

OPTIMIZACIÓN DE LA RUTA DE COLECTIVOS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DEL TRANSPORTE PÚBLICO EN LA UTN LA PLATA: UN ENFOQUE EN INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES Y CIENCIA DE DATOS

Caferri, Agustín

UTN – Facultad Regional La Plata
acaferri@frlp.utm.edu.ar

RESUMEN

Este trabajo de investigación se basó en la aplicación del conocimiento adquirido dentro de la Cátedra de Investigación Operativa de Ingeniería Industrial de la UTN La Plata. Representa un primer esfuerzo en la utilización de diversas técnicas de investigación operativa para diseñar una ruta de autobús óptima que satisfaga los distintos requisitos de los estudiantes y profesores de la UTN La Plata, considerando sus horarios de clase y sus patrones de viaje.

Para lograr este objetivo, se recopilaron meticulosamente datos completos relacionados con los horarios de clase y los patrones de movilidad de los integrantes actuales de la UTN La Plata. Empleando análisis de datos exploratorios, mapeos y metodologías avanzadas de modelado matemático, se discernieron patrones de viaje y necesidades de transporte.

Posteriormente, se aplicaron algoritmos de optimización para conceptualizar una ruta de colectivo que maximiza la cobertura y la frecuencia durante los períodos de mayor demanda para las personas que de la Institución. Al mismo tiempo, se tuvo en cuenta la conectividad intermodal con otros sistemas de transporte público. Además, se consideraron factores como la distancia recorrida, la detección de restricciones y los tiempos de viaje para ofrecer una solución práctica y eficiente.

Este estudio inaugural sobre la aplicación de modelos matemáticos y análisis de datos arrojó una descripción de los requisitos, que culminó en la formulación de una ruta de colectivo adaptada a los horarios de clases y comportamientos de los usuarios de la UTN La Plata. Tal enfoque subraya la importancia primordial de la investigación de operaciones en el desarrollo de sistemas de transporte público eficiente y a medida para distintos usuarios. Se prevén trabajos futuros basados en la simulación de rutas y la implementación de registros en tiempo real relacionados con los patrones de movilidad urbana en la región.

Palabras Claves: Economía del conocimiento, Investigación de Operaciones, Movilidad urbana, Eficiencia del transporte, Ciencia de Datos.

ABSTRACT

This research endeavor was grounded in the application of knowledge acquired within the Operations Research department at UTN La Plata. It represents a pioneering effort in utilizing diverse operations research techniques to devise an optimal bus route that caters to the distinct requirements of students and faculty at UTN La Plata, duly considering their class schedules and travel patterns. The primary objective was to enhance the efficiency of public transportation for this specific academic community.

To attain this goal, comprehensive data pertaining to class schedules and mobility patterns of current UTN La Plata constituents was collected. Employing exploratory data analysis, mapping and advanced mathematical modeling methodologies, travel patterns and transportation needs were discerned.

Subsequently, optimization algorithms were applied to conceptualize a novel bus route that maximizes coverage and frequency during peak demand periods for individuals commuting to and from the institution. Concomitantly, seamless intermodal connectivity with other public transportation systems was considered. In addition, factors such as distance traveled, detection of restrictions and travel times were considered to offer a practical and efficient solution.

This inaugural study on the application of mathematical modeling and data analysis yielded a comprehensive delineation of requisites, culminating in the formulation of a tailored bus route finely attuned to UTN La Plata's class schedules and user behaviors. Such an approach underscores the paramount significance of operations research in the development of bespoke and resource-efficient public transportation systems for distinct cohorts of users. Future work is expected based on the simulation of routes and the implementation of real-time records related to urban mobility patterns in the region.

Keywords: Knowledge Economy, Operational Research, Urban Mobility, Transport Efficiency, Data Science

1. INTRODUCCIÓN

El principal objetivo de este trabajo es el de proponer una metodología de análisis para la definición de una ruta de colectivo que tenga en cuenta los flujos de personas que se dan hacia y desde la Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional La Plata (FRLP, ubicada geográficamente en Berisso).

La ciudad de La Plata es la capital de la Provincia de Buenos Aires y se caracteriza por tener un trazado en su casco histórico perfectamente diseñado previo a su fundación en 1882. Este trazado favoreció su planificación urbana en un principio, pero el último Censo nacional (INDEC, 2023) indicó una creciente tendencia demográfica y viven actualmente más de 774.000 personas. Lo mismo ha sucedido con las localidades linderas Berisso y Ensenada, con más de 100.000 y 64.000 personas habitantes, respectivamente.

La región se destaca también por su vasta oferta educativa a nivel superior, encontrándose la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), FRLP, Universidad Católica de La Plata (UCALP) y la Universidad del Este La Plata (UDE). Solo la UNLP posee más de 120.000 estudiantes activos actualmente, repartidos en 17 Facultades (Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2023). Por su parte, en la FRLP estudian activamente más de 6.000 estudiantes (fuente propia). Más de 1 de cada 3 estudiantes universitarios en la región no son originarios de la ciudad (SIPU, 2023), por lo que el sistema inmobiliario se encuentra activo, tanto en el centro de la ciudad como en zonas residenciales geográficamente cercanas a las casas de Altos Estudios mencionadas.

Esta realidad hace necesario analizar continuamente el entramado de transporte público de la región para abastecer a esta tan alta demanda diaria, dado que son muchos estudiantes universitarios que se mueven de este modo.

Actualmente existen 13 líneas distintas de colectivos con 84 ramales totales que unen La Plata, Berisso y Ensenada (Ciudad de La Plata, 2023). Se suma a esto la estación Terminal de la Línea Roca de Tren que une la ciudad con el sur del Gran Buenos Aires (GBA), desde donde se acercan también estudiantes a diario a estudiar.

La mencionada UNLP ha logrado poseer la denominada Línea Universitaria, que une los distintos edificios de sus facultades, y funciona actualmente en la ciudad de La Plata el denominada Tren Universitario con un mismo fin.

La FRLP se destaca por sus franjas horarias definidas, lo cual permite a sus estudiantes trabajar a la vez que estudian. Esta realidad hace que muchos estudiantes lleguen a la FRLP posterior a las 17:00hs y salgan para volver a sus hogares posterior a las 23:00hs, momento en el que las frecuencias de algunas líneas ya han disminuido o, en casos particulares, ya no transiten algunas. No hay antecedentes que se hayan realizado estudios sobre la posibilidad de que exista una línea en la región que tenga en cuenta el flujo de personas.

Desde el punto de vista del diseño y optimización de una red de transporte públicos, se considera a este problema como un problema altamente complejo (NP-difícil). Se deben tener en cuenta la planificación de las rutas, definición de horarios y frecuencias que den una gran cobertura y accesibilidad (Ceder, 2007). Esto sucede con una demanda variable durante los días, semanalmente y hasta mensualmente. Otras dificultades radican en la necesidad de analizar las distintas combinaciones posibles entre rutas, el sistema de tarifas, el impacto ambiental, seguridad percibida y calidad del servicio.

El uso de la tecnología desempeña un papel fundamental en la optimización del diseño de una ruta de colectivo. La recopilación y análisis de datos de flujos de movimientos de grupos de personas dan mayor precisión a la vez que permiten un diseño on-line.

La investigación operativa (IO) es una disciplina que utiliza técnicas matemáticas y analíticas para tomar decisiones efectivas y eficientes en diversas áreas, incluida la planificación de operaciones en el transporte público:

1. Modelos de Programación Lineal y Entera: Estos modelos son útiles para optimizar la asignación de recursos limitados, como vehículos y conductores, para maximizar la eficiencia en términos de horarios y rutas. También se pueden usar para minimizar costos, como los de combustible y mantenimiento.
2. Algoritmos de Optimización de Rutas y Horarios: Los algoritmos de optimización pueden ayudar a encontrar las rutas y horarios más eficientes para los vehículos de transporte público, minimizando los tiempos de viaje, los traslapes y las ineficiencias en general.

3. Simulación de Tráfico y Operaciones: La simulación computacional puede utilizarse para modelar el flujo de tráfico y el comportamiento de los usuarios del transporte público en diferentes escenarios. Esto permite probar diferentes estrategias y ajustar la planificación en función de los resultados.
4. Modelos de Flujo de Pasajeros: Estos modelos ayudan a comprender cómo se desplazan los pasajeros en la red de transporte público. Pueden utilizarse para estimar la demanda, identificar cuellos de botella y planificar ajustes en la red.
5. Teoría de Colas: La teoría de colas puede ayudar a analizar los tiempos de espera en las paradas y estaciones, lo que es crucial para mejorar la satisfacción del usuario y la eficiencia de la red.
6. Algoritmos de Asignación de Recursos: Estos algoritmos se utilizan para asignar vehículos, conductores y recursos a diferentes rutas y servicios de manera óptima, considerando factores como la capacidad y la demanda.
7. Análisis de Sensibilidad y Escenarios: Las técnicas de análisis de sensibilidad permiten evaluar cómo cambian los resultados ante variaciones en ciertos parámetros. Esto es útil para entender la robustez de las soluciones propuestas.
8. Optimización Multiobjetivo: En casos donde hay múltiples objetivos a considerar, como minimizar costos y maximizar la satisfacción del usuario, se pueden utilizar métodos de optimización multiobjetivo para encontrar soluciones balanceadas.
9. Tecnologías de Información y Comunicación (TIC): Las TIC pueden ser integradas para la gestión en tiempo real, como sistemas de seguimiento de vehículos y aplicaciones móviles que brindan información actualizada a los usuarios sobre horarios y rutas.

Varios estudios se han realizado para dar respuesta a estas inquietudes en distintas ciudades utilizando modelos matemáticos complejos. Se ha optimizado una plataforma de colectivos asignando estaciones a cada colectivo (ten Bosch, (Han) Hoogeveen, & van Kooten Niererk, 2022) y también a nivel de red de transporte como un *trade-off* entre cobertura y movilidad (Chen, Wang, Zhiyuan, & Xuewu, 2017). En Grecia se ha estudiado cómo minimizar los tiempos de espera de pasajeros y nodos de transbordo (Saharidis, Dimitropoulos, & Skoridilis, 2013). Dada la importancia del transporte público dentro de un sistema intermodal, el denominado sistema de transporte compartido ('sharing', del inglés) resulta un complemento interesante para el transporte público, y no un suplemento (Friedrich & Noekel, 2015). Sigue siendo la optimización del cronograma de partidas de colectivos desde cada origen una de las decisiones central en la planificación del transporte público (Zhang & Wang, 2016).

Algo en claro es que la planificación de operaciones de transportes públicos es vulnerable a demoras, interrupciones del servicio y otras formas que agregar incertidumbre como la variación de demanda mencionada. Estas incertidumbres se han modelado siguiendo la heurística de los vecinos-más-cercanos (Hoogervorst, Dollevoet, Maroti, & Huisman, 2021), o a través de la estimación de la demanda basado en el uso de teléfonos celulares de pasajeros, en la ciudad de Abidjan, Costa de Marfil (Lee & Nair, 2021). Los tiempos de arribo a cada parada (nodo) son considerados en este tipo de modelos como estocásticos, lo cual permite su mejor estimación para minimizar esperas de los pasajeros y bajar la incertidumbre (Müller, Elbert, & Emde, 2021).

Existe una serie de modelos que abarcan específicamente las problemáticas complejas que surgen en la planificación del transporte público, los Problemas del Diseño de la Red de Transporte Público (TNDP del inglés). Los TNDP son esenciales para mejorar la eficiencia y la efectividad de los sistemas de transporte público en ciudades, con objetivos que varían en la reducción de la congestión del tránsito, la mejora de la accesibilidad y la promoción del transporte urbano público sostenible. Por ejemplo, se ha utilizado la metaheurística GRASP considerando el transporte público con un modelo multiobjetivo que tiene en cuenta la visión desde el pasajero como del proveedor del servicio (Mauttone & Urquhart, 2010) y (Mauttone, Tesis de Maestría: Optimización de Recorridos y Frecuencias en Sistemas de Transporte Público Urbano Colectivo, 2005).

Teniendo en cuenta que la asignación de rutas de transporte público, asignación de paradas, análisis de densidad de flujos de personas en ciudades recae en una necesaria representación geográfica visual, los Sistemas de Información Geográfico (SIG) pueden dar el soporte necesario en la identificación de subáreas urbanas, detección de demandas y sus variaciones temporales. Este novedoso enfoque aplica directamente aplica las bondades de los SIG en el diseño de rutas de transporte. Los SIG permiten visualizar y analizar espacialmente los patrones surgidos de la actividad asociada al transporte público, para luego tomar mejores decisiones de política pública.

Teniendo en cuenta el objetivo principal planteado, en este primer trabajo iniciado en la cátedra de Investigación Operativa de la carrera de Ingeniería Industrial de la FRLP, se propuso analizar el problema de asignación de una ruta de colectivo propia que tenga en cuenta los horarios de salida, utilizando los SIG, permitiendo una mayor conectividad.

El informe se divide en una primera etapa centrada en la recolección y análisis de los datos que permitan cuantificar la situación actual. Luego, se detalla el análisis realizado mediante el uso de un SIG en donde se muestran las rutas actuales. En la sección dedicada a los resultados, también se muestran el impacto de una nueva línea de colectivo, las paradas seleccionadas y cuáles son las variables de mayor incidencia.

2. DESAROLLO

Desde la cátedra de Investigación Operativa de la carrera de Ingeniería Industrial de la FRLP, curso 2023, se realizó una encuesta entre estudiantes de toda la institución que asisten a la FRLP o se van de ella en transporte público.

De la encuesta realizada, la cual fue contestada por un total de 311 personas, siendo 267 personas actualmente se movilizan en transporte público. Este valor no es representativo de toda la población actual de la FRLP, sino que es la población de interés que se analiza en este estudio.

En este año 2023, la cantidad de estudiantes que se encuentran en la situación de Activos por la propia FRLP es de un total de 5856 estudiantes¹, divididos en cada una de las seis (6) carreras de grado que se dictan. Solo se tuvo en cuenta como Activos a aquella persona estudiante de grado que ha ingresado a la FRLP por primera vez posterior al año 2015 (Figura 1).



Figura 1 - Proporción de estudiantes activos de la FRLP. Fuente: propia

De lo consultado, se analizó las actuales paradas de colectivos (sus direcciones y líneas) desde las cuales los estudiantes asisten a la FRLP cuando se dirigen a ella, y aquellas a las cuáles se dirigen desde la FRLP. Esta información, sumado al análisis de los recorridos actuales de las distintas líneas de colectivos que unen las localidades del Gran La Plata, Berisso y Ensenada, es lo que permite determinar rutas de conexión para el universo de análisis.

El principal inconveniente que resalta de la consulta realizada refiere a la cobertura temporal y la falta de conexiones en el horario vespertino y nocturno de la ciudad, lo cual intercede con la necesidad propia de los horarios de cursado de las personas que estudian en la FRLP. El turno “noche” de la FRLP finaliza, en promedio, y para todas sus carreras de grado, a las 23:00hs de Buenos Aires.

Respecto a los horarios utilizados, es evidente que los mismos corresponden a los horarios justamente de las clases de la FRLP: turno matutino entre 07:00hs y 08:00hs los más frecuentes para llegar a la FRLP y entre 12:00hs y 13:45hs los referidos a partidas desde la FRLP; turno “noche” entre 16:00hs y 17:30hs para arribar y entre 22:30hs y 23:00hs para abandonar la institución. Teniendo en cuenta la disponibilidad de distintas líneas y frecuencias, solo se profundizará en el turno “noche”, en el cual se

¹ Se consideran activos según la clasificación del programa de gestión de estudiantes propio de la FRLP

reduce considerablemente la frecuencia de distintos ramales que pasan por la FRLP, sea destino al centro de La Plata como dirección al centro de Berisso.

2.1. Información geoespacial

Las respuestas de cada persona encuestada acerca de las paradas de colectivos que utilizan para ir y volver desde la FRLP se pueden transformar sencillamente a través del uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Esta herramienta integra y relaciona datos georreferenciables para la toma de decisiones.

En este estudio se utilizó el programa QGIS, versión 3.26, de código abierto licenciado bajo Licencia Pública General (GNU, del inglés). QGIS, en su versión de escritorio permite crear mapas sumando capas que poseen distinta información: posiciones, alturas, recorridos, densidades de ubicaciones, eventos de interés, entre otros. El programa permite adicionar complementos, crear propios códigos y/o consultas en lenguaje Python o R-Project. Los caminos y rutas son denominados vías y las paradas de autobus son denominados nodos, siguiendo la nomenclatura de métodos de transporte.

Utilizando el complemento comunitario *OpenStreetMap* (OMS (C), 2023), el cual concentra datos de mapas de todo el mundo sobre caminos, senderos, ubicaciones particulares; todo, a través de dispositivos GPS y otras fuentes de datos libres que permiten verificar y mantener actualizados los mapas.

La Figura 2 muestra la Ruta de colectivo 2 generada en OMS. Esta ruta se usa como ejemplo para visualizar la bondad de la herramienta GIS con OMS:

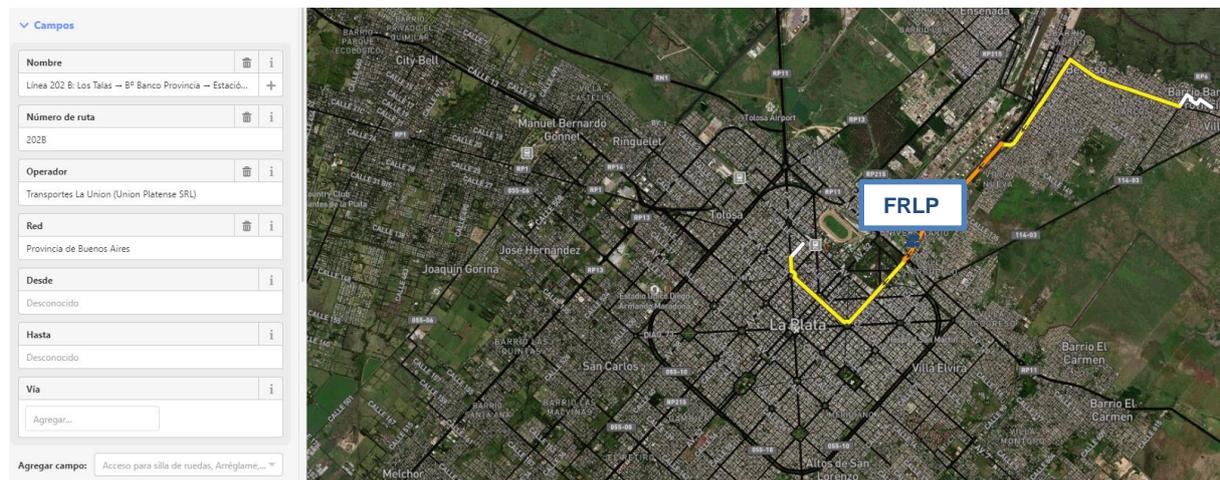


Figura 2 - Ruta de colectivo generada con OMS: Línea 202 B - Los Talas → B° Banco Provincia → Estación Ferrocarril La Plata x Avenida 7. Fuente: propia

Cada elemento generado permite ser editado en su forma y descripción. Cada elemento puede ser etiquetado según se visualiza en la Figura 3, así como todos sus componentes asociados (p.ej.: calles, paradas de autobus) y relaciones (p.ej.: Ruta maestra: Línea 202), como se visualiza en la Figura 4.

Etiquetas (7)			
name	Línea 202 B: Los Tal...	🗑️	ℹ️
network	Provincia de Bueno...	🗑️	ℹ️
operator	Transportes La Uni...	🗑️	ℹ️
public_transport...	2	🗑️	ℹ️
ref	202B	🗑️	ℹ️
route	bus	🗑️	ℹ️
type	route	🗑️	ℹ️

Figura 3 – Etiquetas de elementos de Línea de bus. Fuente: propia

Desde la página web de OMS se puede descargar cada elemento, punto, línea y área en formato que sea compatible en edición y análisis en QGIS. La otra opción, también utilizada, es el agregado del complemento de OMS directamente en el programa QGIS.



Figura 4 - Ruta Maestra de Línea 202 B: Línea 202, con todos sus ramales. Fuente: propia

De esta manera, se generó y analizó un mapa con todas las líneas de colectivos y sus paradas, en QGIS, el cual se representa en la Figura 5: en rojo, cada parada de colectivo de la región; en verde, figuran las rutas de colectivos. A primera vista, se visualiza que el entramado de colectivos alcanza a cubrir espacialmente la demanda.

2.2. Análisis Geoespacial

La FRLP tiene dos paradas en sus inmediaciones: una en dirección al centro de Berisso y la otra en dirección al centro de La Plata.

En dirección a Berisso circulan las siguientes líneas y ramales: Línea 214, ramales A, B y D; Línea 202, ramales A, B, C, D, E, F, G, H y El Carmen; Línea 275 Ramal Monasterio. En dirección a La Plata, se repiten las mismas Líneas y ramales, en sentido contrario.

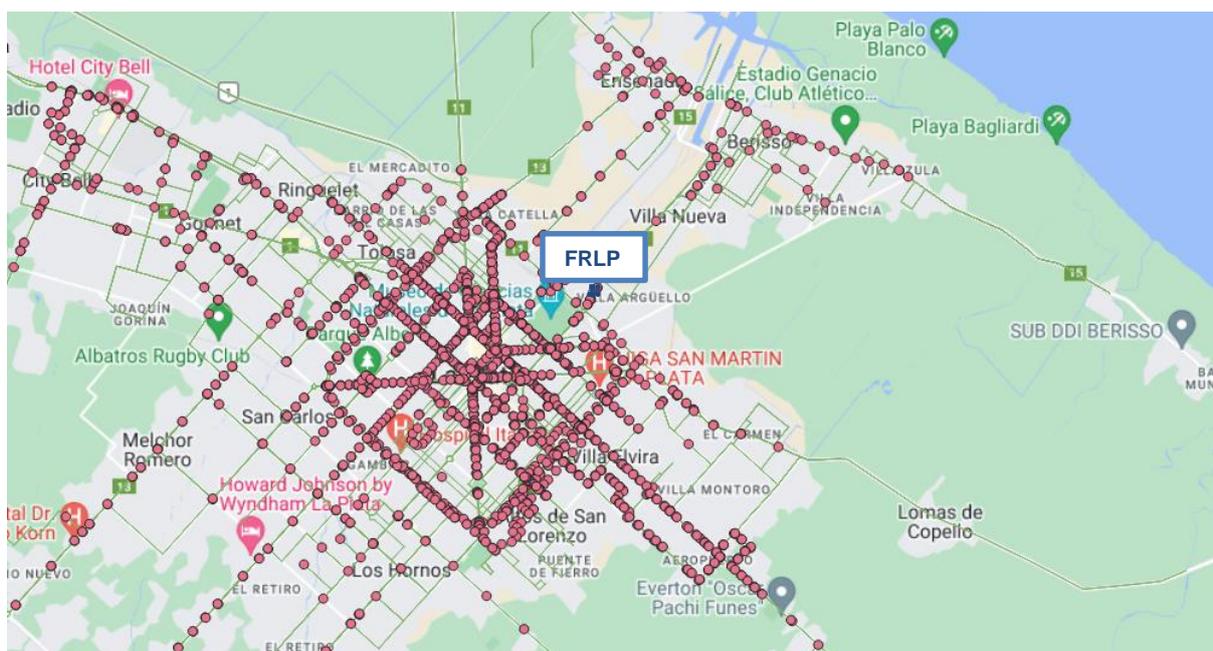


Figura 5 - Mapa generado con las paradas de colectivos (puntos en rojo) y rutas de cada línea (en verde). Fuente: propia

Se cargó como nueva capa en el programa QGIS las respuestas de la encuesta de las direcciones de subidas y bajadas a colectivos, y se solapó con las capas mostradas anteriormente (Figura 6 y 7).

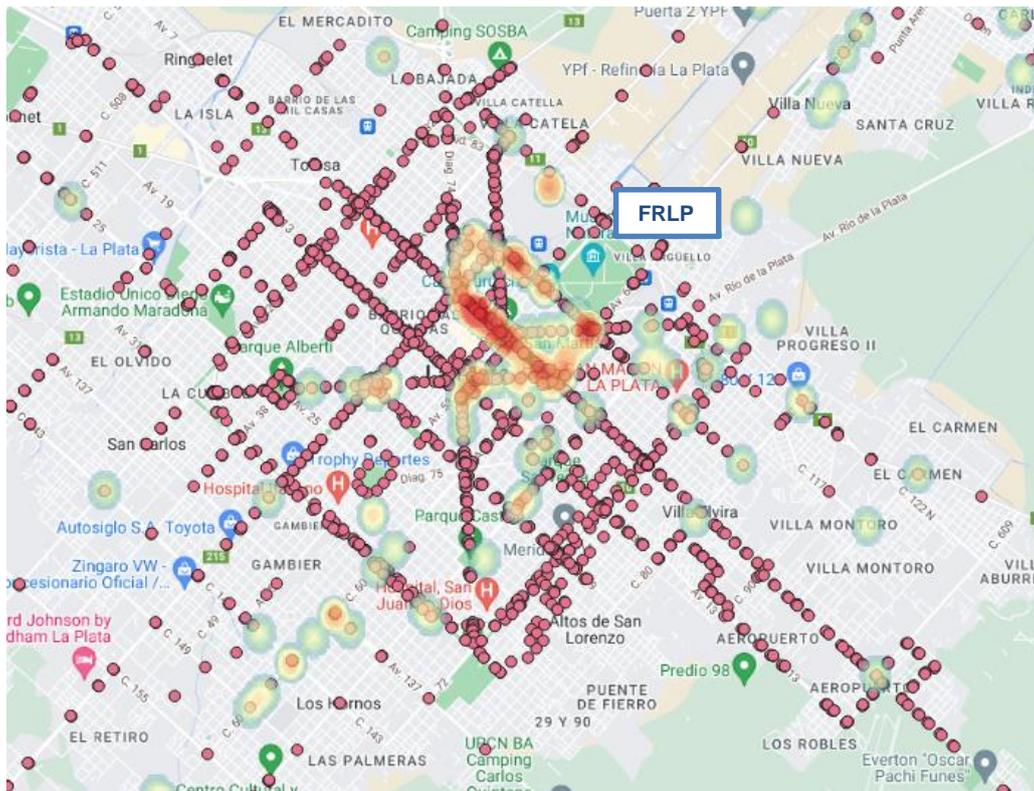


Figura 6 - Mapa de calor con los colectivos tomados por estudiantes de la FRLP y paradas de autobus generado en QGIS. Fuente: Propia

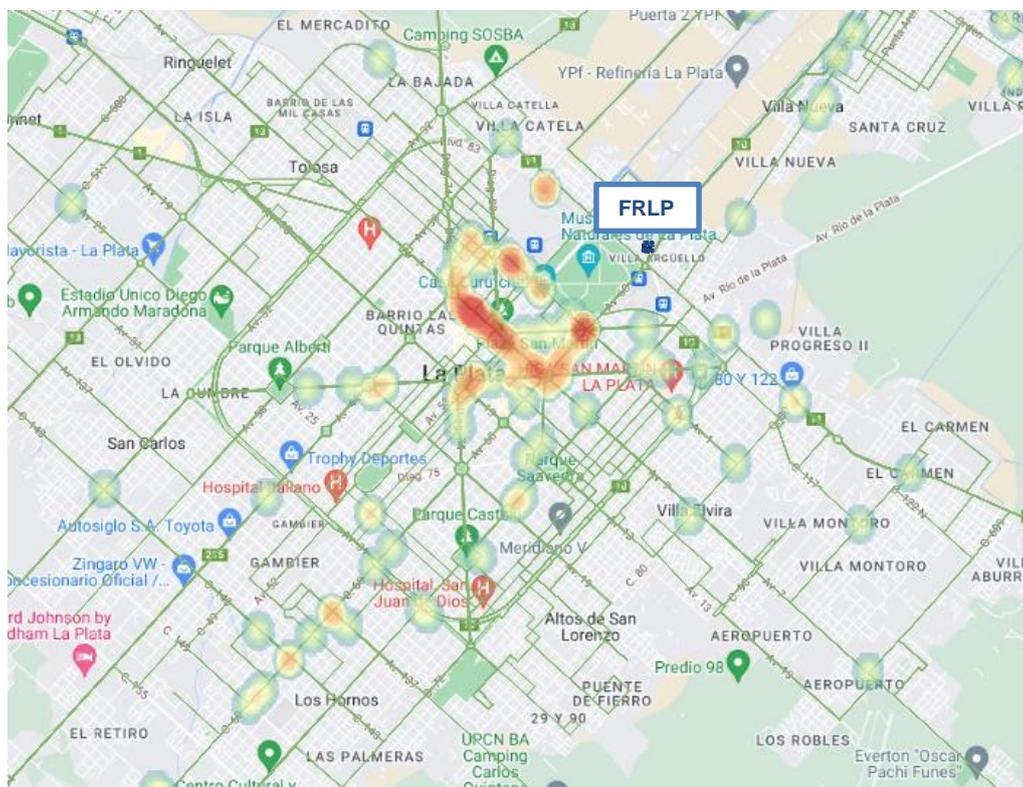


Figura 7 - Mapa de calor con los colectivos tomados por estudiantes de la FRLP y rutas de colectivos generado en QGIS. Fuente: Propia

En las Figuras 6 y 7, las nubes de color indican, para mayor tono cercano al rojo, mayor cantidad de personas que utilizan en dicho punto geoespacial un colectivo para dirigirse a la FRLP.

Resalta de dichas figuras qué zonas son importantes de cubrir por una nueva línea de colectivo que tenga conexión con la ubicación de la FRLP. En particular, mirando el centro de la ciudad de La Plata, se identifican como críticas las paradas siguientes, solo de visualizar el mapa de calor:

- Av. 60 y Av. 1
- Av. 60 y Av. 7 (Plaza Rocha)
- Av. 7 y Calle 55
- Av. 7 y Av. 51 (Plaza San Martín)
- Av. 7 y Calle 48
- Av 7 y Av. 44 (Plaza Italia)
- Av. 44 y Calle 2
- Av. 13 y Av 51 (Plaza Moreno)

Estas ubicaciones representan, a su vez, los principales trasbordos en donde convergen casi la totalidad de los ramales de las distintas líneas de colectivos de la ciudad de La Plata y alrededores (ver Figura 5).

Como se mencionó, la figura georeferenciada con rutas y paradas no alcanza para analizar la demanda de una ruta de colectivos especificada. Estando el problema espacial resuelto por la condición actual del sistema de transporte público de la región, queda el análisis temporal pendiente.

Se realizó un análisis pormenor de los horarios de cada ruta utilizando la información de los sistemas online Moovit® y Google Maps®. De este análisis, superpuesto con la demanda resultante de la encuesta, se verificaron qué líneas de colectivos actuales resultan críticas, según su último horario de arribo a una parada determinada y/o último horario de trasbordo en las paradas identificadas como críticas.

Como ejemplo, la Tabla 1 muestra, para cada parada mencionada como crítica, el horario del colectivo considerado como crítico por su horario actual de trasbordo desde la FRLP posterior al horario de 23:00hs, la línea crítica junto a su horario. El orden de las paradas críticas de la Tabla 1 está asociada a la cercanía con la FRLP.

Tabla 1 - Paradas, Líneas y Horarios críticos detectados. Fuente: propia.

Nº	PARADA CRÍTICA	COLECTIVO CRÍTICO	HORARIO CRÍTICO
1	Av. 60. y Av. 1	Línea Este ramal 15	23:19 hs
2	Av. 60 y Av. 7	Línea 520 ramal 2	23:50 hs
3	Av. 7 y Calle 55	Línea Norte ramal 10	23:20 hs
4	Av. 7 y Av. 51	Línea Este ramal 14	23:21 hs
5	Av. 7 y Calle 48	Línea Norte ramal 11	23:20 hs
6	Av. 7 y Av. 44	Línea Oeste ramal 24	23:28 hs
7	Av. 44 y Calle 2	Línea Oeste ramal 24	23:27 hs
8	Av. 13 y Av. 51	Línea Oeste ramal 22	23:22 hs

El colectivo crítico refiere a aquél que no es abordado en la FRLP ni de camino a la parada crítica, y que hay estudiantes que descienden en dicha zona. Se tiene en cuenta, también, que el recorrido, considerando un horario de salida de la FRLP posterior a 23:00hs, alcance a las paradas en un horario menor que el horario promedio que se calcula a través de la herramienta de análisis de ruteo de QGIS entre dichas paradas (i.e., horario alcanzable).

En la parada Nº 3, Av. 7 y Av. 51 (Plaza San Martín), convergen la gran mayoría de líneas y ramales con destino a toda la localidad de La Plata y Ensenada. Se detectaron trece (13) colectivos distintos cuyos horarios últimos de pasada en dicha parada es entre las 23:20hs y las 23:25hs (horario aceptable de un transporte público desde la FRLP a dicha parada posterior a 23:00hs). Con el mismo análisis, se encontraron en las paradas críticas Nº4, 5, 6 y 8 diecisiete (17), dieciseis (16), once (11) y nueve (9) colectivos en esas condiciones, respectivamente.

Este mismo análisis se realiza para cada horario, siendo el crítico el posterior al último horario de salida desde la FRLP. De igual forma, se transforma el análisis para analizar el nivel de alcance y conectividad en los ramales que conectan Berisso y Ensenada.

2.1. Rutas óptimas

Considerando lo mencionado en el análisis, y solo teniendo en cuenta el punto de vista netamente geoespacial, se pueden identificar los puntos críticos de necesidad de abordaje de líneas de colectivos para optimizar la conectividad de las personas estudiantes de grado de la FRLP.

Con ello, se analizaron dos (2) rutas que, a partir del horario de inicio desde la FRLP puedan cubrir las paradas críticas en el menor tiempo posible.

Ruta N°1:

Tabla 2 - Recorrido de Ruta N° 1 propuesta. Fuente: propia.

Nº	Inicio Tramo	Fin Tramo	Duración tramo
1	FRLP	Av. 60 y Av. 1	3 minutos
2	Av. 60 y Av. 1	Plaza Rocha	3 minutos
3	Plaza Rocha	Diag. 73 y Calle 57	2 minutos
4	Diag. 73 y Calle 57	Plaza Moreno	2 minutos
5	Plaza Moreno	Plaza San Martín	3 minutos
6	Plaza San Martín	Av. 7 y Calle 48	1 minuto
7	Av. 7 y Calle 48	Av. 7 y Calle 45	1 minuto
8	Av. 7 y Calle 45	Diag. 74 y Calle 43	1 minuto
9	Diag. 74 y Calle 43	Termina de Ómnibus	2 minutos
10	Termina de Ómnibus	Termina de Ómnibus	5 minutos

El total del tiempo del recorrido de la Ruta N°1 es de veinticinco (25) minutos, un total de 6.7km de recorrido y un total de once (11) paradas. Una vez que llega hasta la última parada, el colectivo queda disponible de transformarse en otro ramal.

Ruta N°2:

Tabla 3 - Recorrido de Ruta N° 2 propuesta. Fuente: propia.

Nº	Inicio Tramo	Fin Tramo	Duración tramo
1	FRLP	Av. 60 y Av. 1	3 minutos
2	Av. 60 y Av. 1	Av. 1 y Calle 57	1 minuto
3	Av. 1 y Calle 57	Av. 1 y Av. 51	1 minuto
4	Av. 1 y Av. 51	Av. 1 y Calle 48	1 minuto
5	Av. 1 y Calle 48	Av. 44 y Calle 2	3 minutos
6	Av. 44 y Calle 2	Av. 44 y Calle 6	2 minutos
7	Av. 44 y Calle 6	Av. 7 y Calle 46	3 minutos
8	Av. 7 y Calle 46	Av. 7 y Calle 49	1 minuto
9	Av. 7 y Calle 49	Av. 51 y Calle 8	2 minutos
10	Av. 51 y Calle 8	Av. 51 y Calle 12	2 minutos
11	Av. 51 y Calle 12	Calle 54 y Calle 12	3 minutos
12	Calle 54 y Calle 12	Diag. 73 y Calle 57	2 minutos
13	Diag. 73 y Calle 57	Plaza Rocha	2 minutos

La Ruta N°2 contiene un total de catorce (14) paradas, necesita un recorrido de 7.6 km y un total de veintiseis (26) minutos.

Para la realización de ambos recorridos se tuvo en cuenta los horarios y líneas críticas analizadas previamente. No se visualiza una Ruta que sea claramente mejor a la otra en términos de números de paradas, duración ni kilómetros de recorrido.

Se piensa, como propuesta de solución, que, en el horario analizado, se genere un nuevo ramal de una línea ya existente que frecuenta la FRLP. Una vez cubierta la demanda de las personas estudiantes de la FRLP, dicho ramal puede retomar su recorrido.

Queda así establecida la metodología de análisis para la definición de una nueva línea o ramal de colectivo teniendo en cuenta la demanda actual de un punto definido, como lo es en este caso la FRLP en el horario posterior a la salida del turno "noche".

3. CONCLUSIONES.

La creación de una nueva ruta de Colectivos, o un ramal nuevo dentro de una línea existente, aún cuando sea solo en un rango de horario determinado, requiere no solo de un análisis sociotécnico como el realizado en este trabajo, sino que es necesario el análisis económico y político para que pueda prosperar.

Solamente con el análisis de la demanda actual de colectivo por parte de las personas estudiantes de grado se pudo detectar visualmente mediante la generación de mapas de SIG los lugares críticos que

se deben tener en cuenta para su creación óptima. Es una herramienta valiosa, desde la cual se puede analizar la cobertura total de un sistema de transporte público.

El problema se puede optimizar complementando en el SIG la cobertura realizada, teniendo en cuenta la caminata que cada persona realiza posterior o previo a abordar un colectivo como nueva restricción al modelo. Los métodos matemáticos de optimización de ruteo y asignación de transporte aportan a dicha optimización.

4. TRABAJOS FUTUROS.

Este es un primer acercamiento desde la cátedra y la FRLP en la búsqueda de utilizar modelos matemáticas y geoespaciales para facilitar la toma de decisiones, a través de políticas públicas. Existe un marcado interés por parte del estudiantado de lograr obtener una ruta de colectivos que tenga en cuenta la idiosincrasia de la propia institución.

Los pasos siguientes para terminar de definir una única ruta, sus horarios y frecuencia de viaje se podrán determinar, teniendo en cuenta el siguiente análisis:

- Ampliación de la cantidad de encuestados y ampliar el foco de consulta, incluyendo a personas docentes, no docentes y cualquier persona que frecuente la FRLP.
- Utilización de modelos de optimización de rutas en QGIS, incluyendo rutas, asignación de paradas, costos, impacto ambiental y conectividad.
- Tener en cuenta para los trasbordos los horarios de otros tipos de transportes públicos.
- Abarcar la ciclicidad del uso de transporte público y privado en fechas particulares (p.ej., fines de semana largo)

5. REFERENCIAS.

- Ceder, A. (2007). *Public Transit Planning and operation. Theory, Modeling and Practice*. Oxford, UK: Elsevier Ltd.
- Chen, J., Wang, S., Zhiyuan, L., & Xuewu, C. (2017). Network-level Optimization of Bus Stop Placement in Urban Areas. *KSCE Journal of Civil Engineering*.
- Ciudad de La Plata. (10 de 09 de 2023). *LaPlata*. Obtenido de <https://www.laplata.gob.ar/transportePublico/#/>
- Consejo Superior de Investigaciones Científicas. (10 de 09 de 2023). *webometrics*. Obtenido de <https://www.webometrics.info/en/world>
- Friedrich, M., & Noekel, K. (2015). Modeling Intermodal Networks with Public Transport and Vehicle Sharing Systems. *The Association of European Operational Research*, 271-288.
- Hoogervorst, R., Dollevoet, T., Maroti, G., & Huisman, D. (2021). A variable neighborhood search heuristic for rolling stock rescheduling. *EURO Journal Transport Logistic*.
- INDEC. (10 de 09 de 2023). *Censo 2022*. (INDEC) Recuperado el 10 de 09 de 2023, de <https://censo.gob.ar/#>
- Lee, C., & Nair, R. (2021). Robust Transit Line Planning Based on Demand Estimates Obtained from Mobile Phones. *EURO Journal Transport Logistic*.
- Mauttone, A. (2005). *Tesis de Maestría: Optimización de Recorridos y Frecuencias en Sistemas de Transporte Público Urbano Colectivo*. Uruguay: Maestría en Informática PEDECIBA.
- Mauttone, A., & Urquhart, M. (2010). A Multi-Objective Metaheuristic approach for the Transit Network Design Problem. *Public Transport*.
- Müller, J., Elbert, R., & Emde, S. (2021). Integrating Vehicel Routing into Intermodal Service Network Design with Stochastic Transit Times. *EURO Journal on Transportation and Logistic*.
- OMS (C). (15 de 9 de 2023). *Acerca de nosotros: OpenStreetMap*. Obtenido de OpenStreetMap: <https://www.openstreetmap.org/>
- Saharidis, G., Dimitropoulos, C., & Skoridilis, E. (2013). Minimizing waiting times at transitional nodes for public bus transportation in Greece. *Operational Research Int Journal - Springer*.
- SIPU. (10 de 09 de 2023). *INFOCIELO*. Obtenido de <https://infocielo.com/la-plata/la-unlp-recibe-un-aluvion-extranjeros-donde-provienen-y-cuantos-son-n758042>

ten Bosch, W., (Han) Hoogeveen, J., & van Kooten Niererk, M. (2022). Optimizing bus line platform assignment across bus stations in Utrecht. *Public Transport - Springer*, 323-342.

Zhang, D.-p., & Wang, X.-k. (2016). Schedule optimization to improve trunk-local bus transfer efficiency in small conurbations: A case study of New York's capital region. *Central South University Press and Springer*, 1817-1822.

Agradecimientos

El autor de este trabajo tiene que agradecer en su totalidad a cada uno de los estudiantes que cursan el ciclo lectivo 2023 la asignatura de Investigación Operativa en la carrera de Ingeniería Industrial, en orden alfabético: Lucio Branchesi, Luciana Comunelli, Valentín Fantini, Cinthia González, Alexis Matías Irastorza, Victoria Mazzei, Salvador Augusto Mosso, Ivo Ottaviano, Santiago Martín Sacchetto, Sebastián Vicente Sciammaro, Lucila Yanina Torrez Yancko y Leonel Alejandro Zalazar. El trabajo realizado por cada uno de ellos, con su dedicación, ímpetu, ingenio y creatividad hizo posible la realización de cada segmento de este trabajo. Cada uno de ellos es tan o más autor que quien figura formalmente. La educación universitaria necesita de competencias que demostraron en su máximo esplendor. Esto es solo el comienzo.

También es necesario agradecer a la propia FRLP y sus autoridades que permiten que cada cátedra tenga la posibilidad de imaginar más allá de lo cotidiano, fomentando el trabajo de investigación aplicada para dar soluciones reales en la sociedad. En particular a Martina Fantini y Ludmila Cortizas del Observatorio de Políticas Sociales, Territoriales y Ambientales (OPSTA) de la FRLP, quienes con su experiencia en SIGs nos permitió acelerar nuestro proceso de aprendizaje.