los expertos en la materia como para el público en general. Diversos indicadores son utilizados alrededor del mundo con el objetivo de predecir dicha evolución. Para la obtención de estos indicadores, se emplean distintas estrategias, algunas de carácter más objetivo y otras más subjetivo. Entre las estrategias subjetivas, se considera que la percepción de los empresarios sobre la situación actual y futura de sus empresas y del sector en el que operan es vista como una forma indirecta de predecir la marcha de la economía, lo que se conoce como "índice de confianza empresarial". Un ejemplo es el Índice de Confianza Empresarial PyME (Fundación Observatorio PyME, 2007). El Índice de Confianza Empresarial Agropecuario (ICE Agro) es comprendido como una medida del "humor empresarial", el cual se asume que influye en las decisiones de producción e inversión a corto y mediano plazo, reflejando la situación económica. La falta de este índice en el sector agropecuario del interior del país ha sido identificada como un problema significativo. Se considera que las percepciones empresariales sobre la situación actual y las expectativas de las empresas y del país juegan un papel crucial en las decisiones económicas, particularmente en relación con el consumo y la inversión.

La anticipación de la marcha de la economía mediante índices de confianza es una práctica observada a nivel mundial. El índice IFO en Alemania, que consulta mensualmente a más de 7000 empresarios, y el índice Tankan de Japón, que encuesta trimestralmente a más de 8000 empresas, son algunos de los más reconocidos. En Argentina, aunque los índices de confianza se aplican en todos los sectores de la economía, en el sector agropecuario su desarrollo ha sido limitado (Fusco et al., 2017). En Argentina, se ha señalado que solo la Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola (AACREA) mide, desde 2012, el Índice de Confianza del Empresario Agropecuario (ICEA). Anteriormente, el INTA, a través del Instituto de Estudios Sociales, publicó en 2017 el Índice de Confianza del Sector Agropecuario (ICS Agro) con mediciones bimestrales, aunque fue discontinuado dos años después. En 2018, la Universidad Austral comenzó a medir el Ag Barometer. Se destaca la importancia de desarrollar más indicadores que evalúen la situación del sector agropecuario en el interior del país.

A pesar de la relevancia del sector agropecuario en la economía nacional, pocas organizaciones obtienen este índice. Según el Censo Nacional Agropecuario de 2018 (INDEC, 2023), existen en Argentina 236 601 explotaciones agropecuarias con 162 millones de hectáreas dedicadas a este fin. Este sector produjo, en 2017, importantes volúmenes de granos, carnes, leche y otros productos, por un 9 % del Producto Bruto Interno (PBI) del país. Las exportaciones agroalimentarias sumaron el 64 % del total de divisas generadas por el país. En el caso de la provincia de Córdoba, en 2013, se registró una contribución total (directa e indirecta) de la ganadería y agricultura al valor bruto de producción del 18,6 % (IERAL, 2015). En la región de estudio, el departamento San Justo (Córdoba) y el Castellanos (Santa Fe), se identificaron las dos actividades primarias más importantes: producción agrícola y producción lechera. Este estudio exploratorio, basado en datos obtenidos por la Licenciatura en Administración Rural (LAR) de la UTN, proporciona una visión regional sobre cómo las expectativas y percepciones influyen en el comportamiento económico del empresariado agropecuario de la región. La comprensión de estas expectativas es vista como fundamental para identificar las dinámicas del sector agropecuario en un contexto lleno de incertidumbre. Se llevará a cabo el seguimiento de tendencias del Índice de Confianza Empresarial (ICE) Agro, validando su consistencia con eventos económicos mediante la recolección de información relevante. Las mediciones semestrales proporcionarán una base sólida de tendencias, utilizando datos históricos, y se crearán gráficos para visualizar su evolución, resaltando los eventos económicos significativos. La correlación entre las variaciones del ICE Agro y dichos eventos será analizada, y los hallazgos serán comparados con estudios

previos para evaluar su coherencia con la teoría económica. Finalmente, se elaborará un informe con gráficos, análisis y recomendaciones basadas en los resultados obtenidos.

Desarrollo

Objetivo: Calcular semestralmente el Índice de Confianza de Empresarios Agropecuarios (ICE Agro) en la región de influencia de la Facultad Regional San Francisco, de la Universidad Tecnológica Nacional.

Materiales y Métodos: Existen varios planteos metodológicos en el mundo para la obtención de este índice. En Argentina, tanto el Consorcio Regional de Experimentación Agropecuaria (CREA) como el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) realizan sus mediciones basadas en la fórmula del Índice de Confianza Empresarial (ICE). La metodología aplicada en el análisis de los datos obtenidos en la investigación se desarrolla y utiliza como un proceso sistemático para estudiar las variables en consideración.

Encuestas: Las encuestas recogen de forma anónima y la recolección de datos en la población en estudio fue evaluada para la realización de las encuestas, utilizando información del Censo Nacional Agropecuario 2018 (INDEC, 2023). Se tomó un universo existente de 1800 empresarios en la zona encuestada y se recogieron las opiniones de los directores de los establecimientos sobre el desempeño de sus empresas, del sector y del país, comparando el año en curso con el año anterior y sus expectativas para el año entrante. Para las respuestas, se contemplaron tres posibilidades: positivas, neutras o negativas (optimistas, neutras y pesimistas). Las encuestas fueron realizadas a empresarios del agro sin diferenciar actividades ni tamaños, otorgando la misma importancia en el cálculo como unidad.

El relevamiento fue realizado a través de una encuesta, telefónica, presencial y electrónica, con preguntas cerradas de opciones múltiples, por muestreo multietápico, conforme a la base de teléfonos y contactos que gestiona el Grupo OEA de 468 empresarios. La selección de contactos totales dentro de la región se realiza mediante una selección sistemática al azar, con probabilidades de extracción proporcionales a los parámetros del diseño muestral.

Estructura del cuestionario: El relevamiento contiene trece preguntas para medir los objetivos del presente estudio, con la siguiente estructura: una pregunta de control sobre si el encuestado es productor agropecuario y su actividad, una pregunta del tamaño de la empresa, diez preguntas para la cuantificación del Índice de Confianza, y una pregunta para el seguimiento de temas su contacto para recibir la información procesada.

Detalle del Cálculo de los Indicadores: Tanto con las respuestas que indagan el sentir respecto al año anterior como con las del año entrante se construyen índices parciales según la siguiente fórmula: Índice parcial = $K(p - n + 1)$, donde la constante K se define como el valor de indiferencia entre una percepción de mejora y empeoramiento, con $K=50$. La fórmula también considera las proporciones de respuestas $p =$ proporción de respuestas que indican mejora sobre el total de encuestados y $n =$ proporción de respuestas que indican empeoramiento sobre el total de encuestados. Por lo que obtenemos dos indicadores parciales:

Índice de situación: Este índice refleja el balance de opiniones respecto al año que acaba de finalizar. Para cada una de las dimensiones que se indaga (empresa, sector y país), se calcula el saldo o diferencia entre el porcentaje de respuestas favorables y el de respuestas desfavorables, referidas al año que ha finalizado.

Índice de expectativas: Este índice releva las opiniones sobre las distintas dimensiones respecto al año entrante. Se calcula el saldo o diferencia entre el porcentaje de respuestas favorables y el de respuestas desfavorables, referidas al año que comienza. **Índice de Evaluación:** de acuerdo con la metodología establecida por INTA, una vez calculados los índices parciales, se procede a su ponderación y promediado usando los coeficientes definidos para cada caso. Se otorga un peso mayor al índice de expectativa, que mide la perspectiva futura, con un 70 % de relevancia, en contraste con el índice de situación, que evalúa el pasado y recibe un 30 %.

Este enfoque se justifica por varias razones: las expectativas sobre el futuro tienden a influir significativamente en las decisiones actuales, ya que una visión orientada al porvenir puede promover una actitud más proactiva. Además, se reconoce que el entorno económico y social está en constante cambio, y las personas suelen estar más motivadas por lo que anticipan que sucederá, en lugar de lo que ya ocurrió. En áreas como la economía, las proyecciones futuras son fundamentales para desarrollar escenarios y estrategias. Por lo tanto, se asigna un mayor peso al índice de expectativa, subrayando su papel decisivo en la interpretación del presente y en la planificación estratégica del futuro.

Con esta ponderación, se calcula el Índice de Evaluación, aplicable a tres dimensiones: “Empresa”, “Sector” y “País”: Siguiendo la metodología propuesta por INTA (Puechagut, 2017), una vez calculados cada uno de los índices parciales, se procede a su promediado con los ponderadores definidos en cada caso. Se considera que la perspectiva futura (índice de expectativa) tiene un mayor peso, asignándole un ponderador del 70 %, en comparación con la evaluación del pasado (índice de situación), que se pondera al 30 %,

Las razones del cálculo son las siguientes: se observa que las expectativas sobre el futuro suelen guiar las decisiones actuales. Se señala que, una fuerte orientación hacia el futuro, puede fomentar una actitud proactiva. Además, se reconoce que el entorno económico y social cambia constantemente. Se constata que las personas suelen estar más motivadas por lo que creen que está por venir que por lo que ya ha sucedido. En muchos campos, como la economía, se consideran esenciales las proyecciones futuras para modelar escenarios y estrategias. Esto resalta la importancia de tener en cuenta cómo se prevé que evolucionen las condiciones. Por estas razones, se asigna un mayor ponderador al índice de expectativa, reconociendo así su papel crítico en la interpretación de la situación actual y en la planificación del futuro.

A partir de esta ponderación, se obtiene el Índice de Evaluación, que se aplica a las tres dimensiones (Empresa, Sector y País). Por ejemplo, para la dimensión “Empresa”, Índice de Situación Empresa (ISE) = $50(p - n + 1)$; Índice de Expectativa Empresa (IExE) = $50(p - n + 1)$; Índice de Evaluación Empresa (IEE) = $0,3 ISE + 0,7 IExE$

Para obtener el Índice de inversión y escala, se aplica el índice de situación y expectativa ponderado en 30 % y 70 %. Por ejemplo, para la dimensión “inversión”, Índice de Situación Inversión (ISI) = $50(p - n + 1)$; Índice de Expectativa Inversión (IEI) = $50(p - n + 1)$; Índice de Inversión (IEinv) = $0,3 ISI + 0,7 IEI$. Para obtener el Índice de Evaluación de Inversión y Escala, que se pondera en 50 % el índice de Inversión y 50 % el Índice de Escala. Índice de Evaluación Inversión (IEinv) y Evaluación Escala (IEesc) es Promedio ponderado: (IEIE) = $0,5 IEinv + 0,5 IEesc$.

A su vez, las tres dimensiones son ponderadas en partes iguales (tienen el mismo peso) en la construcción del índice general ICE Agro: Índice de Confianza Empresarial Agro. Específicamente se define como el promedio entre los índices de evaluación para las cuatro dimensiones. Concretamente: $ICE\ Agro = \sum_{i=1}^n 1 \frac{1}{4}$ índices parciales; $ICE\ Agro = \alpha \text{ Índice E. País} + \beta \text{ Índice E. Sector} + \gamma \text{ Índice E. Empresa} + \delta \text{ Índice Inversión y Escala} \frac{1}{4}$, donde $(\alpha = \beta = \gamma = \delta) \frac{1}{4}$

La representatividad y el margen de error de las encuestas se determinan utilizando un tamaño de muestra de 82 empresas, tomadas dentro de un radio de 50 km, basadas en la información del Censo Agropecuario 2018 para los departamentos San Justo (Córdoba) y Castellanos (Santa Fe). Estas áreas están distribuidas al este de la provincia de Córdoba y en el centro de la provincia de Santa Fe.

Para un nivel de confianza del 95 % y un margen de error del 11 %, la muestra de 82 empresas es adecuada para representar la población total de explotaciones agropecuarias en los departamentos mencionados. Este tamaño de muestra permite obtener resultados que reflejan la realidad del sector con un alto grado de precisión y confiabilidad, adecuado para los fines exploratorios del presente estudio.

La fiabilidad Alfa de Cronbach de 0,743 nos indica una buena consistencia interna. lo que sugiere que los ítems del cuestionario están correlacionados entre sí de manera adecuada. Esto significa que los ítems están midiendo de manera coherente el mismo constructo o concepto.

La fiabilidad Alfa de Cronbach basada en elementos estandarizados de 0,806 es más alta que la primera, lo que sugiere que la consistencia interna es aún mejor cuando se consideran los ítems estandarizados. Los ítems estandarizados pueden proporcionar una visión más clara de la fiabilidad, ya que eliminan la influencia de las diferencias en la escala de medición de cada ítem. Un valor de 0,806 indica una excelente consistencia interna, valores que sugieren que el cuestionario tiene una buena fiabilidad, pero la versión estandarizada muestra una consistencia aún mayor, lo que la hace más robusta para medir el constructo en cuestión.

El análisis de la prueba estadística de chi cuadrado indica que no se encuentra una relación significativa entre el tamaño de la empresa, su actividad y las respuestas obtenidas. Al no proporcionar comprobación de la hipótesis nula, se infiere que las respuestas parecen ser aleatorias y no están influenciadas por las características de las empresas. Los valores entre 0,099 y 0,477 son indicativos de que la relación observada es débil, lo que refuerza la idea de que no existe un patrón claro. Esto puede ser atribuido a varios factores, como la calidad de los datos, el tamaño de la muestra o la variabilidad inherente en las respuestas. En conclusión, la falta de evidencia para rechazar la hipótesis nula sugiere que se debe considerar la realización de más mediciones y de mayor tamaño para obtener conclusiones más robustas.



Figura 1: Resultados de las encuestas del 1º semestre 2024 en la dimensión EMPRESA (Rentabilidad)

Situación: muestra que 31 % de los empresarios consideran que la rentabilidad de su negocio mejoró durante 2024, el 29 % tiene una opinión contraria, generando un Índice de situación de 50,6 puntos (Fig. 1).

Expectativas: 72 % de los empresarios prevé un 2025 favorable para su empresa, el 2 % se muestra pesimista ante su evolución, generando un Índice de expectativas de 84,8 puntos.

El índice de Evaluación: considerando los índices parciales anteriores, el Índice de Evaluación de la Empresa (IEE) arroja un valor de 74,5 puntos; marcando una confianza positiva superando en un 24,5 % el nivel de indiferencia.



Figura 2: Resultados de las encuestas del 1º semestre 2024 en la dimensión SECTOR

Situación: muestra que 38 % de los empresarios consideran que la rentabilidad de su negocio mejoró durante 2024, el 22 % tiene una opinión contraria, generando un Índice de situación de 57,9 puntos (Fig. 2).

Expectativas: 73 % de los empresarios prevé un 2025 favorable para su empresa, el 4 % se muestra pesimista ante su evolución, generando un Índice de expectativas de 84,4 puntos.

El índice de Evaluación: considerando los índices parciales anteriores, el Índice de Evaluación de la Empresa (IEE) arroja un valor de 76,7 puntos; marcando una confianza positiva al superar en un 26,7 % el nivel de indiferencia.



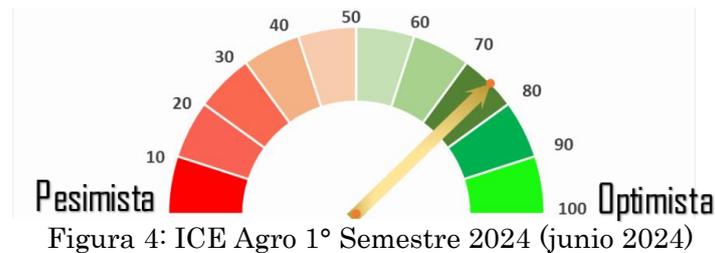
Figura 3: Resultados de las encuestas del 1º semestre 2024 en la dimensión PAÍS: índices

Situación: muestra que 52 % de los empresarios consideran que la economía del país mejoró durante 2024, el 20 % tiene una opinión contraria, generando un Índice de situación de 66,46 puntos (Fig. 3).

Expectativas: 83 % de los empresarios prevé un 2025 favorable para su empresa, el 5 % se muestra pesimista ante su evolución, generando un Índice de expectativas de 89 puntos.

El índice de Evaluación: considerando los índices parciales anteriores, el Índice de Evaluación de la Empresa (IEE) arroja un valor de 82,3 puntos; marcando una confianza positiva superando en un 32,3 % el nivel de indiferencia.

El Índice de Evaluación Inversión y Escala (IEIE) resultó en un valor de 68,2 puntos: $ICE\ Agro = (\alpha (IEP) + \beta (IES) + \gamma (IEE) + \delta (IEIE)) \frac{1}{4}$; $ICE\ Agro\ 1^a\ semestre\ 2024 = (82,3 + 76,7 + 74,5 + 68,2) \frac{1}{4}$; $ICE\ Agro\ Junio\ 2024 = 75,4$ (Fig. 4).



Conclusiones

Es sabido que el "humor empresarial" y la percepción de los empresarios sobre su situación actual y sus expectativas sobre la empresa y el país juegan un rol crucial en sus decisiones económicas: consumo e inversión. Sin embargo, no es posible afirmar con certeza qué eventos sociales, políticos o circunstancias micro y macroeconómicas provocan variaciones en sus percepciones. Las personas responden a pautas culturales según su condición psíquica y afectiva; Por ende, sus apreciaciones son únicas e irrepetibles, y es difícil asegurar y especular sobre los hechos o circunstancias que motivan las variaciones en el período analizado. Las mediciones semestrales del Índice de Confianza de Empresarios Agropecuarios (ICE Agro) de UTN San Francisco generan registros que permiten detectar patrones y anticipar cambios en la dinámica económica. Se observa que las percepciones de los empresarios indican opiniones levemente positivas sobre el último año. Asimismo, se destaca un mayor optimismo en las expectativas para las tres dimensiones: empresa, sector y país. Este incremento en la confianza se corresponde con otros índices similares de Argentina: el de Universidad Austral (Ag Barometer), de julio de 2024, reportó un aumento del 87 % en el último período, y el Índice de Confianza del Empresario Agropecuario de CREA registró 68 puntos en marzo de 2024. La medición actual del Índice de Confianza de Empresarios Agropecuarios (ICE Agro) de 75,4 puntos sugiere un clima empresarial alentador en el sector. Este resultado, 25,4 puntos por encima del umbral de indiferencia, indica un optimismo considerable sobre el futuro de los negocios agropecuarios. Además, este indicador permite anticipar tendencias en futuras mediciones y cambios en la dinámica del sector, lo que podría influir en decisiones estratégicas.

Referencias

Calzada, J. & Treboux, J. 2019. Importancia económica del sector agropecuario y agroindustrial en la Rep. Argentina. Informativo semanal de la Bolsa de Comercio de Rosario, Año 37, Ed. 1927.

Fundación Observatorio Pyme 2015. Índice de Confianza Empresaria PyME. Tercer Trimestre de 2015 y perspectivas para fin de año y 2016. ICEPyME.

Fusco, et al., Revista de Investigación en Modelos Financieros, Año 6 Vol.1 2017-I.1-16 "Índice de confianza de los empresarios agropecuarios en argentina", de Julio de 2017.

Garzon J. M. et ál. (2015). El aporte del campo a la economía de la provincia de Córdoba. Instituto de Estudios sobre la Realidad Argentina y Latinoamericana (IERAL), Bolsa de Cereales de Córdoba y Ministerio de Agricultura de la Provincia de Córdoba.

Instituto Nacional de Estadística de España. Año 2018. Metodología y Justificaciones de los índices de confianza empresarial <http://www.ine.es/metodologia/t37/t3730199.pdf>.

Instituto Nacional de Estadística y Censos (2021), Censo Nacional Agropecuario 2018. Resultados definitivos, 1.ª ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Instituto Nacional de Estadística y Censos, INDEC. Libro digital, PDF Archivo Digital: descarga y online ISBN 978-950-896-607-0.

Puechagut Soledad. 2017. Índice de confianza del sector agropecuario. Instituto de Estudios Sociales del Centro de Investigación en Ciencias Políticas, Económicas y Sociales (CICPES) del INTA y Ministerio de Agroindustria de la Presidencia de la Nación.

Calculadora de emisiones de gases de efecto invernadero para Personas

Greenhouse Gas Emissions Calculator for People

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Gustavo Boglione

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Licenciatura en Administración Rural, Argentina.
gustavoboglione@hotmail.com

Facundo Obarrio

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Licenciatura en Administración Rural, Argentina.
Obarrio_facundo@outlook.com.ar

Resumen

Los informes del Grupo Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC) han destacado un aumento de la temperatura global en 1,5°C desde la era industrial, atribuyéndolo a las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por la actividad humana. En 2015, se firmó el Acuerdo de París con el objetivo de limitar este incremento para 2030, motivando el desarrollo de la calculadora de Huella de Carbono, que permite a las personas medir su impacto ambiental en pocos minutos, esta herramienta facilita la gestión de su contribución al cambio climático, con la capacidad de influir en las conductas sociales hacia una mayor conciencia medioambiental. La calculadora desarrollada por la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) Regional San Francisco, promueve el avance profesional en el conocimiento ambiental, mostrando cómo las actividades cotidianas influyen en el gas efecto invernadero (GEI) y destacando la responsabilidad individual en la lucha contra el calentamiento global, brindando recomendaciones para reducir las emisiones.

Palabras clave: Calculadora. Huella. Carbono. personas.

Abstract

Reports by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) have highlighted a global temperature increase of 1.5°C since the industrial era, attributing this to greenhouse gas emissions generated by human activity. In 2015, the Paris Agreement was signed with the aim of limiting this increase by 2030, prompting the development of the Carbon Footprint calculator, which allows people to measure their environmental impact in a few minutes, this tool facilitates the management of their contribution to climate change, with the ability to influence social behaviours towards greater environmental awareness. The calculator, developed by the Universidad Tecnológica Nacional (UTN) Regional San Francisco, promotes professional advancement in environmental knowledge, showing how everyday activities influence greenhouse gas (GHG) emissions and highlighting individual responsibility in the fight against global warming, providing recommendations to reduce emissions.

Keywords: Calculator. Fingerprint. Carbon. People.

Introducción

Para contribuir al compromiso mundial con el cuidado ambiental del planeta Tierra, fue desarrollada por el equipo de trabajo de la UTN una calculadora de Huella de Carbono, permitiendo que los usuarios realicen una evaluación de su propio impacto. Los datos cargados son procesados por el algoritmo, arrojando un resultado final expresado en CO₂equivalente (CO₂eq.), estimando los GEI generados por las actividades diarias de cada persona. El objetivo principal de este desarrollo es que las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a cada individuo sean reducidas, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático (VALDERRAMA, 2018).

La información necesaria para calcular la huella de carbono personal está centrada en aspectos de la vida cotidiana, como el consumo de energía, el uso de transporte y los hábitos de compra. El proceso propone tres pasos para

realizar el cálculo. Recopilar la información, cargar los datos y obtención del resultado para la posterior comparación. (figura 1).

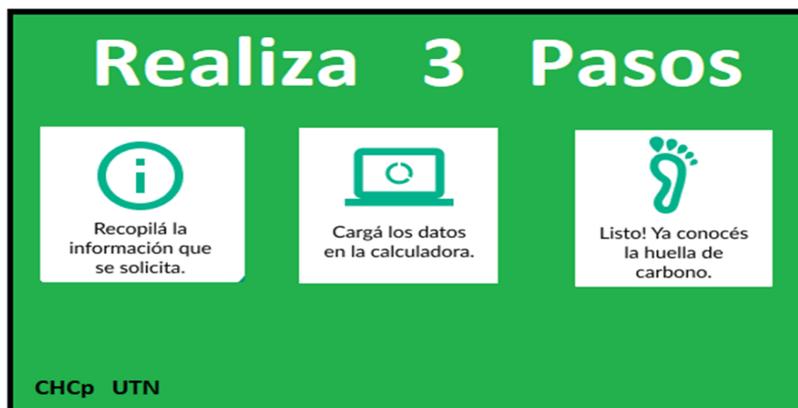


Figura 1: Pasos para medir Huella de Carbono

La conciencia ambiental es aumentada al proporcionar mediciones precisas de las actividades cotidianas, además de brindar educación a través de consejos sobre cómo reducir la huella de carbono (Álvarez Gallego, 2021). Esto incluye recomendaciones sobre el uso eficiente de las energías, alternativas de transporte más sostenible y cambios en las conductas de consumo. Los usuarios son empoderados al recibir información precisa que les permite tomar decisiones ambientales y adoptar prácticas sostenibles, fomentando una cultura de sostenibilidad dentro de la comunidad de San Francisco y región.

Inicialmente, la mecánica de trabajo fue desarrollada en hojas de cálculo, utilizando macros que sistematizan el proceso de medición de CO₂eq. según las acciones personales. Actualmente, se trabaja en la programación de una aplicación web, donde los datos serán cargados y publicados en la plataforma web UTN San Francisco, permitiendo el monitoreo, registro y gestión de su huella de carbono personal.

Desarrollo

La calculadora de emisiones de CO₂eq. se desarrolló, empleando los métodos del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) para estimar la huella de carbono de las personas en la región de Córdoba (IPCC, 2019). Esta herramienta tiene como objetivo simplificar el proceso de estimación, permitiendo que solo se ingresen datos clave sobre consumos y hábitos cotidianos. De esta manera, se busca que la evaluación de GEI personal sea más accesible y fácil de utilizar (BUENOS AIRES CIUDAD, 2023).

Medición Individualizada: Se solicita a los usuarios que ingresen datos específicos sobre su estilo de vida y hábitos diarios, incluyendo información sobre el consumo de energía en el hogar, el uso de transporte, dieta, etc. Estos datos son utilizados por el algoritmo, que los relaciona con factores locales para generar un resultado final.

Factores de Emisión: Factores de emisión proporcionados por el IPCC son utilizados, asignando parámetros específicos para Latinoamérica y el Caribe (IPCC, 2006). Además, factores regionales de Argentina, provistos por la Secretaría de Energía de la Nación (Secretaría de ambiente y desarrollo sustentable de la Nación, 2015), son considerados para realizar mediciones alineadas con estándares internacionales, obteniendo un resultado preciso.

Resultados Anuales Personalizados: Una vez ingresados los datos, la información es procesada por la plataforma y se genera un resultado anual de la huella de carbono de cada usuario. Este resultado es presentado de manera clara y comprensible, permitiendo que los usuarios visualicen su impacto ambiental durante un año calendario.

Proceso de Cálculo

Recolección de Datos: Los datos introducidos por los usuarios son procesados mediante factores de emisión específicos para cada categoría. Los resultados son arrojados en una unidad uniforme, CO₂eq., permitiendo una sumatoria precisa de GEI que refleja la huella de carbono personal anual.

Clasificación de Emisiones: Las emisiones son clasificadas en tres alcances para facilitar su comprensión y la gestión de la huella de carbono.

Alcance 1: Las emisiones directas son clasificadas como aquellas sobre las cuales se tiene control total.

Vehículos Propios: Las emisiones son calculadas en función del tipo de combustible utilizado (nafta, gasoil, híbrido, GNC), la clasificación del vehículo (grande, mediano o pequeño), y los kilómetros recorridos. El factor de emisión es ajustado según las tres variables.

Gas Natural y Gas Envasado: La cantidad de gas consumido es determinada en metros cúbicos o kilogramos, y se divide entre los habitantes del hogar para calcular las emisiones de CO₂eq..

Alcance 2: Las emisiones generadas por el consumo de electricidad son clasificadas como emisiones indirectas controladas por el uso de energía eléctrica.

Consumo Eléctrico: Se solicita al usuario la cantidad de kWh consumidos mensualmente. Un factor de emisión específico para Argentina es aplicado, multiplicando el consumo anual por este factor para obtener las emisiones correspondientes anuales. ((kWh x CO₂ eq.) x 12 meses).

Alcance 3: Las emisiones indirectas que no son producidas ni controladas directamente por la persona son incluidas en esta categoría.

Residuos Sólidos: Las emisiones de metano liberadas por el tratamiento, la descomposición y la quema de residuos sólidos son calculadas en función del peso de los desechos generados.

Aguas Residuales: Las emisiones de metano derivadas del tratamiento de aguas residuales.

Viajes en Aviación: A través del enlace de la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional, 2024), los detalles de los vuelos ingresados por el usuario permiten calcular las emisiones de CO₂eq. correspondientes por persona.

Consideraciones Adicionales: El número de integrantes del hogar es considerado para prorratear las emisiones, al igual que la antigüedad y los metros cuadrados del domicilio, asignando el factor de emisión adecuado a en su construcción.

Los datos son utilizados para estimar la huella de carbono de las actividades diarias, aplicando un enfoque integral basado en las directrices del IPCC y adaptado a factores regionales específicos. De esta manera, se permite que la huella de carbono personal sea estimada con precisión, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones y la implementación de medidas de reducción de emisiones (Timperley, 2023). El cálculo es evaluado por separado cuando se realiza el análisis de la huella de carbono de una organización o empresa junto con su personal. Por lo tanto, la huella de carbono calculada a partir de datos personales no refleja el impacto ambiental asociado a actividades laborales, estudiantiles o aquellas programadas en el contexto de la vida socioeconómica.

Los cálculos fueron realizados tomando en cuenta factores específicos para la región, las características de la ciudad y sus procesos socioeconómicos. Para la vivienda habitacional, se consideró un factor de construcción, de 0,441 CO₂ eq./m²/año. El factor para la energía eléctrica del sistema interconectado nacional argentino se estableció en 0,28 CO₂ eq./kWh, mientras que para el gas natural se utilizó un factor de 2,15 CO₂ eq./m³ y para el gas envasado 2,705 CO₂ eq./kg. El factor para los residuos domiciliarios con basural a cielo abierto y quema es de 0,6 CO₂ eq./kg, y para las aguas residuales según valores para Latinoamérica del IPCC 2006, se estimó en 14,6 kg CO₂ eq./año.

En cuanto a la alimentación, se asignaron factores entre 0,69 y 2,91 kg CO₂ eq./día. Para los vehículos particulares, el factor de energía es entre 0,0448 kg CO₂ eq./km (vehículos de menor impacto) y 0,0646 kg CO₂ eq./km (vehículos de mayor impacto). El transporte público tiene un factor de 0,01947 kg CO₂ eq./km, mientras que para taxis se estableció entre 0,01947 kg CO₂ eq./km y 0,0240 kg CO₂ eq./km, considerando recorridos habituales en la ciudad. Finalmente, los viajes en avión fueron calculados con la herramienta de la OACI y se sumaron en kg CO₂ eq./año para obtener la sumatoria total anual.

El proceso de carga en las planillas de cálculo se lleva a cabo en 15 pantallas que contienen macros. Al comenzar, se muestra una visualización del objetivo del proceso (figura 2 a) para orientar al usuario. Luego, se procede con la explicación de la carga de datos, donde se modifican los cuadros azules y se utilizan imágenes relacionadas para cargar datos de vivienda, energía eléctrica (figura 2 b), energía de gas (figura 2 c), residuos domiciliarios, aguas residuales (factor regional), alimentación (figura 2 d), vehículos particulares (figura 2 e), transporte público, viajes aéreos anuales y nos lleva a la huella de carbono personal (figura 2 f). Posteriormente, se presenta un comparativo a nivel mundial (Grupo Banco Mundial, 2024) (figura 2 g) y se muestra la propia huella de carbono. Antes de cerrar la página, se brindan consejos sobre cómo reducir la huella de carbono (figura 2 h).



a. Presentación.



b. Carga Energía



c. Carga Gas



d. Carga Alimentación



e. Carga Movilidad individual



f. Resultado Final



g. Datos Comparativos



h. Consejos Ambientales

Figura 2. Pantallas Calculadora de Huella de Carbono en planilla de cálculo.

Conclusiones

Se considera que cada acción individual es relevante y puede marcar una diferencia significativa en el cambio climático. Las medidas destinadas a reducir la huella de carbono no solo se perciben como una contribución al bienestar del planeta, sino también como un impulso hacia la creación de un futuro más sostenible y saludable para las generaciones futuras.

Tanto las personas como las empresas son vistas como responsables de reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero, asumiendo medidas proactivas para mitigar su impacto ambiental. Con las herramientas y tecnologías de medición disponibles actualmente, este proceso se ha vuelto más accesible y transparente.

Una de estas herramientas es la Calculadora de Huella de Carbono Personal, desarrollada por la UTN San Francisco. Diseñada para ser eficiente, permite calcular las emisiones de gases de efecto invernadero al visualizar las actividades cotidianas que las generan. Utiliza factores regionales y parámetros establecidos por el IPCC, lo que permite obtener resultados precisos adaptados a las características locales de los usuarios.

Cada paso hacia la reducción de la huella de carbono es considerado un avance hacia un futuro más sostenible. Se alienta a las personas a participar activamente en esta acción climática, utilizando la herramienta para visualizar sus valores de CO₂eq. generados y recibir recomendaciones para reducirlos. Esta calculadora es percibida como una medida proactiva que fomenta la conciencia sobre la generación de gases de efecto invernadero a nivel personal, permitiendo que cada individuo contribuya de manera tangible a la mitigación del cambio climático.

Además, la calculadora sirve como un punto de partida fundamental para adoptar hábitos más sostenibles. También promueve el apoyo a empresas comprometidas con certificaciones de huella de carbono para 2030, enviando un mensaje claro de que la acción climática es una prioridad compartida. Se reconoce que solo mediante la colaboración se puede lograr un bienestar común.

Referencias

Álvarez Gallego, S. (2021), Serie Huella de carbono. Volumen 4: Gestión de la huella de carbono (2a. ed.), AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación, ISBN: 9788417891800, 9788417891794.

Buenos Aires Ciudad, (2023), Calculador de huella: una iniciativa para el desarrollo sostenible, Disponible en <<https://buenosaires.gob.ar/noticias/calculador-de-huella-una-iniciativa-para-el-desarrollo-sostenible>>.

Grupo Banco Mundial, (2024), Emisiones de CO₂ (toneladas métricas per cápita), Disponible en <<https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.PC>>.

International Civil Aviation Organization, (2024) Disponible en <<https://www.icao.int/environmental-protection/CarbonOffset/Pages/default.aspx>>.

IPCC. (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Obtenido de Capítulo 10: Emisiones del ganado y por gestión del estiércol. Capítulo 11: Emisiones de N₂O de los suelos gestionados y emisiones de CO₂ derivadas de la aplicación de cal y urea: Disponible en <<https://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol4.html>>.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2019). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 3: Energy - Chapter 2: Stationary Combustion (pp. 2.1-2.50). IPCC. <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>

Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, (2015), Tercera comunicación nacional de la republica argentina a la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático, Disponible en < <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Argnc3.pdf> >

Timperley Jocelyn , BBC Future, (2023), Disponible en <<https://www.bbc.com/mundo/vert-fut-65040861>>.

Valderrama, J. O., Espíndola, C., (2018), Huella del carbono: cambio climático, gestión sustentable y eficiencia energética, Editorial ebooks Patagonia, La Serena ISBN: 9789567052585, 9789567052394.

Evolución de parámetros fisicoquímicos de suelos agropecuarios en comparación con zonas prístinas

Evolution of physicochemical parameters of agricultural soils in comparison with pristine areas

Presentación: 23 y 24 de octubre 2024

Javier Vignolo

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Córdoba, Argentina
javignolo@sanfrancisco.utn.edu.ar

Mónica Serra

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Córdoba, Argentina
monica.serra.1977@gmail.com

Micaela del Valle Zapata

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Córdoba, Argentina
micazapata96@gmail.com

María Belén Vignola

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Córdoba, Argentina
CONICET
mbelenvignola@gmail.com

Resumen

Este trabajo tiene como objetivo comparar resultados de análisis fisicoquímicos de suelos en cuatro zonas productivas de campos agropecuarios, comparándolos con zonas prístinas de cada serie de suelo. Se realizaron análisis fisicoquímicos con el fin de identificar cuáles son los parámetros que han experimentado mayor variabilidad debido al uso humano. Los datos se analizan mediante Análisis de Varianza (ANOVA) y se compararon mediante el test de DGC con el programa INFOSTAT. En el caso de carbono orgánico, nitrógeno total y fósforo se encontró que el contenido es significativamente mayor en zonas prístinas en comparación con las muestras obtenidas en los lotes bajo producción agropecuaria, resultados que se corresponden con trabajos de otros autores.

Palabras clave: Suelos – Producción agropecuaria– Ambiente

Abstract

This study aims to compare the results of physicochemical soil analyses from four productive agricultural zones with pristine areas of each soil series. Physicochemical analyses were conducted to identify which parameters have experienced the greatest variability due to human use. The data were analyzed using Analysis of Variance (ANOVA) and compared using the DGC test with the INFOSTAT software. In the case of organic carbon, total nitrogen, and phosphorus, it was found that the content is significantly higher in pristine areas compared to the samples obtained from agricultural production fields, which is consistent with findings from other studies

Keywords: Soils – Agricultural production – Environment

Introducción

El uso continuo de los suelos en los sistemas de producción agropecuaria puede llevar a la degradación fisicoquímica, con pérdida de nutrientes esenciales y materia orgánica, fundamentales para el crecimiento de los cultivos, la compactación física y la consecuente disminución de poros edáficos aumentan el deterioro, derivando en una disminución de la productividad (Vignolo et al., 2022).

En la Argentina, diversos autores han estudiado el impacto del proceso de degradación de los suelos como consecuencia de la intensificación de las actividades agrícolas afectando especialmente el sector norte de la Región Pampeana, y en mayor medida como consecuencia del uso de sistemas de labranza agresivos (Martinez et al., 2008).

La materia orgánica es el atributo que con más frecuencia se utiliza en los estudios a largo plazo como indicador importante de su calidad y de su sustentabilidad agronómica (Galantini et al., 2008).

Debido a su heterogeneidad, el suelo no posee estándares de calidad definidos, por lo que es difícil establecer una medida física, química o biológica que pueda mostrar adecuadamente su nivel de calidad. No obstante, los indicadores químicos y físicos caracterizan sus propiedades y adquieren importancia facilitando el diagnóstico agroecológico, especialmente cuando se los analiza en conjunto evaluando su cambio en el largo plazo (Marelli et al., 2017).

Según el relevamiento realizado por Echeverría y Ferrari (1993), la intensificación del uso agrícola del suelo ha provocado una disminución en el contenido de materia orgánica y fósforo disponible. La introducción de sistemas de labranzas conservacionistas como la siembra directa producen cambios en las propiedades químicas y físicas de los suelos que pueden afectar la biología del suelo y el desarrollo radicular de las plantas (Elisondo et al., 2001) (López et al., 2018).

En este estudio, se evaluaron diversos parámetros del suelo en ambientes georreferenciados correspondientes a cuatro sistemas productivos situados en las provincias argentinas de Córdoba y Santa Fe. Los parámetros analizados incluyen carbono orgánico, nitrógeno total, fósforo extraíble, pH, conductividad eléctrica, calcio, magnesio, sodio y potasio. Las muestras comparadas fueron extraídas en dos sectores de un mismo campo, una bajo producción agropecuaria y otra en áreas prístinas de la misma serie, estas últimas localizadas debajo de antiguos alambrados perimetrales, correspondientes a terrenos que no han sido modificados desde épocas de la colonización agraria, hace más de 100 años.

Desarrollo

Para esta investigación se trabajó sobre cuatro campos georreferenciados, ubicados entre las provincias de Córdoba y Santa Fe, en un radio de cincuenta kilómetros con centro en la ciudad de San Francisco (Figura 1- 2),

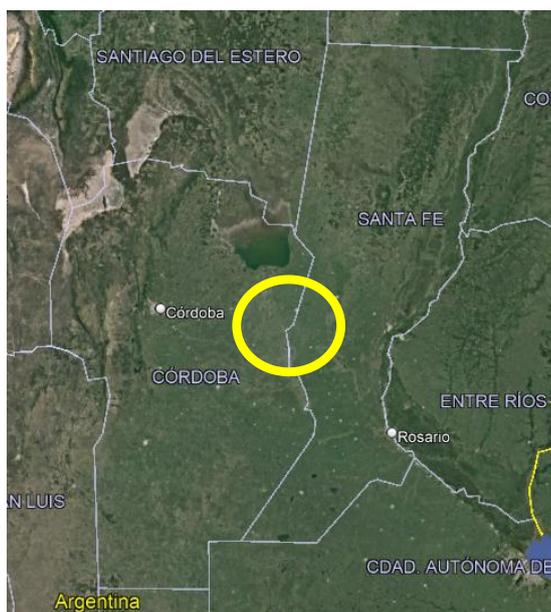


Figura 1: Zona de investigación

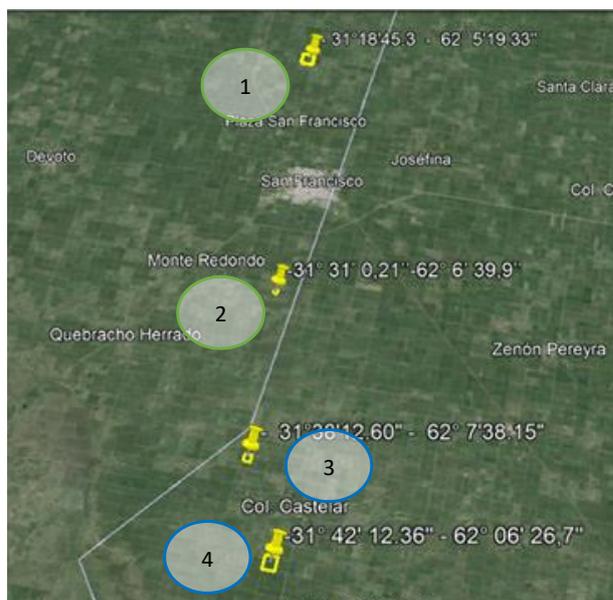


Figura 2: Posición GPS de los campos bajo análisis

Los suelos de la zona bajo estudio son de origen loésico y se clasifican predominantemente, según la Soil Taxonomy de USDA, como Molisoles, coexistiendo Entisoles, Vertisoles, Alfisoles, entre otros, siendo la textura franco-limosa la predominante. Hasta finales del siglo pasado, todos los establecimientos analizados funcionaban como sistemas mixtos, combinando agricultura y ganadería, con la expansión del cultivo de soja (*Glycine max*), estos campos abandonaron progresivamente la producción tambera y ganadera de carne, transformándose en sistemas agropecuarios exclusivamente agrícolas, gestionados bajo prácticas de siembra directa. En los últimos 25 años la rotación de cultivos predominante, en la región bajo estudio es, trigo / soja / maíz / soja (*Triticum aestivum* / *Glycine max* / *Zea mays* / *Glycine max*) incorporándose en algunos casos en los últimos tres años cultivos de cobertura o servicio, utilizándose principalmente avena (*Avena sativa*) y en algunos casos, vicia (*Vicia sativa*) o centeno (*Secale cereale*).

Durante los meses de junio y julio del año 2024 se visitaron los campos seleccionados, con la colaboración de los productores agropecuarios y los técnicos de la secretaría de Bioagroindustria de la Provincia de Córdoba, en la

ciudad de San Francisco. En cada caso se procedió a extraer muestras compuestas de suelo de la unidad productiva a una profundidad de 0 – 20 cm, luego se extrajeron muestras debajo del alambrado perimetral de esa misma serie, considerándolo como zona prístina, ya que se sabe que ese sector no se utilizó productivamente, ni se realizaron remociones de suelo.

Las muestras de campo fueron remitidas al laboratorio de servicios La.Ser. – LOESS de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional San Francisco, donde se llevaron a cabo los análisis fisicoquímicos de las mismas. El pH del suelo se determinó en una relación suelo:agua 1:2,5 empleando agua destilada y realizando la medida luego de 2 h de reposo de la suspensión (Galantini et al., 2005). La conductividad eléctrica se determinó mediante lectura con conductímetro en el extracto de pasta de saturación, según norma IRAM-SAGyP 29579. El contenido de carbono orgánico total (COT) se determinó por el método de digestión húmeda con dicromato de potasio según norma IRAM-SAGyP 29571-2. A partir del COT se estimó el contenido de materia orgánica del suelo. El fósforo extractable se determinó por el método de Bray y Kurtz I modificado según norma IRAM-SAGyP 29570-1. El nitrógeno total (Nt) se determinó por el método Kjeldahl modificado según norma IRAM-SAGyP 29572. De los cationes intercambiables, el sodio y el potasio se cuantificaron con fotómetro de llama según norma RAM-SAGyP 29577-1, mientras que el calcio y el magnesio se cuantificaron por complejometría EDTA (Sparks, 2020). Los datos se analizaron mediante Análisis de Varianza (ANOVA) y se compararon mediante el test de DGC con el programa INFOSTAT (Di Rienzo et al., 2012).

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos analizados en las diferentes muestras obtenidas en las provincias de Córdoba (muestra 1 y 2) y Santa Fe (muestra 3 y 4) ^{1,2}

Muestras	Mo (%)	N (%)	pH	Conductividad	P (ppm)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	Na (meq/100g)	K (meq/100g)
LOTE 1	4,05								
ALAMBRADO 1	a	0,14 a	6,43 a	0,76 a	42,95 a	6,40 a	1,09 a	2,49 b	3,51 a
LOTE 2	6,13								
ALAMBRADO 2	b	0,20 b	6,46 b	1,60 b	78,35 b	8,36 a	1,33 a	2,16 a	4,49 b
LOTE 3	4,41								
ALAMBRADO 3	a	0,15 a	6,35 a	0,24 a	39,65 a	9,41 a	1,1 a	2,01 a	2,81 a
LOTE 4	6,66								
ALAMBRADO 4	b	0,22 b	7,18 b	1,19 b	92,51 b	11,2 a	1,7 a	3,01 b	4,90 b
LOTE 3	2,82								
ALAMBRADO 3	a	0,13 a	6,65 a	0,18 a	17,07 a	10,46 b	1,55 a	1,78 a	2,68 a
LOTE 4	3,04								
ALAMBRADO 4	a	0,17 a	6,81 b	2,71 b	71,24 b	8,96 a	2,24 a	1,83 a	3,14 b
LOTE 4	2,41								
ALAMBRADO 4	a	0,18 a	6,62 a	0,13 a	23,54 a	6,15 a	1,68 b	1,30 a	0,62 a
ALAMBRADO 4	b	0,25 b	7,82 b	0,22 b	98,83 b	7,74 b	0,73 a	1,76 b	0,65 a

1: MO: materia orgánica, N: nitrógeno; P: fósforo; Ca: calcio, Mg; Magnesio; Na: sodio, K: potasio

2: Letras distintas dentro de la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas (p<0,05).

Gráfico 1. Comparativo de resultados de Materia Orgánica (MO), muestreado en Lote (Zona Productiva) y Alambrado (Zona Prístina)

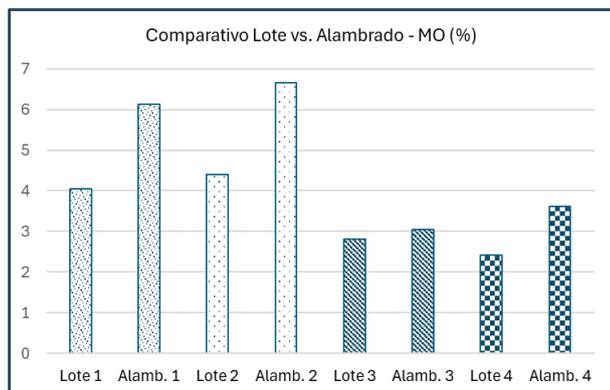
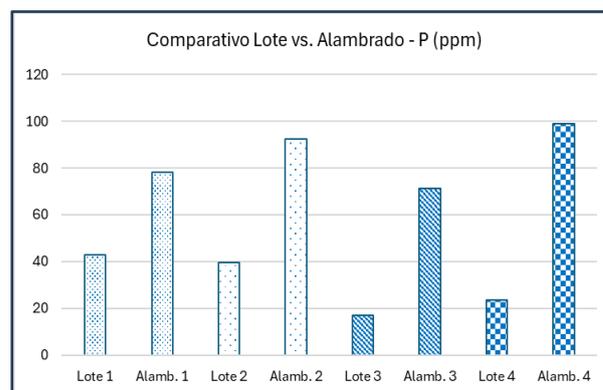


Gráfico 2. Comparativo de resultados de Fósforo (P), muestreado en Lote (Zona Productiva) y Alambrado (Zona Prístina)



En la Tabla 1 se observan los resultados obtenidos. El contenido de materia orgánica y nitrógeno total es mayor en todas las muestras de las zonas prístinas en comparación con las obtenidas en áreas bajo producción (grafico 1). En un trabajo realizado por Campitelli et al. (2011) se obtuvo que la disminución de los contenidos de carbono orgánico y el aumento en la susceptibilidad a la erosión hídrica a media que se prolongan los años de agricultura y se incrementan las prácticas tales como monocultivo de soja y siembra convencional, evidencian el deterioro de la calidad del suelo en relación con los sitios bajo bosque nativo que son los que presentan el máximo potencial. El pH, término relacionado a concentración de iones hidrógeno en una solución, se trata de una medida de la acidez o alcalinidad de la solución del suelo. El pH también se expresa a menudo en términos de concentración de iones hidronio. El pH del suelo afecta a diversas propiedades físicas (dispersión, estructura, porosidad, etc.), químicas (movilidad de elementos tóxicos, disponibilidad de nutrientes, descomposición de materia orgánica, etc.) y biológicas (relaciones bacterias / hongos, fijación de nitrógeno, movilidad y absorción de nutrientes) (Rivera y col, 2018). En el presente estudio se observaron significativamente mayores valores de pH en todos los lotes analizados en comparación con las muestras bajo alambrado.

La conductividad eléctrica del suelo es un indicador crucial para evaluar la salinidad del suelo, la cual está influenciada tanto por los minerales presentes en el suelo como por el intercambio de agua con las napas freáticas. La relación entre el suelo y las napas puede tener un impacto directo en la distribución de sales solubles a través del ascenso capilar del agua subterránea, afectando la salinidad en el perfil del suelo (Scanlon, 2007). El valor obtenido para el parámetro conductividad eléctrica fue mayor en las muestras bajo alambrado que en los respectivos lotes. Esto sugiere que el suelo virgen retiene más sales solubles, posiblemente debido a menor lixiviación y menor intervención humana, lo que puede haber redistribuido o reducido las sales en los lotes.

Otro parámetro con valores significativamente más altos en las zonas bajo alambrado es el fósforo (grafico 2), que podría deberse a una mayor presencia de materia orgánica y a una liberación más lenta de nutrientes en el suelo no perturbado. En los lotes, las prácticas de cultivo y cosecha pueden haber agotado este nutriente. En cuanto al calcio, se observaron diferencias significativas entre lote y alambrado solo en las muestras 3 y 4, aunque no se identificó una tendencia clara. Para el magnesio, se registró una diferencia significativa, entre lote y alambrado, únicamente en la muestra 4. Por el contrario, en el caso del potasio, no se observó una diferencia significativa en su contenido em ambos espacios en la muestra 4, mientras que, en las otras tres, su concentración fue mayor en las áreas bajo alambrado que en el lote.

Un informe del año 2022, de IDECOR, Infraestructura de Datos Espaciales de la Provincia de Córdoba, muestra resultados de mapeo variable de suelo con contenidos promedios de Materia Orgánica del 2,32%, con valores que van de 1,3% a 5,0%. Para el caso de fósforo y pH los valores promedio de la predicción fueron de 24,7 ppm y 6,64, respectivamente (Córdoba et al., 2022).

Conclusiones

La valoración de los resultados obtenidos en los análisis de campo y bibliografía consultada nos permiten obtener conclusiones que se asemejan a las obtenidos en otras investigaciones similares realizadas, como son la pérdida de carbono orgánico de los suelos, baja en los niveles de nitrógeno total y disminución de los niveles de fósforo. La calidad fisicoquímica de los suelos puede cambiar con el tiempo por influencia del uso y las prácticas culturales

aplicadas. Su mantenimiento e incluso mejora, genera beneficios, no solo económicos, sino de productividad, uso más racional de fertilizantes y plaguicidas, mejor calidad del aire y agua, y menor producción de gases de efecto invernadero.

Los resultados de los análisis de laboratorio muestran en todos los casos, que la conductividad eléctrica de los suelos es mayor en las zonas prístinas que en las áreas productivas. Este hallazgo nos motiva a ampliar los análisis a muestras de aguas de napas freáticas, de perforaciones correspondientes a las mismas series de suelos, la medición de la profundidad de las napas y los parámetros fisicoquímicos del agua nos permitirá evaluar posibles correlaciones adicionales y comprender los posibles riesgos de salinización y su impacto en la productividad agrícola. Además, la correlación entre la conductividad eléctrica del suelo y los parámetros fisicoquímicos del agua subterránea (pH, concentración de minerales) puede ofrecer una comprensión integral de los ciclos de sales en el ecosistema, especialmente en áreas con napas cercanas a la superficie. Ampliar la base geográfica de muestreo otorgará un valor agregado a esta línea de investigación, permitiendo una comprensión integral y representativa de las variaciones de los parámetros estudiados en diferentes contextos productivos y ambientales, dejando puertas abiertas para futuros trabajos.

Referencias

- Campitelli, P., Aoki, A., Gudelj, O., Rubenacker, A., y Sereno, R. (2011). Selección de indicadores de calidad de suelo para determinar los efectos del uso y prácticas agrícolas en un área piloto de la región central de Córdoba. 28(2), 223–231.
- Córdoba, M., Alvarez, C., Faule, L., Godino, M., Pérez, M., Pozzi, E., Morales, H., Carranza, J., y Monzani, F. (2022). Mapeo de propiedades de suelo 2022 - Materia Orgánica, Fósforo y pH en la Provincia de Córdoba (Número Versión 2, año 2022, Publicada en abril de 2023).
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., y Robledo, C. W. (2012). InfoStat versión 2012. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba.
- Elissondo, E., Costa, J., Suero, E., Fabrizzi, K., y Garcia, F. (2001). Evaluación de algunas propiedades físicas de suelos luego de la introducción de labranzas verticales en un suelo bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo*, 19, 10–19.
- Galantini, J. A., y Suñer, L. (2008). Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. *Agriscientia XXV*, 15(1), 41–55.
- Galantini J.A., Suñer L. y H. Kruger. (2005). Dinámica de las formas de P en un Haplustol de la región semiárida pampeana durante 13 años de trigo continuo. *RIA*. 34(2) artículo N°2.
- Gines Navarro García Simón Navarro García (2013). *Química agrícola*. (3.^a ed.). Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Lefèvre, C., Rekik, F., V, A., y Wiese, L. (2017). *Carbono Orgánico del Suelo*. www.fao.org/publications
- López, F., Duval, M., Martínez, J. M., y Galantini, J. A. (2018). Propiedades físicas en suelos bajo siembra directa del sudoeste bonaerense. En *Agro UBA* (pp. 532–547).
- Marelli H, Arce J, Marelli P, y Conde B. (2017). *Indicadores De Sustentabilidad Del Suelo En Areas Del Centro- Sur De La Provincia De Cordoba*. INTA Ediciones.
- Martinez, E., Fuentes, J. P., y Acevedo, E. (2008). Carbono Orgánico y Propiedades del Suelo. *Soil Science Plant Nutrition*, 8(1), 68–96. <https://www.scielo.cl/pdf/rcsuelo/v8n1/arto6.pdf>
- Norma IRAM-SAGyP 29579. Determinación de la conductividad eléctrica en extracto de pasta de saturación para suelos de uso agropecuario. En estudio.
- Norma IRAM-SAGyP 29571-2 Calidad ambiental - Calidad del suelo. Determinación de materia orgánica en suelos. Parte 2 - Determinación de carbono orgánico oxidable por mezcla oxidante fuerte, escala semi-micro. Primera Edición 2011- 06-30

- Norma IRAM-SAGyP 29572 Calidad ambiental - Calidad del suelo. Determinación de nitrógeno en suelo por el método Kjeldahl modificado. Primera edición 2018-10-19.
- Norma IRAM-SAGyP 29570-1 Calidad ambiental - Calidad del suelo. Determinación de fósforo extraíble en suelos. Parte 1 - Método Bray-Kurtz 1 modificado (extracción con solución de fluoruro de amonio - ácido clorhídrico). Segunda edición 2020-02-0.
- Norma IRAM-SAGyP 29577-1. Calidad ambiental – Calidad de suelo. Determinación de capacidad de intercambio catiónico y cationes básicos intercambiables. Parte 1: extracción con acetato de amonio pH 7. En estudio
- Rivera, E., Sánchez, M. y Domínguez, H. (2018). pH como factor de crecimiento en plantas. *Revista de Iniciación Científica*, 4: 101-105.
- Ron, M. de las M., Mandolesi, M. E., Facchinetti, C., & Kiessling, R. J. (2011). Efecto antrópico sobre la fertilidad química de un suelo en el sudoeste bonaerense. *Revista Científica de la AACCS*.
- Scanlon, B.R., Jolly, I., Sophocleous, M., & Zhang, L. (2007). *Global impacts of conversions from natural to agricultural ecosystems on water resources: Quantity versus quality*. *Water Resources Research*, 43(3).
- Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., & Loeppert, R. H. (Eds.). (2020). *Methods of soil analysis, part 3: Chemical methods* (Vol. 14). John Wiley & Sons.
- Taboada, Miguel Angel. *Carbono: el elemento que determina la sustentabilidad del agro*. Editorial Fundamento SA, 2022.
- Vignolo, J. A. (2022). *Medición de la evolución del Carbono Orgánico del SUELO en un ambiente específico, destinado a la producción agropecuaria*. UTN Facultad Regional San Francisco.
- Vignolo, J., Serra, M., Zapata, M., Ricci, D., Capello, S., Vignola, M. B., y Rovasio, M. (2022). *Estudio de la evolución de propiedades fisicoquímicas de suelos con diferentes índices productivos y su relación con el valor de la tierra* (Vol. 350).



Otras Especialidades



Evolución de la Huella de Carbono de la Facultad Regional Delta

Evolution of the Carbon Footprint of the Delta Regional Faculty

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Jorge Raúl Parente

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Delta, Argentina
parentej@frd.utn.edu.ar

Norberto Santiago Odobez

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Delta, Argentina
odobezn@frd.utn.edu.ar

Adriana Fea

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Delta, Argentina
afea@frd.utn.edu.ar

María Elena Soldatti

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Delta, Argentina
soldattm@frd.utn.edu.ar

Resumen

La Huella de Carbono (HC) es un indicador que mide el impacto que provocan las actividades del ser humano y las organizaciones sobre el cambio climático.

El objetivo del trabajo fue obtener la HC de la Facultad Regional Delta (FRD), compararla con la del año 2013 y establecer una nueva línea de base de referencia.

El trabajo se desarrolló utilizando la metodología propuesta por la Dirección de Cambio Climático, considerando la composición de la comunidad universitaria, las distancias recorridas por sus integrantes teniendo en cuenta si el transporte es particular o colectivo, la alimentación durante la estadía en la institución y los residuos generados, el consumo de gas natural y energía eléctrica en el edificio.

La HC calculada, para el año 2023, es de 694 toneladas anuales de dióxido de carbono, menor a la calculada en 2013 de 850 toneladas.

Palabras clave: Emisión de Dióxido de Carbono, Energía Térmica y Eléctrica, Cambio climático

Abstract

The carbon footprint (CF) is an indicator that measures the impact that human activities and organizations have on climate change.

The objective of this study was to verify the evolution of the carbon footprint of our Delta Regional Faculty, after the first study in 2013, and to establish a new reference baseline.

The work was developed using the methodology proposed by the Climate Change Directorate, considering the composition of the university community; the distances traveled by its members, taking into account whether transportation is private or collective, the consumption of natural gas and electric energy, food during their stay at the institution and the waste generated.

The calculated carbon footprint, based on data from 2023, is 694 tons of carbon dioxide per year, less than that calculated on the first occasion of 850 tons.

Keywords: Carbon Dioxide Emission, Thermal and Electrical Energy, climate change, Carbon Footprint

Introducción

El ritmo acelerado de los patrones de consumo de la sociedad actual ha generado progresivamente una presión sobre el ambiente que tiene impactos de diversa índole, siendo uno de ellos el calentamiento global. El cambio de la

concentración de los diferentes gases de efecto invernadero (GEI) producto de las actividades humanas, principalmente la quema de combustibles fósiles, ha producido el incremento en la temperatura global y ha ocasionado a la vez efectos muy graves sobre el clima y el medio.

El cambio climático causado por el hombre ya está afectando a muchos fenómenos meteorológicos y climáticos extremos en todas las regiones del mundo. Esto ha provocado impactos adversos generalizados, pérdidas y daños relacionados con la naturaleza y las personas. Según el informe AR6, 2023 del IPCC, indica que muchos cambios futuros son inevitables y/o irreversibles, pero “pueden verse limitados por una reducción global profunda, rápida y sostenida de las emisiones de gases de efecto invernadero” (IPCC: AR6, 2023).

Por lo antedicho es importante conocer cuáles son las toneladas de dióxido de carbono equivalente emitidas por una persona o una organización para poder tomar acciones en pos de disminuir esas emisiones. Una manera es determinando la HC, siendo ésta un indicador que mide el impacto que provocan las actividades del ser humano sobre el cambio climático. De tal manera que, aplicada a una organización, muestra el efecto que tiene ésta sobre el clima, medido a través de la cantidad total de GEI que emite, y representado en unidades equivalentes de dióxido de carbono (Rojas Wang, 2011).

Este trabajo pretende hacer una comparación entre los nuevos datos de la HC y los obtenidos en el estudio realizado por Leanza y Parente en el año 2013. (Leanza y Parente, 2016: 156); generar una nueva línea de base, y a partir de aquí poder evaluar las acciones de mejora que repercutan en la disminución de los valores de CO₂e emitidos por la organización.

Se persigue también el objetivo de generar en la comunidad universitaria una conciencia ambiental que influya en la formación de docentes y alumnos más allá de sus labores cotidianas en áreas académicas, de investigación y de extensión. Esto se logrará a través de la difusión de este documento y la participación de la comunidad para la obtención de los datos.

Desarrollo

Los documentos que constituyen las referencias más importantes para el cálculo de la HC, son las normas ISO 14064 e ISO 14069, junto con el GHG Protocol, del World Resources Institute y el World Business Council for Sustainable Development.

Para este trabajo se utilizó la metodología propuesta por la Dirección de Cambio Climático (SAyDS, 2008), de la cual se obtuvieron los parámetros o constantes adoptadas. Los límites organizacionales y de identificación de fuentes por alcance, son los establecidos en el GHG Protocol, el límite temporal se trata del año 2023 y el límite espacial es el edificio de la FRD, UTN de la ciudad de Campana.

Los límites operacionales son:

Alcance 1 (Emisiones directas): Emisiones provenientes de combustión de fuentes fijas o móviles que entran dentro de los límites de la organización. Corresponde a los *consumos de gas natural (GN)*, climatización del edificio.

Alcance 2 (Emisiones indirectas por energía): Emisiones derivadas de la adquisición y consumo de energía en la organización, pero producidas físicamente fuera de los límites de la organización. Son aquellos provenientes del consumo eléctrico (EE) principalmente se debe al alumbrado, climatización y equipamiento.

Alcance 3 (Otras emisiones indirectas): El alcance 3, según la mayoría de las referencias para el cálculo de la HC de una organización, es una categoría opcional que nos permite incluir emisiones indirectas no incluidas en los alcances anteriores, como son: *Transporte de la comunidad universitaria de su domicilio a las dependencias de la facultad, y viajes en comisión, y por otro lado los residuos y alimentación dentro de las instalaciones.*

Para el cálculo general de la HC se utiliza la Ec. (1).

$$\text{Kg CO}_2\text{e/año} = \text{Cantidad de energía consumida} \times \text{factor de emisión} \quad (1)$$

Emisiones de Alcance 1 y 2:

En la Tabla 1 se observa la emisión anual de dióxido de carbono correspondiente al consumo de GN y EE.

Tabla 1. Emisión anual en kilogramos de dióxido de carbono por consumo energético

	Combustible	Consumos	Factor de emisión	Emisiones GEI generados
Alcance 1	Gas Natural	13.699 m ³	1,95 kg CO ₂ e/ m ³ (IPCC,2006)	26.713 kgCO ₂ e
Alcance 2	Electricidad	273.028 kWh	0,429 kg CO ₂ e/kWh (CAMMESA)	116.309 kgCO ₂ e

Emissiones de Alcance 3:

a) Relativas al transporte

Analizamos las emisiones de GEI relativas al transporte (auto, ómnibus, moto, etc.) de las personas; siempre considerando los viajes ida y vuelta a nuestra casa de altos estudios.

Los desplazamientos para los que utilicen cualquier medio no motorizado o a pie, se considera sin emisiones, dado que la metodología no contempla esta información para los cálculos de la HC.

Al ser una facultad con personal relativamente estable en los distintos estamentos, se conoce la forma de movilizarse de los mismos. La información utilizada fue la provista por las distintas áreas administrativas que supervisan dicho personal, las cuales realizaron las consultas correspondientes de su procedencia y la forma de movilizarse, en algunos casos teniendo la información con más del 80% de los integrantes del sector. Con dicha información se extrapolo al total de la comunidad universitaria, 1600 personas.

El trabajo se basa en el calendario académico 2023, según la Resolución N°436/2022 tomando 170 días para alumnos y docentes de grado, pos grado y tecnicaturas.

Se toman las localidades de Campana y Zárate por ser las principales ciudades de las cuales predomina la comunidad universitaria, Buenos Aires por ser el lugar del cual proceden mayormente los docentes de pos grado y una media del resto de las localidades aledañas, de 80 km.

Se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones: Días anuales o cuatrimestrales trabajados por calendario académico, factor de presencia estimado en 0,8 para alumnos y de 0,9 para docentes y no docentes.

En el caso de automóviles se toma una media de dos personas por vehículo y para las motos se considera una. Las distancias estimadas que recorren en automóvil, ómnibus y moto de cada uno de los grupos se pueden observar en la Tabla 2.

Tabla 2. Cantidad de integrantes de la Comunidad Universitaria y distancia recorridas

Grupo	Número de Personas	Distancias	Distancias	Distancias
		anuales (Km) Automóvil	anuales (Km) Ómnibus	anuales (Km) Moto
Docentes de carreras de grado	224	366.024	45.240	37.000
Alumnos de carreras de grado	726	906.396	657.581	124.407
No docentes	74	39.960	15.318	11.988
Aspirantes 1° y 2° cuatrimestre	129	161.885	101.053	52.421
Docentes Pos Grado	32	167.443	18.604	0
Alumnos Pos Grado	56	108.202	14.000	5.100
Docentes Tecnicatura	23	23.478	3.237	1.407
Alumnos Tecnicatura	107	145.374	92.201	24.360
Cursos Extracurriculares	229	175.951	202.468	45.863
Total	1600	2.094.513	1.149.702	302.546

El tipo de combustible utilizado en el parque de vehículos automotor, según las estimaciones de Surtidores Latam, es de Nafta: 63%, Diesel: 25% y GNC: 12%. En la Tabla 3 se pueden observar los kilómetros anuales recorridos conforme al tipo de combustible.

Tabla 3. Estimación de kilómetros anuales recorridos de automóviles según tipo de combustible

Nafta	Diesel	GNC
1.319.544	523.628	251.341

La emisión por transporte particular se evalúa para motos y automóviles. La eficiencia estimada y el factor de emisión (IPCC, 2006) para cada tipo de combustible se puede observar en la Tabla 4.

Tabla 4. Eficiencia estimada y factor de emisión por cada tipo de combustible

Combustible	Eficiencia	Factor de Emisión
Nafta	12 km/L	2,37 kg CO ₂ /L
Diesel	18 km/L	2,77 kg CO ₂ /L
GNC	12 km/m ³	1,95 kg CO ₂ /m ³

En el caso de las motos se ha estimado una eficiencia media de 17 km/L. (motociclismo.es)

Utilizando la Ec. (2), se calcularon las emisiones anuales para motos y automóviles, ver Tabla 5.

$$\text{Kg CO}_2\text{e/año} = R \times \left(\frac{1}{EM}\right) \times FE \quad (2)$$

R: Recorrido total anual en móviles (km/año)

EM: Eficiencia del combustible (km/L)

FE: Factor de emisión del combustible correspondiente en (kg CO₂/L) o (kg CO₂/ m³)

Tabla 5. Emisión anual en kilogramos de dióxido de carbono por el transporte particular

Automóvil	Moto	Total
377.970	42.170	420.140

Para la emisión por *transporte colectivo* se utiliza la ecuación (3).

$$\text{Kg CO}_2\text{e/año} = R \times \left(\frac{1}{EM}\right) \times FE/C \quad (3)$$

R: recorrido total anual en ómnibus (Km/año).

EM: Eficiencia del combustible (16,66 km/L). (SAyDS, 2008)

FE: Factor de emisión del combustible diésel (2,77 kg CO₂/ L)

C: carga promedio de ómnibus (20 personas).

$$\text{Kg CO}_2\text{e/año} = 1.149.702 \times \left(\frac{1}{16,66}\right) \times \frac{2,77}{20} = 9.557\text{kg CO}_2\text{e/año}.$$

El consumo de nafta por *viajes en comisión* del personal fue de 50.000 litros anuales, considerando un factor de emisión del combustible Nafta de 2,37 kg CO₂/L, según Tabla 4, la emisión resulta de: 118.500 kg CO₂e/año

En la Tabla 6 se observa la emisión correspondiente al transporte de toda la comunidad universitaria.

Tabla 6. Emisión anual en kilogramos de dióxido de carbono por transporte

Particular	Colectivo	Viajes en comisión	Total emisiones transporte
420.140	9.557	118.500	548.197

b) Relativas al residuos

La Facultad realiza la segregación de *residuos* desde hace varios años (Leanza et ál, 2007), reciclando plásticos y papel, los cuales son retirados por cooperativas. La cantidad de residuos generados en forma semanal, cuyo destino final es el relleno sanitario es aproximadamente de: RES=12 kg/día de residuos sólidos urbanos.

El contenido de materia orgánica por kg de residuos se considera en: MO=55 %, el factor de emisión de la materia orgánica es: FE_{reso}=0,003 m³ CH₄/kg año, la densidad del gas natural en Dgn=1,77kg/m³ y un potencial de calentamiento global del metano de PCG = 21 kg CO₂/kg CH₄. (SAyDS, 2008) y Ad = días hábiles de funcionamiento de la facultad al año se estimó en: 240

Siguiendo la ecuación (4) se obtienen la emisión por los residuos generados:

$$\text{Kg CO}_2\text{e/año} = \text{RES} \times \text{Ad} \times \text{MO} \times \text{FE}_{\text{reso}} \times \text{Dgn} \times \text{PCG} \quad (4)$$

$$\text{Kg CO}_2\text{e/año} = 12 \times 240 \times 0,55 \times 0,003 \times 1,77 \times 21 = 177\text{kg CO}_2\text{e}$$

c) Relativas a la alimentación

Para el caso de la *alimentación* se toman en consideración los alimentos de origen animal consumidos, por la comunidad universitaria durante su estadía en la facultad, según punto 6 del anexo de la metodología para la HC Dirección de Cambio Climático (SAyDS, 2008). Personal del servicio de buffet, nos brindó información de consumos semanal de alimentos de origen animal. Con estos datos, pudimos deducir que la cantidad de personas, en el año académico asciende a un promedio de 20 personas por día que consumen estos alimentos.

$$\text{Kg CO}_2\text{e/persona año} = \left(\text{AA} \times \frac{\text{BD}}{100}\right) \times \text{FEEAA} \times \text{Ad}/1000 \quad (5)$$

Siguiendo la ecuación (5) donde:

AA = consideramos un 5 % porcentaje de alimento animal en la dieta

BD = balance de la dieta argentina = 3.171 kcal/día persona

FEEAA = factor de emisión de alimentos de origen animal = 4,67 g CO₂/kcal día

Ad = cantidad días al año = 170

1000= conversión unidades

$$\text{Kg CO}_2\text{e/persona año} = \left(5 \times \frac{3.171}{100} \right) \times 4,67 \times \frac{170}{1000} = 126 \text{ kg CO}_2\text{e/persona. año}$$

Considerando el promedio diario de 20 personas, resulta una emisión anual de: 2.520 kg CO₂e
Por lo tanto, el total para el Alcance 3 es de: 550.894 kg CO₂e.

En la Tabla 7 se puede observar la emisión anual de dióxido de carbono, para la Facultad Regional Delta.

Tabla 7. Resumen de la emisión total anual de dióxido de carbono en kilogramos

Alcance 1	Alcance 2	Alcance 3	Total emisiones kg CO ₂ e
26.713	116.309	550.894	693.916

El total resultante es de 693.916 kilogramos anuales de dióxido de carbono equivalente, lo cual representa la HC de la Facultad correspondiente al año 2023. En la (Fig. 1) se observa la incidencia porcentual de cada rubro considerado.

Emisiones CO₂ porcentuales de la institución

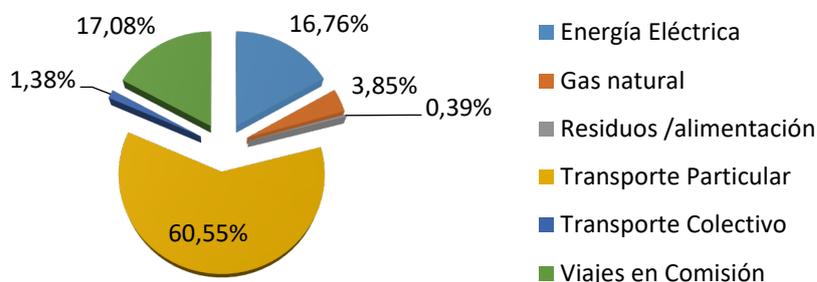


Figura 1: Incidencia porcentual de cada rubro

Conclusiones

Las mayores emisiones están asociadas a los traslados a la facultad, seguido por el consumo de electricidad de los artefactos eléctricos y la calefacción a gas natural.

La HC calculada, basada en datos del año 2023, es de 694 toneladas anuales de dióxido de carbono equivalente, menor a la calculada en la primera ocasión de 850 toneladas en el año 2013. Aquí debemos hacer una salvedad, para el año 2023 se tuvo en cuenta *Viajes en comisión*, que no se tomó en el año 2013, lo que arrojaría si no se lo considera un valor de 576 toneladas anuales de CO₂e para el 2023, comparable entonces metodológicamente con el año 2013, aún menor. No se ha tomado en cuenta la realización de índices como por ejemplo el HC/persona, para comparar con el año 2013, dado que éste fue un año atípico por la gran cantidad de personas que asistieron a los cursos extracurriculares.

En los alcances 1 y 2 es, donde la facultad tiene una acción directa para lograr disminuir la HC.

Además, que hubo una reducción en el consumo de GN debido a que se reemplazó el uso de una caldera de agua caliente para losa radiante por calefactores, permitiendo que se pueda realizar un mejor control sobre su uso, reduciendo las emisiones de 87 en 2013 a 27 en 2023; en el caso de la energía eléctrica la reducción de 205 en el 2013 a los 132 en el 2023, se debieron principalmente al remplazo en toda la facultad de los tubos fluorescentes a tubos led.

Se seguirá identificando puntos en los cuales se pueda disminuir los consumos, ya algunos en estudio como el aislamiento de paredes y el cambio de vidrio simple por vidrio doble y mejorar la herrería en ventanas, entre otros. También se continuará en la concientización de la comunidad universitaria en el uso de los equipos de climatización, aire acondicionado o calefactores, para su uso en temperaturas de confort según norma, para cada período climático

En el caso del Alcance 3 el preponderante es el del transporte, comparando con el del 2013 que fue de 545 y en el 2023 fue de 420. La intervención de la facultad es más indirecta, particularmente para el caso de transporte, por lo tanto, se trabajará en concientizar del uso de los medios públicos para la llegada a la facultad en lugar de vehículos propios o compartir los mismos. Estas acciones podrán ser identificadas en próximas evaluaciones o el ajuste de los datos por medio de nuevas encuestas. Se está instrumentando por medio de formularios del tipo Google Forms para escaneo por QR o subidos al campus de la facultad, tanto de transporte como del consumo de alimento. Estos nuevos datos originarán ajustes permanentes o por ciertos periodos de la línea de base, para su comparación de un año a otro.

Agradecimientos

Agradecemos la colaboración de toda la comunidad universitaria, por el aporte realizado para el trabajo.

Referencias

- FAOSTAT (2001). Food Balance Sheet – Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database.
- IPCC (2006). Intergovernmental Panel on Climate Change compuesto por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Resolución 43/53. <https://www.ipcc.ch/>
- IPCC (2023). Informe de síntesis del AR6: Cambio climático. Consultado el 11 de marzo de 2024 en: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>
- IRAM-ISO 14064-1 2020 Gases de efecto invernadero - Especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de GEI.
- Leanza, L. y Parente, J. (2016). " Estudio de la HC de la Facultad Regional Delta", Revista Tecnología y Ciencia, Universidad Tecnológica Nacional, 16, 156.
- Leanza, L., Parente, J., Varanese, C. (2007). Implementación de un sistema de gestión de residuos en unidades educativas. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente; Vol.11, pp.5-12.
- <https://ghgprotocol.org/> , Consultado 18 de octubre de 2023
- <https://surtidoreslatam.com/el-63-por-ciento-del-parque-automotor-de-argentina-es-naftero/> , Consultado el 20 de mayo de 2024
- https://www.motociclismo.es/noticias/cuanta-gasolina-se-gasta-por-km-como-calcularlo-ecn_271507_102.html , Consultado 11 de abril de 2024
- Rojas Wang José Pablo, revista Éxito Empresarial, No. 140 pp. 1 – 4, publicación periódica CEGESTI, Costa Rica.
- SAyDS – Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable - HYPERLINK
"mailto:cambioclimatico@ambiente.gov.ar" cambioclimatico@ambiente.gov.ar – 2008

Modelado mediante Sistemas Multiagentes de la redistribución espacial de un contaminante minoritario en suelo, por acción de la cobertura vegetal

Modeling using Multi-Agent Systems of spatial redistribution of a minor contaminant in soil through the action of vegetation cover

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Natalia Carolina Bustos

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Argentina
Nataliacaruline@hotmail.com

Claudia Marina Sánchez

Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación (UNC)
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Argentina
Claudiamarina70@gmail.com

Javier Britch

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Argentina
javierbritch@hotmail.com

Resumen

En este trabajo se presenta un modelo de Sistema Multiagentes donde se describen agentes “vegetación” en presencia de un contaminante, distribuidos uniformemente en un hábitat. Cada agente vegetación se modela con un crecimiento sigmoide y posee biomasa aérea y radicular reguladas por la relación alométrica raíz/parte aérea. Los agentes se encuentran inicialmente distribuidos en parches y presentan una densidad superficial de biomasa total inicial, pudiendo de esta manera crecer, reducirse o inclusive desaparecer del hábitat. Se modela también, el ingreso del contaminante al agente vegetación desde la raíz, su distribución, acumulación y retorno al sistema si el agente vegetación desaparece del hábitat. Este modelo permite mostrar la evolución temporal de los parches y el comportamiento del contaminante. Se estudian variables de interés ecosistémico tales como la distribución espacial del agente vegetación, el contaminante minoritario y además su redistribución debido a la cobertura vegetal.

Palabras claves: Ecosistemas, Sistemas Multiagentes, Contaminación.

Abstract

In this work a Multi-Agent System (MAS) model is presented where "vegetation" agents are described in the presence of a contaminant, uniformly distributed within a habitat. Each vegetation agent is modeled with sigmoidal growth and possesses both aerial and root biomass, regulated by the root/aerial part allometric relationship. The agents are initially distributed in patches and exhibit an initial total biomass surface density, allowing them to grow, shrink, or even disappear from the habitat. The model also simulates the uptake of the contaminant by the vegetation agent through the roots, its distribution, accumulation, and return to the system if the vegetation agent disappears from the habitat. This model allows for the temporal evolution of patches and the behavior of the contaminant to be observed. Ecosystem variables of interest, such as the spatial distribution of the vegetation agent, the minor contaminant, and its redistribution due to vegetation coverage, are also studied.

Keywords: Ecosystems, Multi-Agent Systems, Contamination.

Introducción

La presencia de metales pesados en suelos, constituye un serio problema ambiental (Hermoso et al., 2008). Muchos de estos metales, son micronutrientes esenciales para plantas y animales (Coyago y Bonilla, 2014, Rodríguez et al., 2019), pero en concentraciones altas pueden causar toxicidad a causa de su naturaleza no biodegradable. Una vez en el suelo, los metales pesados pueden quedar retenidos en el mismo, pero también pueden ser movilizados en la solución del suelo mediante diferentes mecanismos biológicos y químicos (Pagnanelli et al., 2004). La movilidad relativa de los elementos traza en suelos es de suma importancia en cuanto a su disponibilidad y su potencial para lixiviarse de los perfiles del suelo al agua subterránea (Yin et al., 2003). Algunos estudios han mostrado que el Si, Cu, Ni y Co presentan movilidad elevada; As, Sb, Mn y Fe movilidad baja; Ba muy baja y Pb, Cd y Ag prácticamente inmóviles (Collado Fernández, 2002). En general, los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir varias vías diferentes (García, I. y Dorronsoro, C., 2005), siendo la absorción por las plantas la de interés en este estudio, ya que permite la incorporación de los contaminantes a la cadena trófica (Prieto et al., 2009).

Las plantas han desarrollado mecanismos muy específicos como las raíces para absorber, translocar y acumular nutrientes (Lasat, M., 2000); sin embargo, algunos metales y metaloides son absorbidos, translocados y acumulados debido a que presentan un comportamiento electroquímico similar a los elementos nutritivos esenciales (Souza et al., 2005). La fitotoxicidad ocasionada por las altas concentraciones de metales pesados da como resultado crecimiento débil de las plantas, reducción en la captación de los nutrientes, desórdenes en el metabolismo y estrés oxidativo. Este último, puede afectar la fotosíntesis y los procesos reproductores, reducir la producción de clorofila e interferir con el proceso metabólico y disminuir la germinación de las semillas (Smith et al., 2010).

Por lo tanto, una correcta descripción de la distribución de las raíces y su relación con la parte aérea pueden ayudar a determinar la absorción de contaminantes desde el suelo y su incorporación a la cadena trófica o establecer estrategias de fitorremediación ambiental (Shah et al., 2020).

Metodología

Se elaboró un código en el entorno Matlab que simula un hábitat plano circular de radio R_h (Radio de hábitat) donde se encuentran agentes vegetación, los cuales pueden interactuar con contaminantes minoritarios distribuidos uniformemente en el hábitat. Los agentes vegetación se distribuyen en parches al azar en este hábitat y presentan una densidad superficial de biomasa inicial, también al azar, en un intervalo definido por densidades mínima y máxima (ρ_{min} , ρ_{max}). Los agentes vegetación presentan un ritmo de crecimiento sigmoidal (Yin et al., 2003), el cual determina su esperanza de vida y puede ser regulada externamente, ajustando los parámetros del crecimiento. Los agentes vegetación poseen una biomasa aérea y radicular. La parte aérea del parche, la cual tiene inicialmente al azar un radio R_f , regula el crecimiento y reproducción del agente vegetación. El crecimiento del agente aumenta en cada paso temporal de la simulación (ΔT). La densidad superficial de biomasa aérea de cada parche se calcula en cada ΔT y si ésta es mayor a ρ_{max} , su radio aumenta para que la densidad sea igual a ρ_{max} . Análogamente, si la densidad del parche es menor a ρ_{min} su radio disminuye para que la densidad sea igual a ρ_{min} . El agente vegetación produce una semilla, si la densidad de la parte aérea de cada parche supera la densidad máxima y además su radio es mayor a R_{fmax} . La semilla se introduce en el hábitat alrededor de su progenitor y germina al comienzo de cada ciclo para pasar al estatus de agente vegetación. La parte radicular del agente vegetación posee inicialmente al azar, un radio R_r . El crecimiento o decrecimiento de la raíz está regulado por la relación alométrica raíz/ parte aérea (Di Benedetto, M. y Tognetti, J.; 2016). El modelo incorpora la competencia entre agentes vegetación a través de sus raíces. Si los radios de las raíces en cada paso temporal se intersecan, gana el agente que posea mayor biomasa mientras que el agente vegetación perdedor reduce su biomasa. De esta manera los parches de cada agente vegetación pueden crecer o reducirse hasta inclusive desaparecer. Ajustando la cantidad de parches, su radio y el rango de densidades se pueden representar situaciones de fragmentación de la cobertura vegetal de degradación continua o de pérdida absoluta (Sánchez et al., 2023).

Por otra parte, se modela el contaminante minoritario como una partícula puntual con distribución uniforme cuya movilidad relativa es nula (Collado Fernández, 2002). La absorción de éste se realiza a través de la parte radicular del agente. Si la distancia entre el agente vegetación y el contaminante es menor a R_r , este último es absorbido por el agente y se acumula en un contador de contaminantes, de tal manera que si el agente vegetación desaparece del hábitat los contaminantes acumulados retornan al mismo, en la posición del agente donde estaban acumulados.

Resultados y análisis

A continuación, se muestran los resultados obtenidos con la simulación en base a un conjunto de parámetros, en unidades arbitrarias, y datos iniciales para ejemplificar la información obtenida. Los mismos se consignan en la Tabla 1.

El ritmo de crecimiento de los agentes fue ajustado para que la esperanza de vida de cada agente vegetación sea aproximadamente de un ciclo (365 pasos temporales en la simulación) y la relación alométrica raíz/parte aérea se ajustó según la bibliografía (Di Benedetto, M. y Tognetti, j.; 2016). Por otra parte, el modelo contempla una competencia entre raíces baja (los agentes perdedores de la competencia reducen su biomasa en un diez por ciento).

Tabla 1. Valores de los parámetros utilizados en las simulaciones

Tamaño del hábitat $R_h = 100$	Densidad máxima ρ_{max}	Densidad mínima ρ_{min}	Radio biomasa aérea máximo R_{fmax}	Radio biomasa aérea mínimo R_{fmin}	Radio biomasa raíz máximo R_{rmax}	Radio biomasa raíz mínimo R_{rmin}
Agente Vegetación $N_p = 100$	1,6	0,4	6	1	5	2
Contaminante $N_c = 1500$						

La figura 1 muestra las posiciones y tamaños iniciales de los agentes vegetación (en color verde), así como las posiciones iniciales de los contaminantes (puntos grises) en el hábitat.

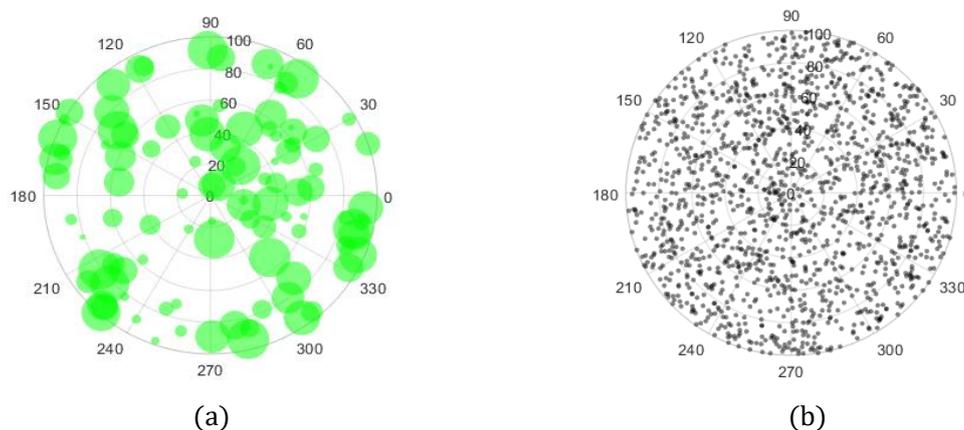


Figura 1. (a) posiciones y tamaños iniciales de los agentes vegetación (verde). (b) posiciones iniciales de los contaminantes (puntos grises).

La figura 2 muestra una secuencia para tres tiempos (100, 900, 3500 pasos temporales) de la evolución del sistema agente vegetación-contaminante. Se muestra en la figura 2.a, los parches de vegetación y los radios de las raíces. Los colores muestran las distintas densidades de los agentes vegetación. En la figura 2.b, se muestra las posiciones de los contaminantes (puntos grises). Podemos observar a partir de la figura 2.a, el crecimiento y decrecimiento de los parches, la desaparición de éstos del hábitat, el nacimiento de nuevos agentes vegetación y la redistribución del paisaje en el hábitat. Note el crecimiento de los parches más allá del límite inicial dado. Por otra parte, en la figura 2.b, podemos observar vaciamiento de contaminantes en las zonas donde hay presencia de parches de vegetación por la acumulación de éstos en los agentes. Note, que la desaparición de los parches de vegetación produce acumulación de contaminantes (puntos negros). Es decir, al desaparecer el agente del hábitat, el contaminante acumulado, retorna al hábitat en la misma posición del agente, conjuntamente con todos los contaminantes acumulados por éste hasta ese paso temporal. Se puede notar una redistribución del contaminante que, aunque fue modelado fijo en el hábitat, cambia su posición e incluso en algunos casos excede el límite inicial de éste.

Para caracterizar cuantitativamente las distribuciones espaciales observadas, el código implementado calcula para cada unidad de tiempo, posición promedio y desviación estándar σ (Papoulis, 1991; Spiegel y Stephens, 2009). La figura 3 y figura 4 muestran la evolución de estos parámetros sobre la ordenada (eje vertical) para los agentes vegetación y los contaminantes, respectivamente.

Se puede notar para el agente vegetación, apartamientos de los dos momentos de la distribución espacial

estudiados respecto de los correspondientes a una distribución espacial homogénea. En la figura 3, se observa que la distribución de los agentes vegetación presenta con mayor frecuencia desplazamientos hacia valores negativos de la ordenada, lo que sugiere un cambio en la distribución de los parches y el paisaje del hábitat. Por otra parte, para los contaminantes, podemos observar que el valor medio de la ordenada es cercano a cero para los primeros pasos temporales, presentando fluctuaciones moderadas a medida que el sistema evoluciona. En el recuadro de la figura 3, se muestra otra corrida del modelo. Note que, para esta corrida, el desplazamiento de los agentes vegetación es mayor a valores positivos de la ordenada, poniendo en evidencia la naturaleza estocástica del modelo. En la figura 4 para los agentes vegetación, se observa que la desviación estándar crece hacia valores por encima del valor asignado inicialmente al hábitat, lo que indica la colonización de territorio de los agentes más allá del límite inicial.

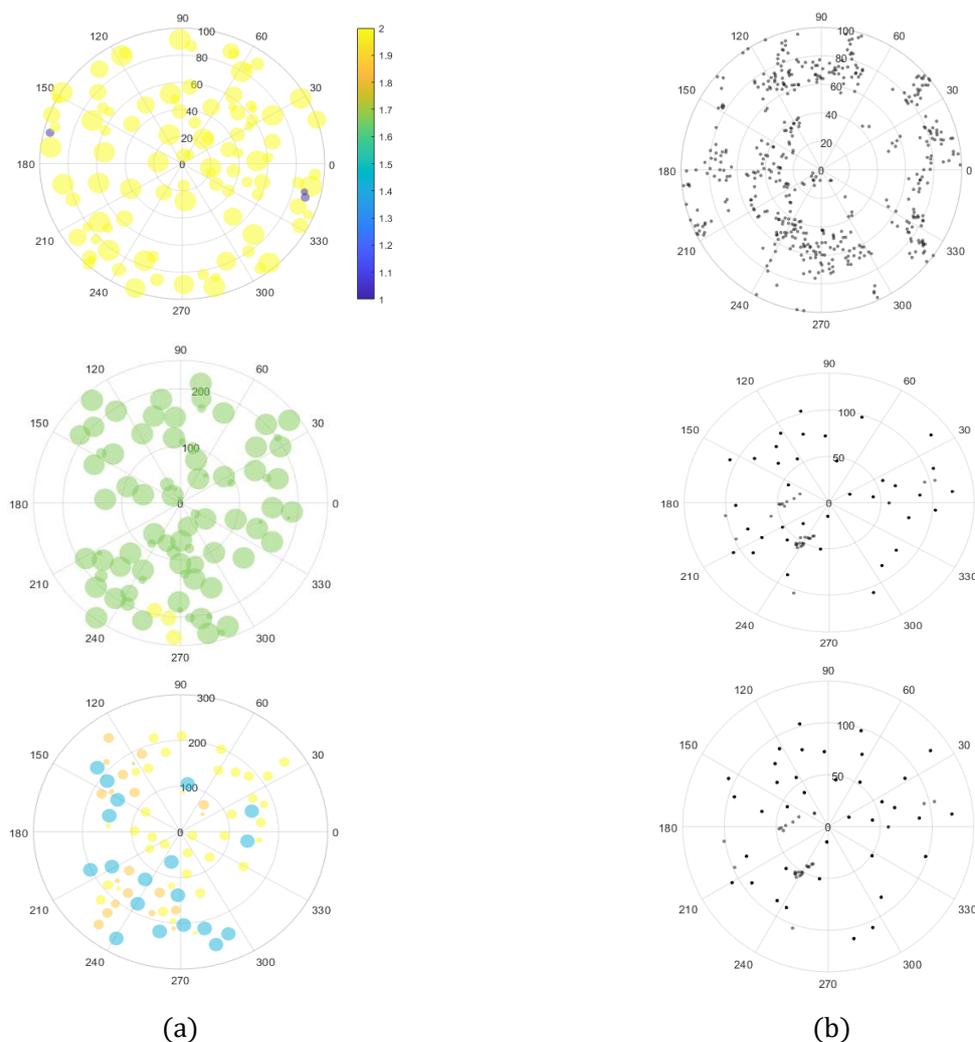


Figura 2. Secuencia temporal para tres tiempos distintos (100, 900, 3500 pasos temporales)
(a) Agentes vegetación (b) Contaminante (puntos grises).

Por otra parte, la desviación estándar para los contaminantes no presenta fluctuaciones pronunciadas como las de los agentes vegetación, lo que sugiere que, aunque los contaminantes pueden redistribuirse, acumularse e inclusive en algunos casos, exceder el límite inicial del hábitat debido a la cobertura vegetal, su migración a otras áreas no es significativa para los valores de los radios de las raíces propuestos.

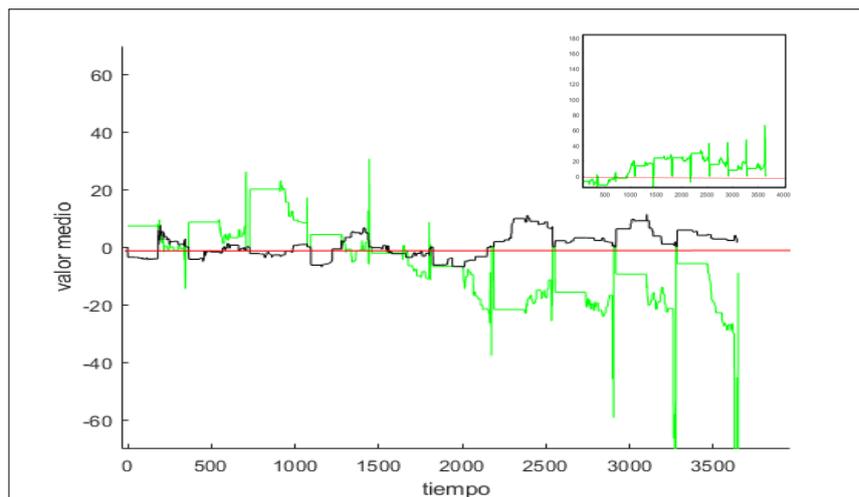


Figura 3. Evolución temporal del análisis estadístico de la distribución espacial de los agentes vegetación (en verde) y el contaminante (en negro) para el valor medio de la ordenada.

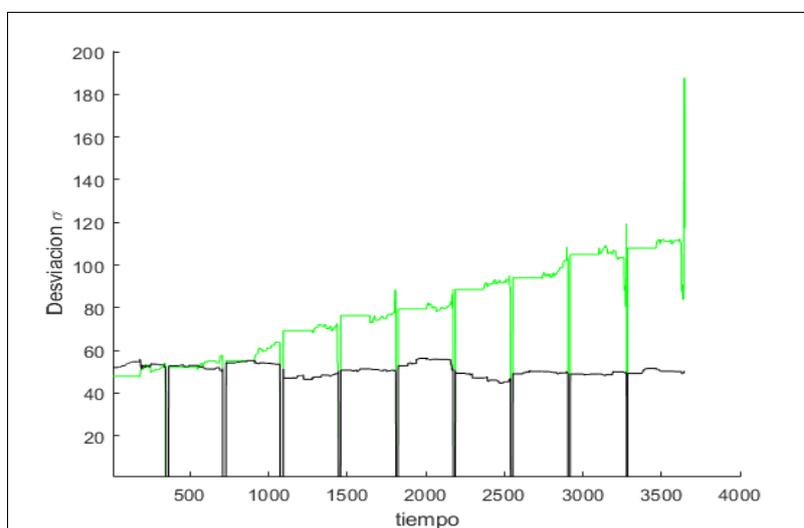


Figura 4. Evolución temporal del análisis estadístico de la distribución espacial de los agentes vegetación (en verde) y el contaminante (en negro) para la desviación estándar, σ .

Conclusiones y perspectivas

Se desarrolló un código en Matlab para un sistema Multiagente que presenta agentes vegetación y contaminantes en un hábitat plano circular. Se modeló el ritmo de crecimiento de la biomasa del agente vegetación de tipo sigmoideal. Además, se tuvieron en cuenta relaciones alométricas que vinculan la parte aérea y la parte radicular para el crecimiento, reproducción y desaparición del hábitat de los agentes vegetación.

Los resultados obtenidos han sido razonables y satisfactorios. El análisis de los mismos sugiere una mayor exploración de la relación entre el radio de la raíz del agente y la captación de contaminantes. Raíces de radios mayores a los considerados podrían capturar más contaminantes, pero un estudio más profundo de la relación alométrica raíz/parte aérea y la competencia entre raíces, es necesario para conocer límites máximos de crecimiento de las mismas.

Por otra parte, la versatilidad del código permitirá estudiar una descripción más próxima a especies vegetales abundantes en sistemas ecoproductivos y/o silvopastoriles y la complejización mediante el agregado de otro agente móvil representativo de un consumidor de primer orden a través del cual puede ocurrir biomagnificación. El modelo puede también, ser utilizado como una herramienta potencial para la planificación de un tratamiento de fitorremediación de suelo o estudiar la distribución de micronutrientes posibilitando la planificación de la aplicación temporal y espacial de fertilizantes.

Agradecimientos

A la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) por el apoyo a través del proyecto PID "Aproximación al Modelado Ecosistémico de la Relación Presa - Predador Mediante Sistemas

Multiagente” y a la UTN – Facultad Regional Córdoba donde realizamos nuestro trabajo.

Referencias

- Coyago, E., Bonilla, S. (2014). "Absorción de plomo de suelos altamente contaminados en especies vegetativas usadas para consumo animal y humano". *La Granja: Revista de ciencias de la vida*, 23, 35-46.
- García, I. y Dorronsoro, C. 2005. "Contaminación por metales pesados". En *Tecnología de Suelos*. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Disponible en <<http://edafologia.ugr.es>>
- Hermoso de Mendoza García, M., Solres Rodríguez, F., Pérez López, M. (2008). "Los mamíferos salvajes terrestres como bioindicadores: nuevos avances en toxicología". *Observatorio Medioambiental*, 11, 37-62.
- Lasat M. (2000). "Phytoextraction of metals from contaminated soil: a review of plant/soil/metal interaction and assessment of pertinent agronomic issues". *J. Hazard Subst Res* 2, 1–25.
- Pagnanelli, F., Moscardini, E., Giuliano, V. and Toro, L. (2004). "Sequential Extraction of Heavy Metals in River Sediments of an Abandoned Pyrite Mining Area: Pollution Detection and Affinity Series". *Environmental Pollution*, 132,189-201.
- Papoulis, A (1991) "Probability, random variables, and stochastic processes" 3er edición. ISBN 0-07-048477-5.
- Prieto Méndez, J., González Ramírez, C. A., Román Gutiérrez, A. D., y Prieto García, F. (2009). "Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua". *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10,1-3.
- Rodríguez Eugenio, N., McLaughlin, M. y Pennock, D. (2019). "La contaminación del suelo: una realidad oculta". Roma, FAO.
- Sánchez C., Bustos, N. Brusa, D., Re, M.; Britch, J., (2023). "Modelado de la dinámica poblacional en un ecosistema simple compuesto de una cobertura vegetal y un consumidor primario mediante un sistema multiagentes.". *Jornadas de Ciencias y Tecnología. AJEA (26)*. Disponible en < <https://rtyc.utn.edu.ar/index.php/ajea/article/view/1301/1214>>.
- Shah, V., y Daverey, A. (2020). "Environmental technology and innovation phytoremediation: a multidisciplinary approach to clean up heavy metal contaminated soil". *Environmental Technology and Innovation*, 18, 100774.
- Smith E.S., Christophersen M.H., Pope S., y Andrew S.F. (2010). "Arsenic uptake and toxicity in plants: integrating mycorrhizal influences". *Plant Soil*. 327, 1-21.
- Souza F.J., Dolder H. y Cortelazzo A.L. (2005). "Effect of excess cadmium and zinc ion son roots and shoots of maize seedlings". *J. Plant Nutr.* 28, 1923-1931.
- Spiegel, M y Stephens, L (2009) "Estadística" 4ta edición. McGraw-Hill/Interamericana Editores,S.A. ISBN-13: 978-970-10-6887-8
- Yin, X., Goudriaan, J., Lantinga, E.A., Vos, J., Spiertz, H.J. (2003). "A flexible sigmoid function of determinate growth". *Annals of Botany* 91,3, 361-371.

Análisis Estadístico de Madurez y Permeabilidad Digital en Empresas de Córdoba

Statistical analysis of digital maturity and permeability in Cordoba companies

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Valeria Giletta

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina
vgiletta@facultad.sanfrancisco.utn.edu.ar

Laura María Rivara

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina
laurarivara@hotmail.com

Oscar Rete

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina
oscar.rete@sanfrancisco.utn.edu.ar

Ezequiel Gribaudo

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina
egribaudo@facultad.sanfrancisco.utn.edu.ar

Luis Brunetto

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina
luisbrunetto@itech3d.com.ar

Resumen

Este estudio analiza la madurez y permeabilidad digital en empresas de Córdoba, Argentina, mediante autodiagnósticos y relevamientos productivos. Se evaluaron 57 empresas de sectores como Maquinaria Agrícola, Metalmecánica y Electrónica/Automatismo. El análisis, basado en el modelo de las 7M de Procesos y dimensiones adicionales (Müller et al., 2018), no reveló diferencias significativas en la madurez digital entre sectores o ubicaciones. Sin embargo, se encontraron discrepancias entre los resultados del autodiagnóstico y el relevamiento productivo, sugiriendo una posible desalineación entre percepción interna y realidad operativa (Kane et al., 2017). Estos hallazgos subrayan la importancia de utilizar herramientas complementarias para evaluar la madurez digital. El estudio contribuye a la comprensión de la transformación digital en un contexto regional específico, ofreciendo insights para estrategias de mejora empresarial.

Palabras clave: Madurez digital, permeabilidad digital, transformación digital, análisis estadístico, industria 4.0

Abstract

This study analyses digital maturity and permeability in companies in Córdoba, Argentina, using self-assessments and production surveys. Fifty-seven companies from sectors such as Agricultural Machinery, Metalworking and Electronics/Automation were evaluated. The analysis, based on the 7M Process model and additional dimensions (Müller et al., 2018), revealed no significant differences in digital maturity across sectors or locations. However, discrepancies were found between self-assessment and production survey results, suggesting a possible misalignment between internal perception and operational reality (Kane et al., 2017). These findings underscore the importance of using complementary tools to assess digital maturity. The study contributes to understanding digital transformation in a specific regional context, offering insights for business improvement strategies.

Keywords: Digital maturity, digital permeability, digital transformation, statistical analysis, Industry 4.0

Introducción

La transformación digital ha emergido como un factor clave para la competitividad y sostenibilidad de las empresas en la era contemporánea, revolucionando modelos de negocio, estructuras organizativas y procesos operativos (Vial, 2019). En este contexto, la madurez digital se erige como una métrica esencial que mide el grado de adaptación de una organización a las exigencias del entorno digital. Esta adaptación abarca la integración de tecnologías digitales en todas las áreas del negocio, incluyendo procesos, cultura organizacional, estructura de gestión y estrategia (Schallmo & Williams, 2018).

El concepto de madurez digital se encuentra intrínsecamente vinculado al modelo de Industria 4.0, el cual fue introducido en Alemania en 2011 y ha influido notablemente en la evaluación de la madurez digital a nivel global (Schuh et al., 2017). Este modelo conceptualiza seis etapas de desarrollo digital que proporcionan un marco sólido para comprender y evaluar la transformación digital en contextos industriales variados. Sin embargo, la madurez digital no depende exclusivamente de la tecnología, sino que también está profundamente influenciada por factores como la cultura organizacional y la capacidad de aprendizaje continuo (Gill & VanBoskirk, 2016).

En este sentido, la permeabilidad digital, un concepto relacionado con la madurez digital, se refiere a la habilidad de una organización para absorber e integrar tecnologías digitales de manera fluida en sus operaciones y estrategias (Westerman, Bonnet, & McAfee, 2014). Este concepto es especialmente relevante en regiones como Córdoba, Argentina, donde las empresas enfrentan desafíos específicos en términos de infraestructura y acceso a tecnologías avanzadas. La permeabilidad digital, por tanto, refleja la capacidad de una empresa para adaptarse de manera efectiva a las dinámicas cambiantes del entorno digital.

El Grupo de Investigación CIPI de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional San Francisco ha desarrollado un modelo de evaluación de madurez digital desde 2019 que combina las 7M de Procesos (Mano de obra, Métodos, Máquinas, Materiales, Mediciones, Medio ambiente y Management) con dimensiones adicionales como Estructura Organizacional, Sistemas de Información, Cultura y Recursos. Esta metodología holística permite una evaluación integral de la madurez digital, adaptada a las particularidades de las empresas locales (Müller et al., 2018).

El presente estudio se enfoca en el análisis estadístico de la madurez y permeabilidad digital en empresas de la provincia de Córdoba, Argentina, utilizando herramientas de evaluación que incluyen un autodiagnóstico realizado por las propias empresas y un relevamiento productivo efectuado por expertos. Este enfoque dual permite contrastar la percepción interna con una evaluación externa, proporcionando una visión más completa del estado de madurez y permeabilidad digital (Kane, Palmer, & Phillips, 2017).

Los datos disponibles muestran que la difusión de las tecnologías digitales en todos los países dista de haberse completado. Aunque la mayoría de las empresas tiene ya acceso a redes de banda ancha de alta velocidad, hasta ahora las herramientas y aplicaciones digitales más avanzadas y propicias para el aumento de la productividad, como los sistemas de planificación de recursos empresariales o los análisis de macrodatos, se han difundido a un número mucho menor de empresas, la evidencia disponible señala que lo mismo sucede en los países de América Latina y el Caribe (OECD, 2019).

El objetivo central es identificar diferencias significativas en el nivel de madurez digital entre empresas de diversos sectores productivos y ubicaciones geográficas dentro de la provincia de Córdoba. Adicionalmente, se evalúa la congruencia entre los resultados del autodiagnóstico y los del relevamiento productivo para identificar discrepancias que podrían señalar áreas de mejora en la percepción interna versus la realidad operativa. Este trabajo no solo contribuye a la literatura sobre transformación digital en un contexto regional específico, sino que también aborda la necesidad de múltiples perspectivas para una evaluación más profunda y completa de la madurez digital (Verhoef et al., 2022).

Desarrollo

Metodología

Este estudio emplea un enfoque cuantitativo centrado en un análisis estadístico riguroso de datos recolectados mediante dos instrumentos: un autodiagnóstico y un relevamiento productivo. Estos instrumentos fueron diseñados para evaluar integralmente la madurez y permeabilidad digital de empresas en la prov. de Córdoba.

El autodiagnóstico captura la percepción interna de las empresas sobre su madurez digital, abarcando dimensiones clave como estructura organizacional, sistemas de información, cultura empresarial y recursos

disponibles (Müller et al., 2018). Este enfoque sistémico permite identificar fortalezas y áreas de mejora en la transformación digital.

El relevamiento productivo, realizado por expertos en procesos industriales, ofrece una evaluación objetiva de la integración tecnológica en las operaciones empresariales. Se aplicaron técnicas estadísticas de análisis descriptivos y exploratorios para analizar las características particulares de cada sector y localización de las organizaciones, así como también técnicas de inferencia estadística no paramétricas: análisis de varianza de Kruskal-Wallis, para identificar diferencias significativas en la madurez digital entre sectores y regiones de Córdoba (Schuh et al., 2017). Las categorías se establecieron considerando las particularidades de la región.

Se trabajó con un nivel de significación del $\alpha = 0,10$. El software Infostat fue utilizado para asegurar un análisis preciso y confiable de los datos recolectados. Este programa estadístico desarrollado en el ambiente Windows ofrece una interfaz avanzada para el manejo de datos basada en el difundido concepto de planilla electrónica, permitió llevar adelante el análisis no paramétrico mencionado.

Herramientas de Diagnóstico

Las herramientas de diagnóstico empleadas en este estudio son cruciales para obtener una visión comprensiva de las capacidades digitales de las empresas, considerando tanto la percepción interna como la evaluación externa.

El autodiagnóstico permite a las empresas evaluar su madurez digital a través de dimensiones clave, como estructura organizacional, sistemas de información, cultura empresarial y recursos, siguiendo modelos como el de Gill y VanBoskirk (2016). Este instrumento ha sido adaptado para reflejar el contexto específico de las empresas en Córdoba.

El relevamiento productivo, basado en las "7M de Procesos" (Mano de obra, Métodos, Máquinas, Materiales, Mediciones, Medio ambiente y Management), se enfocó en un análisis detallado de los procesos operativos, identificando fortalezas y áreas de mejora en la integración de tecnologías digitales (Müller et al., 2018). Se analizaron 17 empresas de sectores como Electrónica/Automatismo, Maquinaria Agrícola y Metalmecánica, proporcionando una base sólida para comparaciones intersectoriales y regionales.

Hallazgos

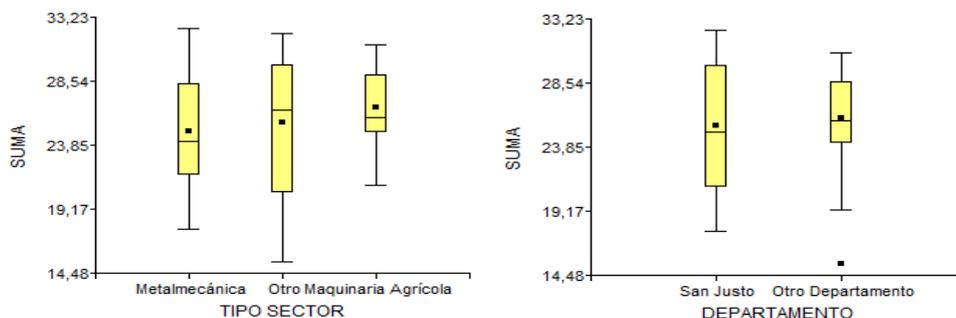
Resultados de Autodiagnóstico

Se evaluaron los resultados del autodiagnóstico considerando el puntaje final, diferenciando por sector y ubicación de las empresas. Participaron 57 empresas de la provincia de Córdoba, obteniendo un puntaje promedio de 25,62 sobre 35, con una desviación estándar de 4,33 puntos. El 50% de las empresas alcanzaron 25,54 puntos o menos.

La figura 1.a muestra los gráficos de caja del puntaje total del autodiagnóstico por sector. Se observa que el sector de Maquinaria Agrícola presenta una menor variabilidad en los resultados comparado con los sectores de Electrónica/Automatismo y Metalmecánica.

En cuanto a la ubicación, las empresas del departamento San Justo mostraron una mayor variabilidad en los puntajes en comparación con las de otras regiones de la provincia (Figura 1.b).

A continuación, se presentan los gráficos de caja generados con el software Infostat.



a. Autodiagnóstico según sector

b. autodiagnóstico según ubicación

Figura 1. BoxPlot resultado del autodiagnóstico

Las siguientes tablas, generadas con el software estadístico Infostat, presentan los resúmenes de las diferentes categorías según ambos criterios de clasificación.

Tabla 1. Medidas Resumen del Puntaje del Autodiagnóstico por sector

TIPO SECTOR	Variable	n	Media	D.E.	CV	Mediana
Maquinaria Agrícola	SUMA	17	26,65	3,26	12,25	25,84
Metalmecánica	SUMA	20	24,86	4,48	18,04	24,10
Otro	SUMA	20	25,50	4,96	19,43	26,45

Tabla 2. Medidas Resumen del Puntaje del Autodiagnóstico por localización

DEPARTAMENTO	Variable	n	Media	D.E.	CV	Mediana
Otro Departamento	SUMA	24	25,94	3,67	14,15	25,77
San Justo	SUMA	33	25,39	4,79	18,88	24,99

Tabla 3. Medidas resumen considerando las diferentes dimensiones individualizadas según su ubicación.

DEPARTAMENTO	Variable	n	Media	D.E.	CV	Mediana
Otro Departamento	ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	24	8,03	0,87	10,82	8,30
Otro Departamento	SISTEMAS DE INFORMACIÓN	24	7,21	1,25	17,35	7,50
Otro Departamento	CULTURAL	24	3,68	0,81	21,89	3,84
Otro Departamento	RECURSOS	24	7,01	2,15	30,65	7,00
San Justo	ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	33	7,50	1,15	15,38	7,69
San Justo	SISTEMAS DE INFORMACIÓN	33	6,58	1,73	26,23	6,50
San Justo	CULTURAL	33	3,70	0,89	24,07	4,00
San Justo	RECURSOS	33	7,60	2,15	28,31	8,00

Los resultados muestran que, en promedio, las empresas del resto de la provincia de Córdoba obtuvieron puntajes más altos en las categorías de Estructura Organizacional y Sistemas de Información, mientras que, en la categoría de Recursos, las empresas del departamento San Justo tuvieron un puntaje superior. En la dimensión de Cultura, la diferencia promedio fue mínima, de solo 0,02 puntos. La dimensión de Recursos presentó la mayor heterogeneidad, con un coeficiente de variación del 30,65% para otros departamentos y 28,31% para San Justo.

Se realizaron análisis de varianza para evaluar diferencias significativas en la madurez digital según sector y ubicación. A un nivel de significación del 10%, no se encontraron diferencias significativas entre las empresas de los sectores de Maquinaria Agrícola, Metalmecánica, y otros, ni entre las empresas de San Justo y el resto de la provincia. Las tablas 4 y 5 muestran estos resultados.

Tabla 4. Resultado del ANOVA No Paramétrico para la variable resultado del autodiagnóstico según la clasificación de Sector de actividad de la empresa. Prueba de Kruskal Wallis

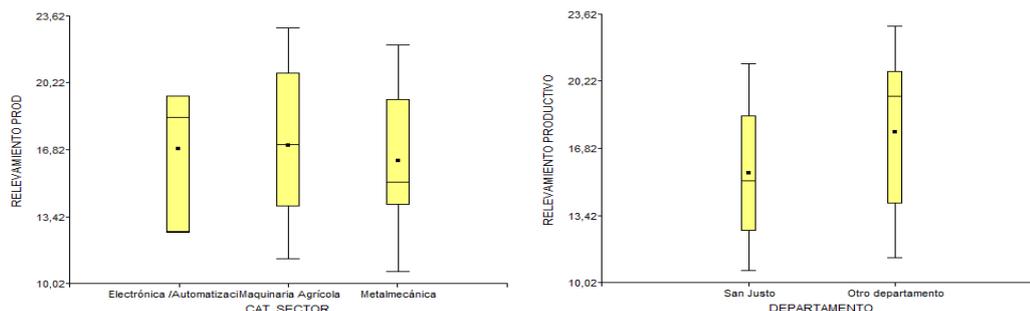
Variable	TIPO SECTOR	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
SUMA	Maquinaria Agrícola	17	26,65	3,26	25,84	1,55	0,4597
SUMA	Metalmecánica	20	24,86	4,48	24,10		
SUMA	Otro	20	25,50	4,96	26,45		

Tabla 5. Resultado del ANOVA No Paramétrico para la variable resultado del autodiagnóstico según la clasificación de Localización. Prueba de Kruskal Wallis

Variable	DEPARTAMENTO	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
SUMA	Otro Departamento	24	25,94	3,67	25,77	0,25	0,6163
SUMA	San Justo	33	25,39	4,79	24,99		

Resultados de Relevamiento Productivo

A continuación, se muestra el análisis exploratorio de los resultados del relevamiento productivo. Las siguientes tablas se muestran las medidas resumen de los relevamientos productivos según el criterio de clasificación de sector y localización, además podemos destacar que empresas alcanzadas alcanzaron en promedio de 16,79 puntos con una desviación de 4,01, mientras que el 50% de las empresas alcanzaron 17,01 puntos o menos.



a. Relevamiento según sector

b. Relevamiento según ubicación

Figura 2. BoxPlot resultado del relevamiento

Tabla 6. Medidas Resumen del puntaje del Relevamiento Productivo por sector

CAT. SECTOR	Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx
Electrónica/Automatización..	SUMA RELEV PROD	3	16,88	3,71	12,64	19,55
Maquinaria Agrícola	SUMA RELEV PROD	9	17,05	4,26	11,27	23,00
Metalmecánica	SUMA RELEV PROD	5	16,27	4,53	10,64	22,14

Tabla 7. Medidas Resumen del puntaje del Relevamiento Productivo por localización

DEPARTAMENTO	Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx	Mediana
Otro departamento	SUMA RELEV PROD	10	17,64	4,25	11,27	23,00	19,46
San Justo	SUMA RELEV PROD	7	15,57	3,58	10,64	21,09	15,18

Se realizó un análisis de varianza para determinar si existían diferencias significativas en los relevamientos productivos de madurez digital entre empresas, clasificadas por sector y ubicación. Los resultados, presentados en las tablas 8 y 9, no proporcionan evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula en ambos casos. Por lo tanto, se concluye que no hay diferencias significativas en los resultados entre las empresas de los sectores de Electrónica y Automatización, Maquinaria Agrícola, y Metalmecánica, ni entre las empresas del departamento San Justo y el resto de la provincia.

Tabla 8. Resultado del ANOVA No Paramétrico para la variable resultado del relevamiento productivo según la clasificación de Sector de actividad de la empresa. Prueba de Kruskal Wallis.

Variable	CAT. SECTOR	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
SUMA RELEV PROD	Electrónica/Automatización..	3	16,88	3,71	18,44	0,13	0,9383
SUMA RELEV PROD	Maquinaria Agrícola	9	17,05	4,26	17,09		
SUMA RELEV PROD	Metalmecánica	5	16,27	4,53	15,18		

Tabla 9. Resultado del ANOVA No Paramétrico para la variable resultado del relevamiento productivo según la clasificación de Localización. Prueba de Kruskal Wallis

Variable	DEPARTAMENTO	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
SUMA RELEV PROD	Otro departamento	10	17,64	4,25	19,46	1,15	0,3027
SUMA RELEV PROD	San Justo	7	15,57	3,58	15,18		

Se compararon los resultados de los autodiagnósticos de madurez digital con los relevamientos productivos mediante un análisis de varianza. Como se muestra en la tabla 10, a un nivel de significación del 10%, los datos proporcionan evidencia suficiente para rechazar la hipótesis de que no hay diferencias entre los promedios de ambas evaluaciones. Por lo tanto, se concluye que existen diferencias estadísticas significativas entre los puntajes del autodiagnóstico y del relevamiento productivo.

Tabla 10. Resultado del ANOVA No Paramétrico para la variable resultado del relevamiento productivo según la clasificación de tipo de herramienta de evaluación. Prueba de Kruskal Wallis.

Variable	SUMA	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
PUNTAJE	AUTODIAGNÓSTICO	17	14,11	2,39	14,08	3,79	0,0516
PUNTAJE	RELEVAMIENTO PRODUCTIVO	17	16,79	4,01	17,09		

Conclusiones

Las conclusiones del estudio revelan que, aunque no se encontraron diferencias significativas en los niveles de madurez digital entre los distintos sectores productivos ni entre las ubicaciones geográficas de las empresas evaluadas en la provincia de Córdoba, existen discrepancias notables entre los resultados del autodiagnóstico interno y el relevamiento productivo externo para las empresas relevada. Estas diferencias indican que la percepción interna de las empresas sobre su madurez digital podría no alinearse completamente con la realidad operativa observada. Este hallazgo subraya la importancia de emplear herramientas de evaluación complementarias para obtener una visión más precisa y holística de la madurez digital, ajustada a las particularidades de cada contexto. La combinación de enfoques internos y externos es esencial para identificar áreas de mejora y orientar las estrategias de transformación digital de manera más efectiva.

Referencias

- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. (2020). InfoStat versión 2020. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en <http://www.infostat.com.ar>
- Gill, M., & VanBoskirk, S. (2016). The Digital Maturity Model 4.0: Benchmarks: Digital Business Transformation Playbook. Forrester Research. Disponible en <http://forrester.digital.com/pdf/Forrester-s%20Digital%20Maturity%20Model%204.0.pdf>
- Kane, G. C., Palmer, D., Phillips, A. N., & Kiron, D. (2017). Achieving Digital Maturity. MIT Sloan Management Review. Disponible en <https://sloanreview.mit.edu/projects/achieving-digital-maturity/>
- Müller, J. M., Buliga, O., & Voigt, K. I. (2018). Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0. Technological Forecasting and Social Change, 132, 2-17. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.12.019>
- OECD (2019), Shaping the Digital Transformation in Latin America: Strengthening Productivity, Improving Lives, OECD Publishing, Paris. Disponible en <https://doi.org/10.1787/8bb3c9f1-en>
- Schallmo, D. R. A. & Williams, C. A. (2018). Digital transformation now!: Guiding the successful digitalization of your business model. Springer Nature.
- Schuh, G., Anderl, R., Gausemeier, J., ten Hompel, M., & Wahlster, W. (2017). Industrie 4.0 Maturity Index: Managing the Digital Transformation of Companies (acatech STUDY). Herbert Utz Verlag.
- Verhoef, P. C., Broekhuizen, T., Bart, Y., Bhattacharya, A., Qi Dong, J., Fabian, N., & Haenlein, M. (2022). Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. Journal of Business Research, 122, 889-901. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.09.022>
- Vial, G. (2019). Understanding digital transformation: A review and a research agenda. The Journal of Strategic Information Systems, 28(2), 118-144. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2019.01.003>
- Westerman, G., Bonnet, D., & McAfee, A. (2014). Leading digital: Turning technology into business transformation. Harvard Business Press.

ANALISIS DE VIENTOS EN EL EN EL PARQUE INDUSTRIAL TECNOLÓGICO AERONÁUTICO MORÓN PARA LA INSTALACIÓN DE UN AEROGENERADOR

ANALYSIS OF THE WINDS IN MORÓN AERONAUTICAL TECHNOLOGICAL INDUSTRIAL PARK FOR THE INSTALLATION OF A WIND TURBINE

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Flores, Mariano Gastón

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Haedo, Buenos Aires, Argentina
mflores@frh.utn.edu.ar

de Villaflor, Alejandro

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Haedo, Buenos Aires, Argentina
adevillaflor@frh.utn.edu.ar

Frontera, Juan Pablo

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Haedo, Buenos Aires, Argentina
jfrontera@frh.utn.edu.ar

Rubido, Javier Alejandro

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Haedo, Buenos Aires, Argentina
jrubido@frh.utn.edu.ar

González, Melina Sol

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Haedo, Buenos Aires, Argentina
mgonzalez645@alumnos.frh.utn.edu.ar

Resumen

A partir de la propuesta del Grupo de Estudios Sobre Energía, la Facultad Regional Haedo de la Universidad Tecnológica Nacional (FRH-UTN) ha destinado un sector en su predio del Parque Industrial Tecnológico Aeronáutico Morón (PITAM) para la instalación de una estación de ensayos de Aerogeneradores de Baja Potencia. Posterior a su construcción, se prevé la instalación de un aerogenerador. Este trabajo se enfoca en describir el recurso eólico del sitio, presentando rosas de los vientos desde 2014 hasta la actualidad y analizando los vientos predominantes. Se observa una predominancia de vientos norte-noreste, con una velocidad promedio de 3 m/s y en la dirección sudeste-sur con promedios de hasta 4 m/s. Estos vientos son superiores a la velocidad de arranque del diseño en un amplio porcentaje del año y permitirán su evaluación en todo el rango de potencias, incluso en valores superiores a la potencia nominal.

Palabras clave: Recurso Eólico, Aerogenerador, Rosa de los vientos, Vientos relevantes.

Abstract

Based on the proposal from the Energy Studies Group, the Facultad Regional Haedo of the Universidad Tecnológica Nacional (FRH-UTN) has allocated a section of its site at the Parque Industrial Tecnológico Aeronáutico Morón (PITAM) for the installation of a Small Wind Turbine testing facility. After its construction, the installation of a wind turbine is planned. This work focuses on describing the wind resource at the site, presenting wind roses from 2014 to the present and analyzing the predominant winds. A predominance of north-northeast winds is observed, with an average speed of 3 m/s, and in the southeast-south direction with averages of up to 4 m/s. These winds are higher than the turbine's cut-in speed for a large percentage of the year and will allow its evaluation in the entire power range, even above the nominal power.

Keywords: Wind Resource, Wind Turbine, Compass Rose, Relevant Winds.

Introducción

A partir de la propuesta del Grupo de Estudio Sobre Energía (GESE) de instalar una estación de ensayos para aerogeneradores de baja potencia bajo norma IEC-61400-12:2005, la UTN Facultad Regional Haedo ha dispuesto un sector dentro del predio que posee en el Parque Industrial Tecnológico Aeronáutico Morón (PITAM) para llevar a cabo dicho trabajo. El mismo queda plasmado en el PID-ENCAHA0008349 “Implementación de estación de ensayos bajo norma para generadores eólicos de baja potencia”. La estación de ensayos propuesta constará de dos torres de 12 metros de altura cada una (una de ellas permitirá instalar los aerogeneradores a ensayar y la otra alojará la estación meteorológica correspondiente). La finalidad de este proyecto es poder llevar a cabo ensayos de campo de los diferentes trabajos desarrollados en los últimos años por el GESE vinculados a los Proyectos de Investigación y Desarrollo detallados a continuación:

- PID-ENUTNHA1899 “Estudio de controles de paso de pala para generador eólica de baja potencia”.
- PID- UTI4726TC “Estudio de control de paso de pala para generador eólico de baja potencia”.
- PID- ENUTNHA0006622 “Estudio de mejora en la producción energética y vida útil de generadores eólicos de baja potencia”.

Por otro lado, debido a que la estación está proyectada para la realización de ensayos bajo norma IEC-61400-12:2005 también permitirá realizar pruebas de certificación para aerogeneradores que estén dentro de los rangos de potencia previstos y vientos disponibles.

El primer paso luego de la finalización de la estación de ensayos, será la instalación de una Turbina Eólica De Baja Potencia (SWT por sus siglas en inglés) del tipo Piggott 700W. Esta SWT fue fabricada íntegramente por el GESE FRH y servirá como benchmark de la estación al poder ser comparada con resultados internacionales de dicho modelo de SWT. La Tabla 1 resume algunas de las características principales de esta turbina.

Tabla 1: Características principales del SWT a instalar. [Datos de Ref . 8].

SWT PIGGOTT 2.4N		Estimativo mensual de producción de energía a diferentes velocidades medias	
Diámetro del rotor [mm]	2400	Media 3 m/s	22 kWh
Potencia nominal @ 10 m/s	700 W (500 W típico en baterías)	Media 4 m/s	54 kWh
Tipo de generador	Flujo axial de imanes permanentes	Media 5 m/s	93 kWh
Valor estimado de materiales para su construcción	USD 1000	Media 6 m/s	131 kWh
Control de potencia	Por sistema furling @10 m/s	Media 7 m/s	164 kWh

La instalación de una estación de ensayos de estas características requiere el análisis del recurso eólico, no solo desde el punto de vista del potencial energético, sino también de la aptitud del sitio para obtener todos los puntos de datos de la curva de potencia necesarios para la correcta evaluación de la energía producida por los aerogeneradores ensayados.

El objetivo del presente trabajo es describir el análisis del recurso eólico en el PITAM, la generación de una rosa de los vientos adecuada para el análisis aquí presentado.

Cabe destacar que el trabajo presentado forma parte del proyecto de investigación y desarrollo homologado por la Universidad Tecnológica Nacional denominado ENPPHA0010029 “Relevamiento del terreno del PITAM, (Parque Industrial Tecnológico Morón), para ensayo de aerogeneradores bajo norma IEC 61400-12-1”.

Desarrollo

Como todo proyecto vinculado a la energía del viento, se debe realizar un exhaustivo análisis de este recurso para poder determinar su capacidad energética (velocidades y sus distribuciones, direcciones, cambios estacionales, etc.) y lograr así un mejor aprovechamiento de este. En nuestro caso, la principal fuente de datos para el análisis del recurso eólico fue el Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Los datos de dicha fuente fueron comparados y verificados con los brindados por la Estación de Monitoreo Automático Morón (EMAS Morón) de la Coordinación del

Centro Integral de Monitoreo y Control Ambiental (CIMCA-ACUMAR). Asimismo, se realizó un análisis del viento del año 2022 en torres meteorológicas de relevancia: Ezeiza, El Palomar, Merlo y Observatorio de Buenos Aires. Por una cuestión de espacio, estos últimos datos se han omitido en el presente documento, pero cabe notar que los mismos son coherentes con los obtenidos tanto por ACUMAR como por el SMN en la estación meteorológica Morón, de forma que se puede asegurar que ambas fuentes entregaron datos confiables. En la Figura 1, se muestra la comparativa de las distribuciones Rayleigh de ambas fuentes, para la dirección Sudoeste en el año 2022.

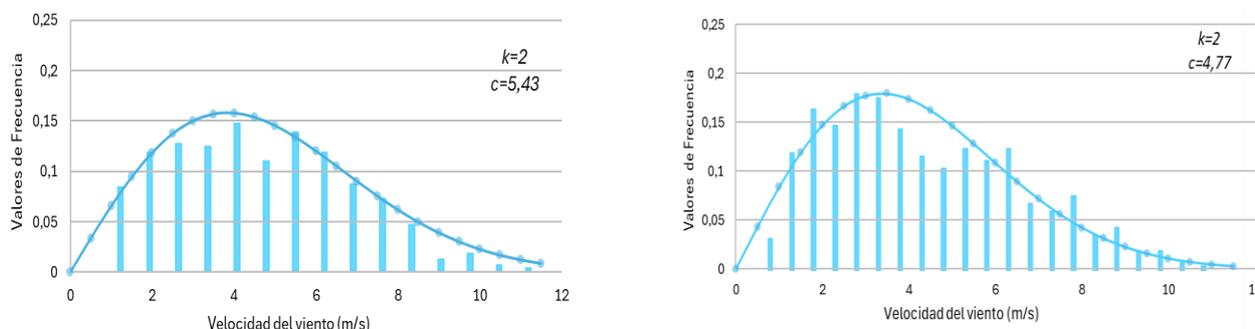


Figura 1: Comparación de las distribuciones de viento para la dirección SO: ACUMAR (curva izquierda) y SMN (curva derecha). [Elaboración propia].

Las coordenadas geográficas de las estaciones meteorológicas de las bases de datos son:

- EMAS MORON: -34.660, -58.627 (1,8 km de distancia dirección ENE)
- SMN (BASE AEREA MORON): -34.671, -58.638 (1,2 km de distancia dirección SE)

Los datos brindados por las distintas fuentes fueron provistos con el siguiente formato:

- SMN: Fecha [día/mes/año] – Hora [hh] - Velocidad [km/h] - Dirección [Decagrados].
- ACUMAR: Fecha [día/mes/año] – Hora [hh:mm] - Velocidad [nudos] - Dirección [16 direcciones cardinales].

Tabla 2: Rangos de velocidad de viento [m/s]. [Elaboración propia].

Rangos de velocidad a utilizar [m/s]		Grupo / Rango	
Lím. inferior	Lím. superior		
0	2	1	Muy baja
2	4	2	Baja
4	6	3	Media Baja
6	8	4	Media
8	10	5	Media Alta
10	12	6	Alta
12	mas allá	7	Muy Alta

Se plantea la presentación de los datos en forma de una rosa de los vientos de 16 direcciones cardinales, segmentada por siete rangos de velocidades. Así mismo se presentan los gráficos de frecuencias de velocidades definidas para las 16 direcciones cardinales principales. Se eligió esta representación ya que la visualización de la rosa segmentada presenta las particularidades de las frecuencias de viento tanto en dirección como en velocidad en un solo gráfico y de esta manera brinda la posibilidad de un análisis global de las características del viento.

Las particularidades del emplazamiento y del viento en el PITAM hicieron también necesario llevar a cabo en forma particular un análisis de los vientos fuertes, por lo cual fue preciso implementar y analizar las rosas de los vientos para los 3 rangos más altos (Media Alta, Alta y Muy Alta según Tabla 2).

Las Figuras 2, 3, 4 y 5 muestran las rosas de los vientos mencionadas, donde la figura izquierda representa la rosa de los vientos con todos los valores de viento y la derecha muestra la rosa conformada con últimos 3 segmentos de velocidad.

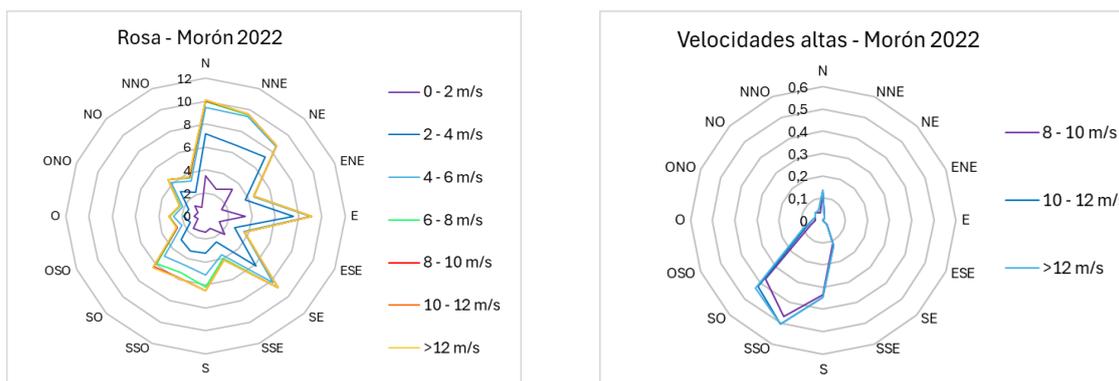


Figura 2: Rosa de los vientos de SMN Morón del año 2022. [Elaboración propia].

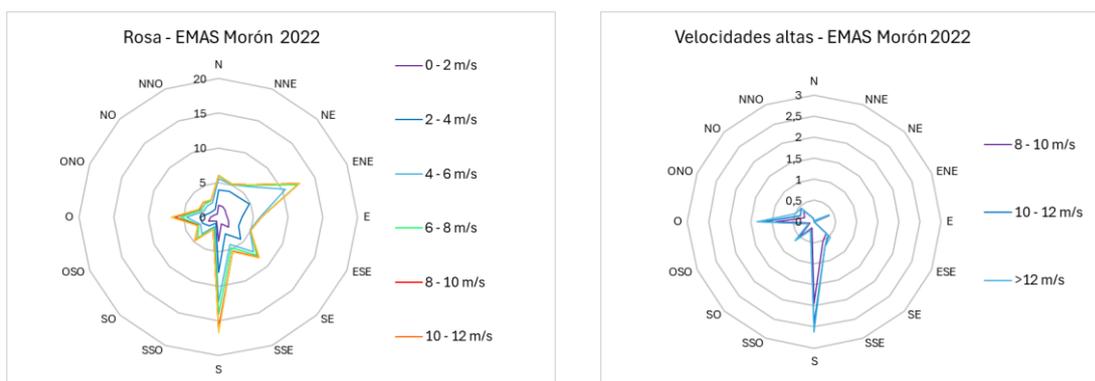


Figura 3: Rosa de los vientos de ACUMAR Morón del año 2022. [Elaboración propia].

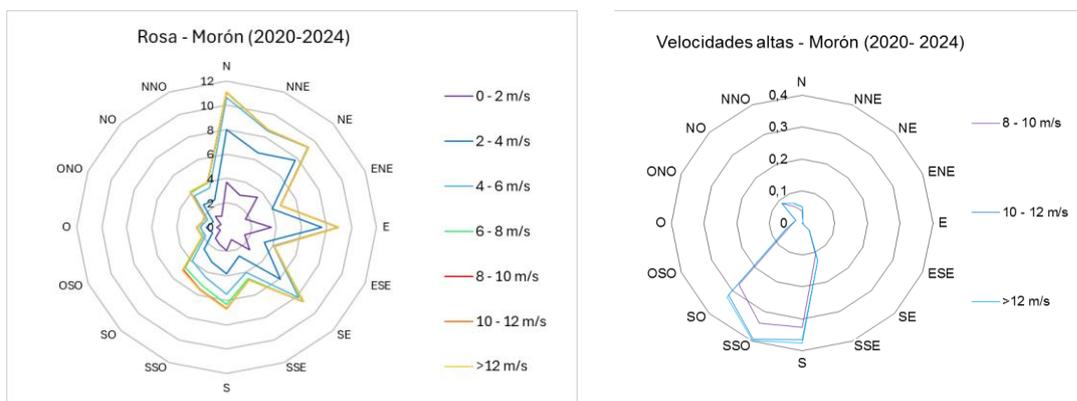


Figura 4: Rosa de los vientos de SMN Morón para los últimos 4 años. [Elaboración propia].

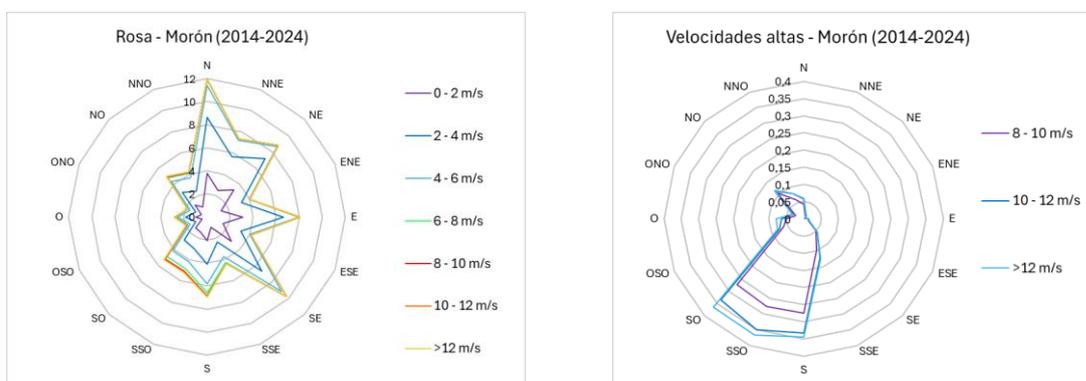


Figura 5: Rosa de los vientos de SMN Morón para el último decenio. [Elaboración propia].

Observando las rosas de velocidades altas, se puede apreciar que predominan las direcciones de viento sur y sudoeste.

En la Tabla 3 se muestran los valores promedio de las velocidades de viento en función de las direcciones cardinales y para distintos intervalos de tiempo, según los datos del SMN.

Tabla 3: Valores promedio de velocidades según su dirección. [Elaboración propia].

2014-2024		2020-2024		2022	
DIRECCION	PROMEDIO DE VELOCIDAD	DIRECCION	PROMEDIO DE VELOCIDAD	DIRECCION	PROMEDIO DE VELOCIDAD
ENE	2,885	ENE	2,798	ENE	2,785
E	2,779	E	2,676	E	2,569
ESE	2,973	ESE	2,808	ESE	2,748
N	3,161	N	3,131	N	3,008
NE	2,843	NE	2,763	NE	2,875
NNE	2,970	NNE	2,983	NNE	2,832
NNO	3,743	NNO	3,647	NNO	3,395
NO	3,586	NO	3,545	NO	3,585
O	3,470	O	3,329	O	3,273
ONO	3,658	ONO	3,520	ONO	3,676
OSO	3,960	OSO	3,772	OSO	3,247
S	3,781	S	3,873	S	3,987
SE	3,299	SE	3,243	SE	3,025
SO	4,083	SO	4,111	SO	4,231
SSE	3,927	SSE	3,840	SSE	3,632
SSO	3,986	SSO	3,973	SSO	4,259
Total general	3,065	Total general	3,013	Total general	2,949

Puede apreciarse como el promedio general del año no sufrió grandes variaciones en el período comprendido entre 2014 y 2024. Solo se registran variaciones considerables de los valores medios de las frecuencias en las direcciones Oeste, Sur y Sudoeste. Enfocándonos en estas direcciones, observamos que en el año 2022 las intensidades de viento fueron menores que las encontradas en los registros de largos periodos. Esto puede deberse a que en el año 2022 no hubo presencia de ráfagas y/o tormentas como si pudo observarse en los datos de 4 y 10 años.

Conclusiones

Se ha presentado el recurso eólico del PITAM. Los datos obtenidos de los gráficos aquí presentados muestran valores que se mantienen a lo largo del tiempo, con una diferencia en las direcciones sur y de menor importancia hacia el este. Se observa una predominancia de vientos en la dirección norte-noreste y una leve inclinación de la rosa hacia el este. Puede notarse una velocidad de viento promedio cercana a los 3m/s, aunque existe la presencia de direcciones de viento más prometedoras con velocidades promedio cercanas a los 4 m/s. Aunque estos valores distan de los valores de velocidad de viento para potencia nominal del aerogenerador en cuestión (ver Tabla 1), son superiores a la velocidad de arranque en un amplio porcentaje del año y se encuentran dentro de los parámetros de vientos mínimos del diseño Piggott 2.4m. Así mismo, el relevamiento muestra direcciones de viento con puntos de datos con valores superiores a las velocidades de acción del furling (10 m/s), cumpliendo con la necesidad de puntos de medición en todo el rango de potencias incluso sobre la potencia nominal, permitiendo la evaluación completa del diseño del aerogenerador.

Agradecimientos

Agradecemos el aporte de los becarios del GESE Lucero Duarte y Cristian Tolaba, que no se encuentran dentro de los autores de este trabajo pero han invertido tiempo en las tareas descritas en el mismo. Agradecemos a las

autoridades de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Haedo (UTN FRH) y al Ex Secretario de Investigación, Innovación y Posgrado, Dr Raul Versaci, quien aceptó la propuesta del GESE-FRH y presentó el proyecto "Implementación de Estación de Ensayos Bajo Norma para Generadores Eólicos de Baja Potencia" al Consejo Directivo de la Regional, quien lo declaró de Interés para la Facultad según resolución del Decano N°133/2021. También queremos agradecerle al equipo de trabajo del Laboratorio de Aerodinámica y Fluidos de la UTN FRH por habernos facilitado el uso del espacio físico, instrumental e instalaciones. Por último, queremos reconocer la ayuda brindada por las autoridades del PITAM para con el proyecto y su implementación.

Referencias

- [1] Comisión Electrotécnica Internacional, *Small wind turbines (IEC 61400-2)*. Edición 3.0, Ginebra: Comisión Electrotécnica Internacional, 2013.
- [2] Comisión Electrotécnica Internacional, *Power performance measurements of electricity producing wind turbines (IEC 61400-12-1)*. Edición 1.0, Ginebra: Comisión Electrotécnica Internacional, 2005.
- [3] T. Burton, N. Jenkins, D. Sharpe and E. Bossanyi, *Wind Energy Handbook*. Edición .2.0. The Atrium, West Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd, 2011.
- [4] J. F. Manwell, A. Rogers and J. G. McGowan, *Wind energy explained: Theory, Design, and Application*. Edición 2.0. Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Massachusetts, USA: Wiley, 2009.
- [5] David_Wood , *Small Wind Turbines Analysis, Design*. Edición 1.0, Canadá: Springer, 2013.
- [6] Matt hew Huaiquan Zhang, *Wind Resource Assessment and Micro Siting: Science and Engineering*. Edición 1,0, Hoboken, New Jersey USA: Wiley & IEEE Press, 2015.
- [7] Michael Brower, *Wind Resource Assessment: A Practical Guide to Developing a Wind Project*. Edición1.0, Hoboken, New Jersey, USA: Jhon Wiley & IEEE Press, 2015.
- [8] <https://scoraigwind.co.uk/measured-performance-versus-recipe-book-predictions/>, Hugh Piggott, 2014

Reentrenamiento de Modelo Clasificador por Imágenes para Museografía Interactiva

Image Classifier Model Retraining for Interactive Museography

Presentación: 23 y 24 de octubre de 2024

Francisco Levrino

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Museo Interactivo de Ciencias (MuIC), Argentina
flevrino@facultad.sanfrancisco.utn.edu.ar

Sofía B. Bovo

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Museo Interactivo de Ciencias (MuIC), Argentina
sbovo@facultad.sanfrancisco.utn.edu.ar

Hugo A. Pipino

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Museo Interactivo de Ciencias (MuIC), Argentina
hpipino@sanfrancisco.utn.edu.ar

Resumen

El Museo Interactivo de Ciencias (MuIC) de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, combina recreación y aprendizaje a través de su muestra interactiva "ConCiencia". Para mejorar la accesibilidad y la independencia de los visitantes mediante guías audiovisuales, el MuIC desarrolla herramientas innovadoras a través del uso de dispositivos móviles. En este sentido, se implementa un sistema de reconocimiento por imágenes utilizando la red neuronal YOLO V8, con la misma se reentrena el modelo clasificador, mejorando las capacidades del modelo implementado con anterioridad. Esto aumenta la precisión en la detección y amplía la capacidad del modelo para reconocer las experiencias en diversos entornos. Además, se integran imágenes de nuevas experiencias para enriquecer la experiencia de los visitantes al interactuar con los módulos. Los resultados son prometedores y sugieren un potencial significativo para futuras mejoras, enriqueciendo la interacción y el aprendizaje en el MuIC.

Palabras clave: Modelo Clasificador, Experiencias Interactivas, YOLO, Museografía

Abstract

The Interactive Science Museum (MuIC) at National Technological University, San Francisco Regional Faculty, combines recreation and learning through its interactive exhibit "ConCiencia". To enhance accessibility and visitor independence through audiovisual guides, MuIC develops innovative tools using mobile devices. In this context, an image recognition system utilizing the YOLO V8 neural network is implemented, which retrains the existing classification model, improving its capabilities. This increases detection accuracy and expands the model ability to recognize experiences in various environments. Additionally, images of new experiences are integrated to enrich the visitor experience when interacting with the modules. The results are promising and suggest significant potential for future improvements, enhancing interaction and learning at MuIC.

Keywords: Classifier Model, Interactive Experience, YOLO, Museography

Introducción

El Museo Interactivo de Ciencias (MuIC) de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN), Facultad Regional San Francisco, es un grupo de investigación conformado por docentes, estudiantes y graduados de varias carreras de ingeniería. Su muestra interactiva, "ConCiencia", presenta una variedad de experiencias relacionadas con diferentes áreas de la ciencia, con el objetivo de crear un espacio que combine recreación, estímulo intelectual y aprendizaje. Esta muestra está dirigida tanto a estudiantes de diversos niveles educativos como al público en general, de San Francisco y sus alrededores.

Dado que los objetivos del MuIC incluyen la adaptación constante a las nuevas tecnologías y sus aplicaciones, es fundamental destacar el desarrollo de herramientas innovadoras para acceder a la museografía interactiva mediante dispositivos móviles. Estas herramientas están diseñadas para ofrecer una experiencia más dinámica y accesible, permitiendo a los visitantes interactuar con guías audiovisuales específicas para cada experiencia (Gilli et al., 2023).

En el contexto de visitas con grandes grupos, esta herramienta es beneficiosa, ya que reduce la necesidad de guías en formato papel y permite a los visitantes moverse con mayor independencia dentro de la muestra, como acceder simultáneamente a la guía de un módulo.

Para optimizar aún más la experiencia del visitante, se emplea un sistema de reconocimiento por imágenes basado en técnicas de visión artificial. Este sistema es capaz de identificar cada experiencia de manera precisa, permitiendo al visitante acceder a información detallada y relevante sobre cada una, facilitando así una interacción más enriquecedora y personalizada. De esta manera, durante la muestra, los visitantes se enfrentan a las experiencias, crean sus propias hipótesis y las validan a través de la interacción con ellas. Para una mayor comprensión, los visitantes acceden a las guías audiovisuales a través de sus dispositivos móviles, lo que les permite conocer el correcto uso del módulo, plantearles interrogantes y repetir la experiencia.

Para lograr lo mencionado, se emplea la red neuronal YOLO (Ultralytics, 2024) en su versión V8 utilizando como *backbone* CSPDarknet53 (Wang et al., 2020), que emplea conexiones parciales entre etapas para mejorar el flujo de información entre capas y aumentar la precisión. Esta red permite de manera sencilla y rápida el entrenamiento de un modelo basado en un *dataset* personalizado. El *dataset* está compuesto por imágenes que fueron tomadas de cada una de las experiencias adoptadas como casos de estudio, y clasificadas mediante la aplicación “labelImg” (Tzutalin, 2015). Además, cada imagen está acompañada por un archivo de texto que identifica el objeto y su posición en la imagen.

En este trabajo, se extienden los resultados obtenidos por Levrino y col. (Levrino et al., 2023), mediante la mejora del modelo y un reentrenamiento del modelo clasificador, integrando nuevas experiencias de las expuestas en las muestras del MuIC. Este proceso ha permitido no solo una mayor precisión en la detección de las experiencias contempladas en el modelo previo, sino también una mejor capacidad para reconocer una gama más amplia de entornos gracias a la incorporación de imágenes adicionales y la actualización de la red neuronal utilizada.

Desarrollo

Experiencias seleccionadas

Las experiencias seleccionadas como casos de estudio incluyen “Jugando con el Submarino”, “Cosa de Parejas” y “Tangram”, que ya han sido clasificadas en el modelo de entrenamiento inicial descrito por Levrino y col. (Levrino et al., 2023). En esta fase, se incorporan nuevas imágenes de estos módulos y se añaden experiencias adicionales: “Torres de Hanói”, “Viaje por la Manguera”, “Lupa Rodante”, “Atrapa el Chanchito” y “Espectroscopio”. Es importante destacar que todas estas experiencias forman parte de la muestra permanente del MuIC. En la Figura 1 se presentan las experiencias contempladas.



a. Experiencia “Jugando con el Submarino”.



b. Experiencia “Cosa de Parejas”.



c. Experiencia "Tangram".



d. Experiencia "Torres de Hanoi".



e. Experiencia "Viaje por la manguera".



f. Experiencia "Lupa rodante".



g. Experiencia "Atrapa el chanchito".



h. Experiencia "Espectroscopio".

Figura 1. Experiencias seleccionadas para el modelo clasificador.

Modelo clasificador

Para el entrenamiento del modelo clasificador se utilizan imágenes de las experiencias detalladas anteriormente, especificando el área donde se encuentra el módulo y el nombre por el cual se identifica la experiencia. Estas imágenes se agrupan en un conjunto de datos (*dataset*), el cual se divide en dos grupos: el conjunto de datos de entrenamiento (*train*) y el conjunto de datos de evaluación (*test*). La Tabla 1 resume el número de etiquetas generadas para cada experiencia, tanto para el entrenamiento como para la evaluación del modelo clasificador.

El entrenamiento se desarrolla en iteraciones, donde se suministran los datos del grupo *train* al modelo y se evalúa su respuesta para que pueda aprender de las etiquetas adjuntas a cada imagen. Una vez terminada esta etapa de aprendizaje, el modelo es alimentado con datos del grupo *test* y se comparan los resultados que se generan, con las etiquetas realizadas por las personas. Esto permite evaluar la precisión del modelo en la detección.

Tabla 1. Cantidad de etiquetas agregadas al *dataset*.

	Cantidad Entrenamiento	Cantidad Prueba
Jugando con el submarino	418	122
Cosa de parejas	360	117
Tangram	429	123
Espectroscopio	694	422
Torres de Hanói	560	312
Viaje por la manguera	625	422
Lupa rodante	295	246
Atrapa al Chanchito	641	408

A medida que se realiza el entrenamiento se obtienen los datos de cada época, en las siguientes figuras se observa la progresión de mejora en la precisión del modelo (Fig. 2) y la disminución en la función de pérdidas (Fig. 3). El entrenamiento fue realizado con un máximo de 150 épocas con un *batch-size* de 16, dando un total de 2400 iteraciones. Aproximadamente en la época 75 se linealizan las curvas de mAP% (*mean Average Precision*) y de la función de pérdidas. A partir de estos valores no se producen grandes variaciones con el incremento del tiempo y los valores se estabilizan próximos al 90% para detecciones con una confianza entre 0 y 0.5, cercana al 70% para un umbral entre 0.5 y 0.95, y la función de pérdidas se encuentra entre 0.5 y 1.25.

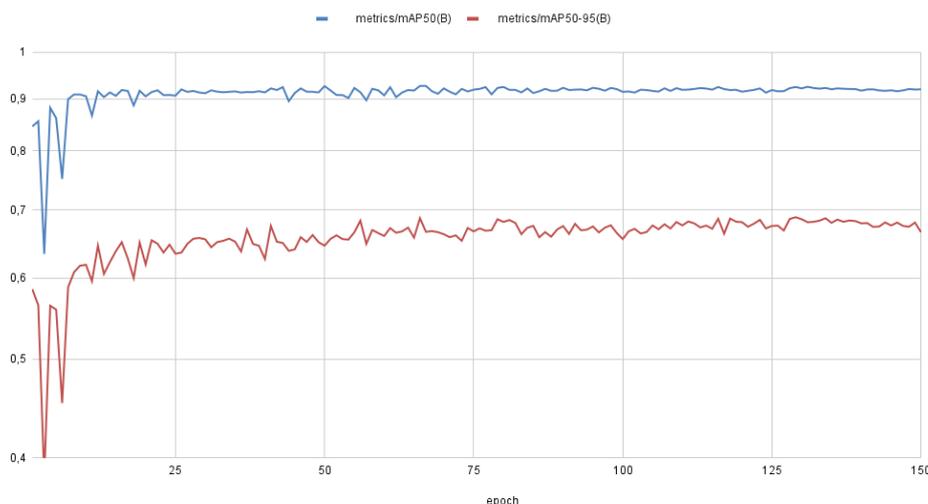


Figura 2. Media de los promedios de precisión.

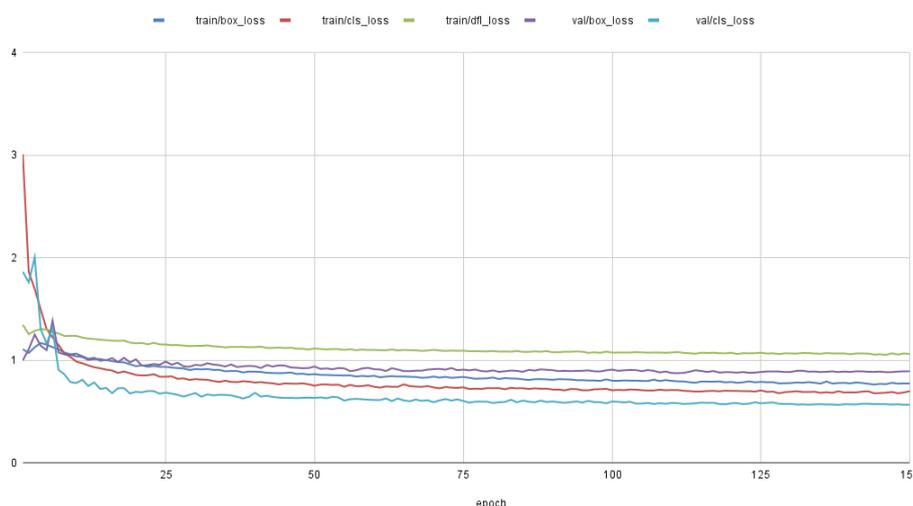


Figura 3. Funciones de pérdida.

Tras completar la etapa de entrenamiento, se obtiene un modelo que demuestra la capacidad para detectar las experiencias con una buena precisión, considerando la cantidad de imágenes y las configuraciones empleadas. En la Figura 4 se muestra cómo el modelo logra detectar cada módulo, levantando el modelo con un *script* de Python utilizando la librería de OpenCV. Es importante destacar que las imágenes utilizadas no forman parte del *dataset* de entrenamiento, sino que representa una situación real dentro del ámbito del museo.

Por otro lado, en la Figura 4 se puede observar que al colocar las guías en formato papel, presentes en el museo, detrás de las experiencias “Cosa de Parejas” y “Jugando con el Submarino”, se mejora la detección de cada una respecto a los resultados presentados por Levrino y col. (Levrino et al., 2023).



a. Experiencia “Jugando con el Submarino”.



b. Experiencia “Cosa de Parejas”.



c. Experiencia “Tangram”.



d. Experiencia “Torres de Hanoi”.



e. Experiencia “Viaje por la manguera”.



f. Experiencia “Lupa rodante”.



g. Experiencia "Atrapa el chanchito".



h. Experiencia "Espectroscopio".

Figura 4. Detección de cada experiencia seleccionada.

Los resultados obtenidos muestran una confianza aceptable para la aplicación en la detección de experiencias en museografía interactiva. Sin embargo, para mejorar la precisión y robustez del modelo, se considera incorporar una mayor cantidad de imágenes de las experiencias interactivas en diversos entornos durante futuros entrenamientos. La inclusión de un conjunto de datos más variado permite al clasificador adaptarse mejor a las diferentes condiciones de iluminación, ángulos y configuraciones, aumentando la confianza en la detección.

Conclusiones

La implementación de la nueva versión del modelo mejoró, de manera significativa, la detección de las experiencias presentadas en la muestra del MuIC, considerando también la integración de sus respectivas guías. La incorporación de nuevas experiencias amplía la capacidad del modelo clasificador, lo que enriquece la experiencia de los visitantes al permitirles acceder, de manera rápida y eficiente, a las guías interactivas de una mayor cantidad de experiencias. Se destaca que las guías audiovisuales permiten a los visitantes visualizar de manera clara y concisa cómo interactuar con las distintas experiencias e incorporar preguntas estratégicas con el objetivo de fomentar la comprensión y el pensamiento crítico por parte de los visitantes.

Los resultados obtenidos hasta el momento son altamente prometedores y sugieren un notable potencial para futuras mejoras. La continua integración de avances en el modelo abre nuevas oportunidades para perfeccionarlo y ampliar su impacto, mejorando así la interacción y el aprendizaje de los visitantes.

Agradecimientos

A la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) por financiar el Proyecto de Investigación y Desarrollo (PID) SIPPSF0009830: "Análisis e implementación de técnicas de reconocimiento por imágenes en la experiencia de usuario de ConCiencia - Museo Interactivo de Ciencias", en cuyo contexto se enmarca el presente trabajo.

Referencias

- Gilli L., Cordoba R., & Pipino H. A. (2023). *Desarrollo de Museografía Interactiva Animada*. Jornadas de Ciencias y Tecnología 2023. San Francisco (Córdoba).
- Levrino F., Castellano L., Fantin M., Mulassano M., & Pipino H. (2023). *Museografía Interactiva con Acceso mediante Código QR*. Jornadas de Ciencias y Tecnología 2023. San Francisco (Córdoba).
- Tzutalin (2015). *Labellmg*. Git code. Disponible en: <https://github.com/tzutalin/labellmg>.
- Ultralytics (2024). *Ultralytics YOLOv8*. Disponible en: <https://github.com/ultralytics/ultralytics>.
- Wang, C. Y., Liao, H. Y. M., Wu, Y. H., Chen, P. Y., Hsieh, J. W., & Yeh, I. H. (2020). CSPNet: A new backbone that can enhance learning capability of CNN. In *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition workshops* (pp. 390-391).

Evaluación y comparación de la calidad del aire en la ciudad de Rafaela en base a actualizaciones de la norma US-EPA 2024

Evaluation and comparison of air quality in the city of Rafaela based on updates from the US-EPA 2024 standard

Presentación: 24 y 25 de octubre de 2024

Mariana Carrel

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rafaela, Santa Fe, Argentina
mcarrel99@gmail.com

Martina Costanzo

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rafaela, Santa Fe, Argentina
marticostanzo77@gmail.com

Nain Schmidt

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rafaela, Santa Fe, Argentina
01nainschmidt@gmail.com

Ariana Castro

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rafaela, Santa Fe, Argentina
arianacastro1510@gmail.com

Juan Nittmann

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rafaela, Grupo de Investigación en Aplicaciones de Métodos Numéricos en Ciencia e Ingeniería (GIAMNCI), Santa Fe, Argentina
Instituto de Estudios Medioambientales y Tecnológicos para el Desarrollo Sostenible (IEMTEDS)
juannittmann@hotmail.com

Resumen

El aire es una mezcla de diferentes gases que rodea la Tierra en una capa de varios kilómetros de altura. La contaminación del mismo se debe al incremento de gases tóxicos y material particulado (PM), el cual es una mezcla compleja de partículas sólidas y líquidas suspendidas en el aire, que en altas concentraciones provoca afectaciones a la salud humana. El objetivo de este trabajo es la evaluación de la calidad del aire urbano en la ciudad de Rafaela utilizando instrumentos digitales de medición continua (AirVisual Pro) colocados en dos puntos estratégicos del área de estudio. Los resultados del PM_{2.5} obtenidos aplicando el índice US-AQI, en base a las actualizaciones de las normas US-EPA del presente año, muestran que la calidad del aire en la ciudad sigue perteneciendo a la categoría de buena a moderada con picos estacionales de concentración de material particulado durante los meses de invierno coincidiendo con el aumento del uso de leña para calefacción y circulación vehicular.

Palabras clave: Calidad del aire, material particulado, Rafaela, evaluación.

Abstract

Air is a mixture of different gases that surrounds the Earth in a layer several kilometers high. Its pollution is due to the increase of toxic gases and particulate matter (PM), which is a complex mixture of solid and liquid particles

suspended in the air, which in high concentrations causes effects on human health. The objective of this work is the evaluation of urban air quality in the city of Rafaela using digital continuous measurement instruments (AirVisual Pro) placed at two strategic points in the study area. The PM_{2.5} results obtained by applying the US-AQI index, based on updates to this year's US-EPA standards, show that air quality in the city continues to belong to the good to moderate category with seasonal peaks in concentration of particulate matter during the winter months coinciding with the increase in the use of firewood for heating and vehicular circulation.

Keywords: Air quality, particulate matter, Rafaela, evaluation.

Introducción

El aire es una mezcla de diferentes gases conformando una capa de varios kilómetros de altura que rodea al planeta denominada atmósfera (Ahrens y Henson, 2018). El aire limpio es un requisito básico de la salud y el bienestar humano. Sin embargo, su contaminación representa un importante riesgo ambiental para la salud, en especial para los sistemas respiratorios y cardiovasculares de la población en general (OMS, 2021). Aunque, la susceptibilidad a la contaminación puede variar de acuerdo a la edad y/o salud de cada individuo, los niños, niñas y las personas mayores son los grupos etarios más vulnerables (Clark et al., 2020).

De acuerdo al Daly y Cognuck González (2021) la contaminación del aire es la presencia en él de agentes físicos, químicos o biológicos en concentraciones que alteran las características naturales de la atmósfera. En consecuencia, y según una evaluación de la OMS (2018), son más de dos millones las muertes prematuras que se pueden atribuir cada año por los efectos de la contaminación del aire en espacios urbanos abiertos y cerrados.

La principal fuente de emisión de PM son las emisiones provocadas por la quema de combustibles fósiles para el transporte, los procesos industriales o la producción de energía, las actividades agrícolas y ganaderas, la quema de bosques y residuos sólidos y la energía doméstica (Shiva Nagendra et al., 2021). Las partículas de interés de la presente evaluación son PM_{2.5}, las cuales tienen 2.5 micras de diámetro, se consideran las más dañinas de todas ya que por su tamaño pueden ingresar en el torrente sanguíneo humano y son capaces incluso de llegar al cerebro (Suarez et al., 2014).

La concentración del material particulado es probable que varíe de manera sustancial entre las ciudades en todo el mundo, en función de la geografía, la meteorología y las fuentes específicas de material particulado de cada lugar (Daly y Cognuck González; Shiva Nagendra et al., 2021).

Metodología

El área de estudio donde se lleva a cabo el trabajo se encuentra ubicada en la ciudad de Rafaela, departamento Castellanos, en el centro oeste de la provincia de Santa Fe (Figura 1). La localidad está representada demográficamente por una población de 110.000 habitantes (ICEDEL, 2010) y posee una superficie de 36.48 km², mientras que todo el distrito (urbano y rural) abarca aproximadamente 158 km².

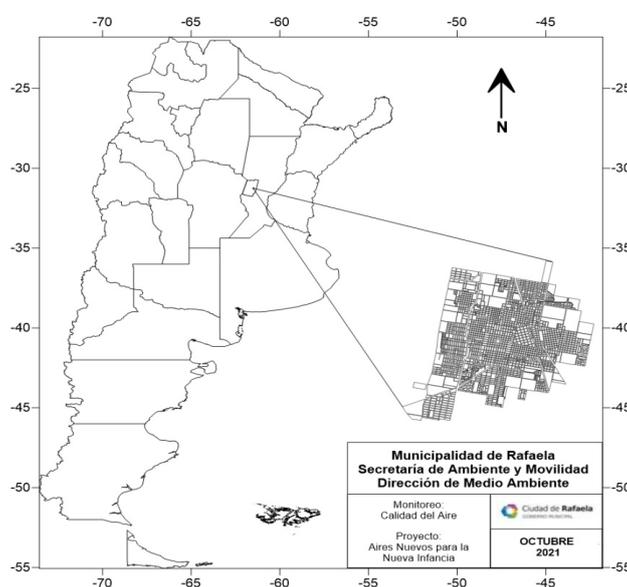


Figura 1: Ubicación geográfica del área de estudio (ciudad de Rafaela).

La metodología utilizada para medir la calidad del aire urbano contempla la utilización de instrumentos digitales de medición continua de material particulado AirVisual Pro (IQAIR-AirVisual, 2019; Zamora et al., 2020) (Figura 2) los cuales están dotados con tecnología láser, control de flujo de aire y autocalibración paramétrica, almacenamiento de datos y conexión de red tipo inalámbrica (WIFI). Cabe destacar, que el uso de equipos low-cost, tiene sus ventajas, pero también limitaciones, una de ellas es la calibración in situ, la variabilidad por efectos locales de temperatura, presión y viento entre otros. En este trabajo se adoptan como criterio los niveles límites de exposición de material particulado propuestos por la OMS (2021) y la actualización de la norma US-EPA (2024) para poder estandarizar y orientar la construcción de políticas públicas para combatir la contaminación del aire en la ciudad de Rafaela. En este marco, los niveles definidos para exposición promedio anual a $PM_{2.5}$ son $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para la OMS (2021) y $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con respecto a US-EPA (2024).



Figura 2: Medidor de calidad de aire AirVisual Pro (IQAIR).

El medidor AirVisual Pro permite medir la calidad de aire urbano en ambientes internos o externos mediante el conteo láser del material particulado ($PM_{2.5}$, PM_{10}) proveniente del flujo de aire que ingresa al mismo de manera controlada y el que luego es expresado en unidades de concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Además, cuenta con componentes de auto calibración que consideran los factores como la temperatura, la humedad y el dióxido de carbono que actúan como variables soporte para el cálculo del Índice de Calidad de Aire, aunque en el presente trabajo no se evalúan dichos parámetros.

En el área de estudio se colocaron estratégicamente 2 (dos) medidores que abarcan un radio de acción de 5 km (Figura 3), la ubicación de un medidor es en una institución educativa de primera infancia y otra en una institución local, siendo el primero el Jardín de infantes Boschetto (centro de la ciudad) y el otro en la sede de la Guardia Urbana de Rafaela (GUR) (fuera del casco céntrico), en el mes de abril del año 2021. Los sensores registran una medición cada 15 minutos, aproximadamente, de las variables mencionadas anteriormente y son descargados vía web para luego ser procesadas estadísticamente de acuerdo con la concentración media mensual (en un futuro, está previsto analizar la calidad de aire a lo largo del día) a lo largo de los años de estudio.

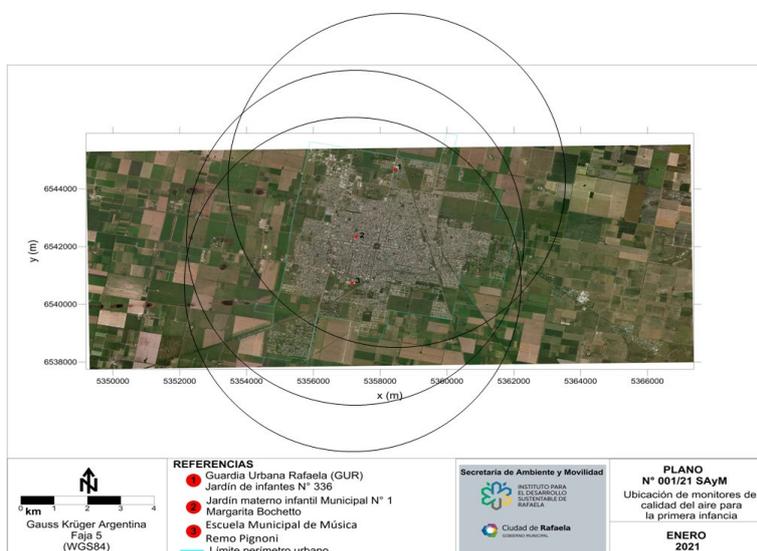


Figura 3: Mapa de ubicación de medidores en el área de estudio.

Por último, se estima el Índice de Calidad de Aire (AQI) referido a la variable material particulado de acuerdo con la Ecuación 1 desarrollada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA, 2018).

$$AQI = \frac{I_{HI} - I_{LO}}{BP_{HI} - BP_{LO}} (C_i - BP_{LO}) + I_{LO} \quad (1)$$

Donde:

AQI = Índice de calidad del aire

ILO = Valor del índice en el límite inferior de la categoría AQI

IHI = Valor del índice en el límite superior de la categoría AQI

BPLO = Punto de quiebre de la concentración en el límite inferior de la categoría AQI

BPHI = Punto de quiebre de la concentración en el límite superior de la categoría AQI

C_i = Concentración del contaminante

El índice AQI es un número adimensional que, actualmente, puede tomar valores en un rango de 0 a 300 unidades y que por convención se ha dividido en seis categorías, cada una con un grado de diferente afectación a corto plazo a la salud pública. A su vez, en la Tabla 1, se comparan los valores establecidos por las antiguas normas US-EPA 2018 y, las actuales, normas US-EPA 2024.

Tabla 1. Categorías correspondientes al Índice de Calidad del Aire AQI-2018 y AQI-2024.

Categoría AQI	Rango AQI 2018	Rango AQI 2024	Significado
Buena	0 – 50	0 – 50	La calidad del aire se considera satisfactoria y la contaminación atmosférica presenta un riesgo escaso o nulo.
Moderada	51 – 100	51 – 100	La calidad del aire es aceptable, pero para algunos contaminantes podría existir una preocupación moderada para la salud de un grupo muy pequeño de personas excepcionalmente sensibles a la contaminación ambiental.
Insalubre para grupos sensibles	101 – 200	101 – 150	Los miembros de grupos sensibles pueden padecer efectos en la salud. Probablemente no afectará a las personas en general.
Insalubre	201 – 300	151 – 200	Todos pueden comenzar a padecer efectos en la salud y los miembros de grupos sensibles pueden padecer efectos más graves.
Muy Insalubre	301 – 400	201 – 300	Advertencias sanitarias de condiciones de emergencia. Son mayores las probabilidades de que toda la población esté afectada.
Peligroso	401 – 500	> 301	Alerta sanitaria: todos pueden padecer efectos sanitarios más graves.

Resultados y Discusión

De acuerdo con el registro continuo de la concentración de material particulado (PM_{2.5}) durante el período de 3 años (2021-2023), se puede observar que la media anual del Índice de Calidad del Aire (Figura 4) presenta una variación de buena a moderada en los puntos de monitoreo Boschetto y GUR. Además, se pueden observar un pico estacional para cada año, en ambos lugares de muestreo, en los meses de junio, julio y agosto, que se encuentran por encima de los límites admisibles (AQI 50), pero aun, sigue teniendo una categoría aceptable.

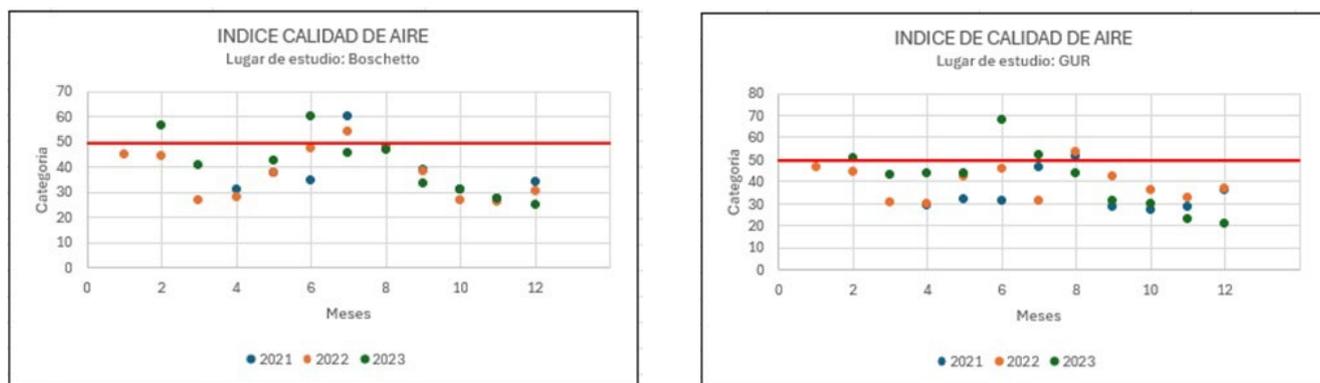


Figura 4. Evolución mensual del Índice de Calidad del Aire (US-AQI) para el periodo 2021-2023 en la ciudad de Rafaela.

En relación con el material particulado 2.5 (PM_{2.5}) se observa (Figura 5) que se supera en todos los años de estudio el límite admisible de concentración establecidos por OMS (2021) (5 microgramos/m³) y, meses puntuales que se encuentran por debajo de las limitaciones, con relación a US-EPA (2024) (9 microgramos/m³), indicando así una situación crítica a mejorar.

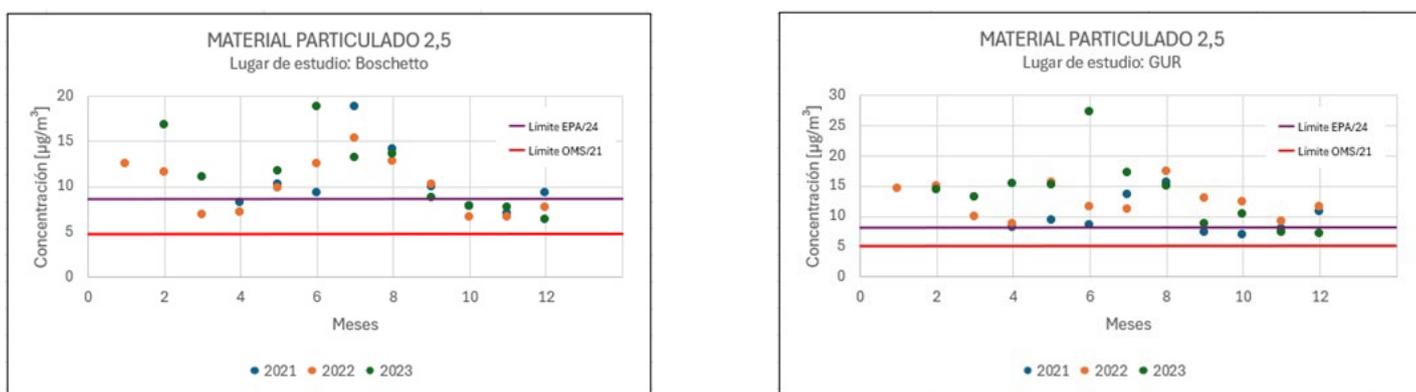


Figura 5. Evolución media mensual de la concentración de PM_{2.5} (µg/m³) en los sitios de monitoreo del área de estudio para el periodo 2021-2023.

Conclusiones

De acuerdo con los resultados observados, se puede concluir que la calidad del aire urbano en la ciudad de Rafaela, para el periodo 2021- 2023, en relación con el índice de Calidad de Aire (AQI) ha sido de buena a moderada con picos estacionales de concentración de material particulado durante los meses de junio, julio y agosto debido a que son meses de invierno donde los ciudadanos para garantizar su confort, calefaccionan sus hogares con el uso de leña, se movilizan con mayor frecuencia en vehículos motorizados; sumado a que en los últimos años se vivió situaciones de sequía provocando la permanencia de polvo en el ambiente en mayores concentraciones.

También, se puede observar que la ciudad de estudio está fuera de los límites de concentración media anual de PM_{2.5}, ya que los niveles recomendados en las Guías de Calidad de Aire de la OMS actualizadas (2021) son de 5 µg/m³ para el material particulado 2.5 y 9 µg/m³ según la nueva actualización de las normas US-EPA (2024), superando dichos valores pudiéndose deber a la falta de conciencia ambiental ciudadana.

Para revertir esta situación y prevenir futuros efectos adversos sobre la salud como ser la agudización de las enfermedades respiratorias, cardiovasculares y pulmonares entre otras, se debe comenzar con la

concientización ciudadana, además de establecer Normas restrictivas y su implementación para las inversiones futuras, como ser, medios de transporte menos contaminantes, viviendas energéticamente eficientes, construcciones más limpias, generación de energías limpias y mejor gestión de residuos industriales y municipales permitirían reducir importantes fuentes de contaminación del aire.

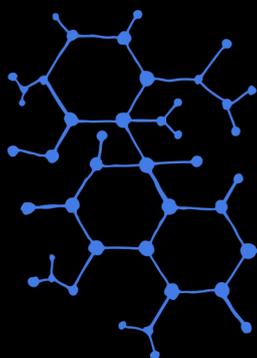
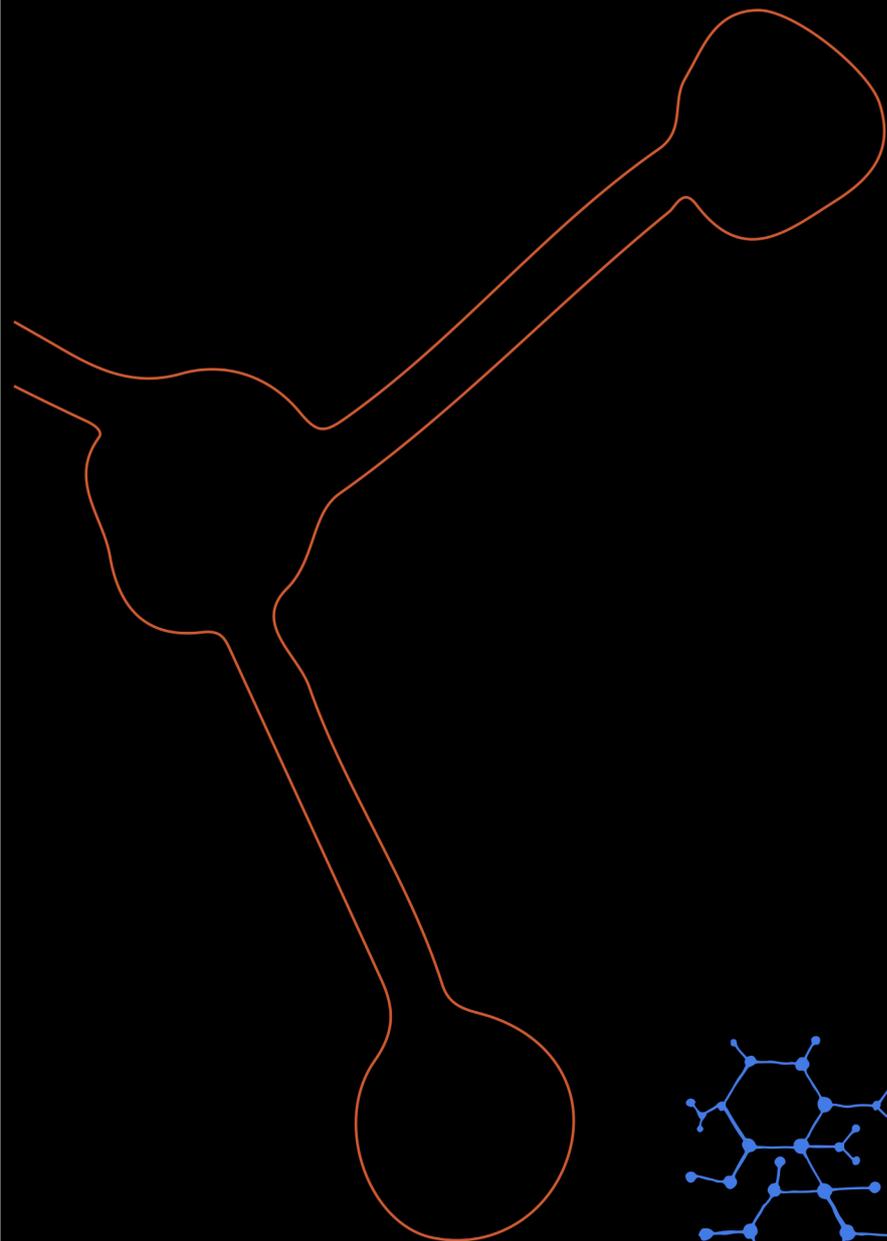
Si bien no se mencionan con mayor detenimiento la confiabilidad e incertidumbre del método de medición debido al alcance inicial de este trabajo, para futuras investigaciones se tendrá en cuenta realizar una calibración local con equipos de referencia (muestreador hi-vol o equipo continuo tipo EPA- BAM o TEOM). Además, se tendrán en cuenta datos de temperaturas medias mensuales para el periodo muestreado y otros datos relevantes tales como proporción de hogares que usan leña, cuánta leña usan por año y número y proporción de vehículos que circulan en ambos sitios de muestreo.

Agradecimientos

Se agradece especialmente a la Dirección de Medio Ambiente de la Municipalidad de Rafaela por el apoyo técnico e institucional. Además, se agradece a la empresa suiza IQAir por el aporte de los medidores en el marco del proyecto internacional "aires nuevos para la nueva infancia" presentado en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP26), Glasgow, Escocia

Referencias

- Ahrens C. D., Henson R. 2018. Essentials of meteorology: An invitation to the atmosphere. CENGAGE Learning. 550 pp.
- Clark H., Coll-Seck A. M., Banerjee A., Peterson A., Dalgligh S. L., Ameratunga S. 2020. "A future for the world's children?" The Lancet. 54 pp.
- Daly A., Cognuk González S. 2021. Calidad del aire: es el momento de actuar. Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF). 64 pp.
- Instituto de Capacitación y Estudios para el Desarrollo Local (ICEDEL). 2010. Datos poblacionales de Rafaela - Censo 2010. Municipalidad de Rafaela. EDITORA ICEDEL. 14 pp.
- IQAIR-AirVisual. 2019. Pro Tech Spec. CDI1092.3 INT 171227. 1 pp. Consultado en: https://cdn.shopify.com/s/files/1/0677/4059/8571/files/AVPro-Technical_Specs_intl_v01.03a_2023_eda4870e-96eb-465c-8bf3-7d26aa4b30ef.pdf?v=1722962451. Último acceso: 15/05/2024
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 2018. ¿La herencia de un mundo sostenible? Atlas sobre salud infantil y medio ambiente. Ginebra. 164 pp.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 2021. Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire: partículas en suspensión (PM2.5 y PM10), ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y monóxido de carbono. Ginebra. 16 pp.
- Shiva Nagendra S. M., Schlink U., Müller A., Khare M. 2021. Urban air quality monitoring, modeling and human exposure assesment. Springer. 454 pp.
- Suarez L., Mesías S., Iglesias V., Silva C., Cáceres D., Ruiz Rudolph R. 2014. Personal exposure to particulate matter in commuters using different transport modes (bus, bicycle, car and subway) in an assigned route in downtown Santiago, Chile. Environ. Sci. Process Impacts. (16):1309-1317 pp.
- United States Environmental Protection Agency (US EPA). 2018. Technical Assistance document for the reporting of daily Air Quality - The Air Quality Index (AQI). EPA 454/B-18-007. 22 pp. Consultado en: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P100W5UG.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2016+Thru+2018&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&>. Último acceso: 24/03/2024
- United States Environmental Protection Agency (US EPA). 2024. UPDATE - Technical Assistance document for the reporting of daily Air Quality - The Air Quality Index (AQI). EPA 454/B-18-007. 3 pp. Consultado en: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P100W5UT.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2016+Thru+2024&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&>. Último acceso: 17/07/2024
- Zamora L. M., Rice J., Koehler K. 2020. One year evaluation of three low cost PM2.5 monitors. Atmospheric Environment. (235): 1 – 11 pp.



**JORNADAS
DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
2024**