

ÁREA TEMÁTICA: INGENIERÍA PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE

# Modelo de tarifación para redistribuir la demanda en transporte urbano: caso Paraná

## Pricing model to redistribute demand in urban transport: Paraná case

**Jaurena, Juan Francisco** | Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Entre Ríos.

Contacto: [juan.jaurena@uner.edu.ar](mailto:juan.jaurena@uner.edu.ar).

 <https://orcid.org/0000-0002-5736-3406>

**Dorella, Jonathan Jesús** | Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Entre Ríos.

 <https://orcid.org/0009-0009-6596-4939>

**Diaz Arias, Rafael David** | Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Entre Ríos.

 <https://orcid.org/0000-0003-3406-2421>

### RESUMEN

Este trabajo analiza el impacto de una estrategia de tarifación mixta en el sistema de transporte público de la ciudad de Paraná, con el objetivo de redistribuir la demanda en horarios pico mediante incentivos económicos. Se empleó una metodología cuantitativa basada en datos del sistema SUBE y encuestas representativas, complementada con simulaciones estocásticas mediante el método de Monte Carlo. Los resultados evidencian que descuentos del 30% y 40% permiten reducir significativamente la cantidad de pasajeros en la hora pico sin generar nuevos picos en horarios adyacentes. Se identificó un segmento de usuarios con flexibilidad horaria dispuesto a modificar sus hábitos de viaje ante incentivos adecuados. La estrategia propuesta mejora la eficiencia operativa, reduce el hacinamiento y optimiza el uso de recursos, posicionándose como una herramienta viable para la planificación tarifaria en ciudades intermedias.

Recibido: 16/10/2025 | Aceptado: 24/11/2025 | Publicado: 27/12/2025

DOI: <https://doi.org/10.64876/radi.v26.5>

Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



## ABSTRACT

This study evaluates the impact of a mixed fare strategy on the public transport system in the city of Paraná, aiming to redistribute peak-hour demand through economic incentives. A quantitative methodology was applied, combining smartcard transaction data with user surveys and stochastic simulations using the Monte Carlo method. The results show that fare discounts of 30% and 40% significantly reduce passenger volumes during peak hours without generating new congestion periods. A segment of users with flexible travel schedules was identified as responsive to pricing incentives. The proposed strategy improves operational efficiency, reduces overcrowding, and optimizes resource allocation. These findings support the implementation of dynamic fare policies as a viable tool for demand management and service quality enhancement in intermediate cities.

**Palabras clave:** Gestión horaria, incentivos económicos, simulación estocástica, movilidad urbana, planificación tarifaria.

**Keywords:** Time-based management, economic incentives, stochastic simulation, urban mobility, fare planning.

## INTRODUCCIÓN

El transporte público (TP) constituye un componente esencial de la movilidad urbana, especialmente en contextos de alta densidad poblacional y congestión vehicular. Su gestión eficiente contribuye a mejorar la calidad de vida, reducir la contaminación, fomentar la equidad y optimizar el uso del espacio urbano (Albalade & Fageda, 2019; Broaddus et al., 2009).

En este marco, la política tarifaria se presenta como una herramienta clave para garantizar la sostenibilidad financiera del sistema y para influir en los hábitos de movilidad. Las decisiones tarifarias impactan no solo en la recaudación, sino también en la equidad social, la eficiencia operativa y el comportamiento ambiental de los usuarios (Saghian et al., 2022; Zhao & Zhang, 2019).

En ciudades intermedias como Paraná (Entre Ríos, Argentina), el uso del TP ha experimentado variaciones significativas en las últimas décadas, influido por cambios en la infraestructura, políticas de subsidio y percepción ciudadana del servicio (Jaurena et al., 2022). A pesar de la existencia de beneficios como la Tarifa Social Federal (TSF) y el Boleto Educativo Gratuito, persisten desafíos en la gestión de la demanda en horarios pico y en la percepción de equidad tarifaria. Este trabajo se enmarca en el Proyecto de Investigación y Desarrollo de la Universidad Nacional de Entre Ríos (PID-UNER), cuyo objetivo es diseñar modelos de tarifación mixta basados en evidencia empírica. A partir del análisis de datos del sistema SUBE y de encuestas representativas, se estudia la relación entre condiciones tarifarias y patrones de viaje, con especial atención en los segmentos sin subsidios. La investigación se apoya en desarrollos empíricos que proponen incentivos para redistribuir la demanda (Ding et al., 2023; Liu & Charles, 2013).

En este contexto, la presente investigación busca determinar si es posible redistribuir efectivamente la demanda del transporte público en horarios pico mediante incentivos tarifarios diferenciados, sin generar nuevos picos de congestión en horarios adyacentes. Se plantea como hipótesis central que existe un segmento significativo de usuarios con flexibilidad horaria dispuestos a modificar sus patrones de viaje ante incentivos económicos apropiados, y que esta redistribución puede lograrse de manera progresiva y proporcional al nivel de descuento aplicado. El objetivo general del estudio es evaluar el impacto de una estrategia de tarifación mixta sobre la redistribución temporal de la demanda mediante simulaciones estocásticas basadas en datos empíricos del sistema SUBE y encuestas representativas de usuarios. En las secciones siguientes se presenta el marco teórico, la metodología empleada, los resultados obtenidos mediante simulaciones del modelo tarifario propuesto para Paraná, y una discusión sobre sus implicancias para la planificación del transporte urbano.

## Marco teórico

La tarifa en el TP ha evolucionado desde su concepción como precio de mercado orientado a la autofinanciación (Nash, 1982), hasta convertirse en una herramienta de política pública que incorpora criterios de equidad y sostenibilidad (White, 2016). En la actualidad, cumple funciones múltiples: financia parcialmente el sistema (UITP, 2017), modula la demanda (Vuchic, 2005), promueve la inclusión social (Goodwin, 1992; Verbich & El-Geineidy, 2017) y desincentiva el uso del automóvil (Cervero, 1998).

Entre las estrategias tarifarias más estudiadas se destacan los esquemas diferenciados por franja horaria, que buscan inducir el corrimiento de la demanda fuera de los picos. Experiencias como las gratuidades en horarios valle en Denver y Trenton (Cervero, 1982), y los modelos aplicados en Hong Kong y Shanghái (Ding et al., 2023; Wang et al., 2023), han demostrado eficacia en la redistribución de pasajeros. En esta línea, los esquemas de recargo-recompensa (SRS) y la tarifación dinámica permiten ajustar precios según la demanda prevista, incorporando modelos predictivos y lógica difusa (Tang et al., 2020; Saghian et al., 2022).

Las políticas tarifarias también incluyen subsidios focalizados para grupos vulnerables, como estudiantes, jubilados o beneficiarios de programas sociales, con el objetivo de compatibilizar el acceso universal con la viabilidad financiera del sistema (Falavigna & Hernández, 2016; Wang et al., 2023). Desde el punto de vista analítico, la elasticidad-precio de la demanda es un concepto clave para entender la sensibilidad de los usuarios ante variaciones tarifarias. La literatura muestra que los sectores de menores ingresos presentan mayor elasticidad, mientras que la disposición a modificar horarios depende de factores como la flexibilidad laboral o la motivación del viaje (Guzmán, Gómez & Moncada, 2020; Jaurena et al., 2025; Peer et al., 2016; Zhao & Zhang, 2019).

La congestión en horas pico sigue siendo una problemática operativa central. La sobrecapacidad impacta tanto en la eficiencia como en la percepción del servicio (Albalade

& Fageda, 2019). Frente a ello, la redistribución temporal de la demanda mediante incentivos tarifarios se presenta como una solución efectiva para mejorar el confort del viaje y optimizar el uso de los recursos disponibles (Broaddus *et al.*, 2009; Halvorsen *et al.*, 2016).

En términos metodológicos, los estudios más recientes combinan análisis estadístico de datos masivos - como los provenientes de sistemas de tarjeta inteligente - con simulaciones multiobjetivo, lo que permite construir escenarios tarifarios y proyectar sus impactos en la demanda y la recaudación (Liu & Charles, 2013; Saghian *et al.*, 2022). En Argentina, investigaciones aplicadas en la ciudad de Paraná han aportado evidencia empírica sobre la distribución horaria de la demanda, los perfiles de usuarios y la disposición al cambio de horario ante incentivos económicos (Jaurena *et al.*, 2022, 2023, 2024).

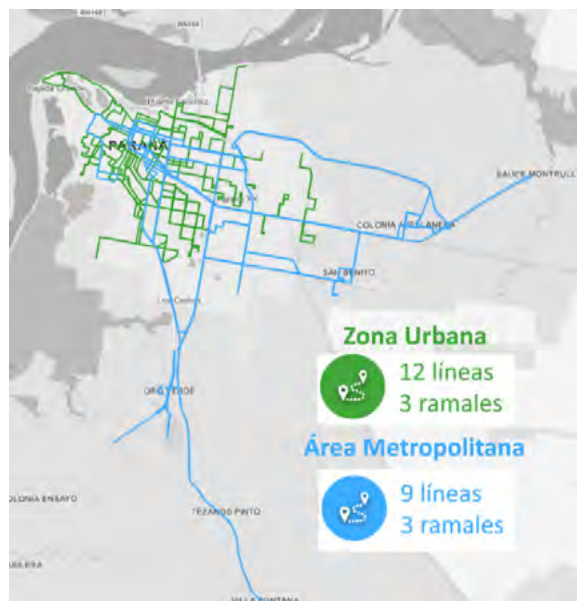
Estos hallazgos permiten afirmar que la tarifa ha dejado de ser un simple precio por viaje para transformarse en una herramienta de planificación compleja, capaz de equilibrar eficiencia operativa, sostenibilidad financiera y justicia social.

### **Caracterización del área de estudio y sistema de transporte público**

El área de estudio comprende la ciudad de Paraná, capital de la provincia de Entre Ríos, y su entorno metropolitano inmediato, incluyendo localidades como Oro Verde, San Benito y Colonia Avellaneda. Con una población cercana a los 300 mil habitantes, Paraná se configura como una ciudad intermedia con fuerte centralidad urbana y expansión residencial hacia la periferia, lo que genera una demanda significativa de movilidad diaria por motivos laborales, educativos y de acceso a servicios.

El sistema de transporte público se basa en autobuses operados por empresas privadas bajo regulación municipal y provincial. La red incluye 12 líneas urbanas y 9 metropolitanas (ver Figura 1), con una flota diaria de entre 120 y 130 unidades y una capacidad operativa de hasta 70 pasajeros por vehículo. La cobertura alcanza aproximadamente el 55% del ejido urbano.

En cuanto al esquema tarifario vigente al primer trimestre de 2024, el Área Metropolitana de Paraná cuenta con una tarifa plana general y once modalidades de franquicias con descuentos entre el 35% y el 100%, según perfil de usuario. Estas incluyen beneficios para estudiantes, jubilados, empleados públicos, personas con discapacidad y titulares de programas sociales, tanto a nivel local como nacional. Esta estructura refleja una política tarifaria fuertemente segmentada, orientada a garantizar el acceso al TP de los sectores más vulnerables mediante subsidios cruzados y compensaciones al operador.



**Figura 1 - Red de TP de Paraná y Área Metropolitana**

## METODOLOGÍA

La presente investigación adopta un enfoque cuantitativo y empírico centrado en el análisis del comportamiento de los usuarios del TP ante incentivos tarifarios, en el marco de la Gestión de la Demanda de Viajes (TDM, por sus siglas en inglés). Este paradigma propone intervenir sobre los patrones de movilidad urbana con el propósito de redistribuir la carga del sistema a lo largo del día, mejorar la eficiencia operativa y optimizar el uso de los recursos disponibles (Xiao et al., 2024).

El estudio se sustenta en dos fuentes principales de información, registros anonimizados del sistema SUBE correspondientes al período 2018-2024, y una encuesta estructurada realizada en noviembre de 2023 a 971 usuarios en puntos estratégicos del macrocentro de Paraná. Estos insumos fueron analizados sistemáticamente para caracterizar la demanda, identificar patrones de uso y evaluar la disposición de los usuarios a modificar sus horarios ante incentivos económicos (Jaurena et al., 2023, 2024).

En el caso del análisis de datos SUBE, se trabajó sobre una base de transacciones unitarias. Se seleccionó una muestra representativa correspondiente a una semana de días hábiles del mes de abril de 2023 (del 17 al 21), caracterizada como no estacional y sin alteraciones significativas en el funcionamiento general de la ciudad. Mediante técnicas estadísticas descriptivas, se caracterizó la distribución horaria de la demanda, la utilización diferenciada por tipo de tarifa (plana, estudiantil, obrero, TSF, entre otras), y los flujos por línea y franja horaria. Los resultados mostraron cinco bloques horarios como picos de demanda: 06:00h, 07:00h, 12:00h, 17:00h y 18:00h, destacándose el mediodía como la franja de mayor uso. Asimismo, se identificaron franjas de subutilización con

caídas de demanda cercanas al 25% respecto del máximo operativo, y se evidenció que el 37,7% de las tarjetas no fueron utilizadas en ningún horario pico, mientras que un 56,5% se emplearon en al menos dos o tres bloques pico, lo que confirma la existencia de un segmento intensivo de usuarios con movilidad concentrada en momentos de alta carga.

La encuesta complementaria fue diseñada para garantizar representatividad estadística, con un margen de error del  $\pm 3,1\%$  y un nivel de confianza del 95%. El cuestionario incluyó preguntas sobre frecuencia de uso, tipo de beneficio recibido, percepción de congestión, disposición al cambio de horario ante incentivos tarifarios y datos sociodemográficos. Los resultados revelaron que más del 60% de los usuarios se sienten frustrados durante las horas pico, y que el 62,2% accede a algún tipo de beneficio tarifario. Entre los usuarios frecuentes sin subsidios (Tarifa Plana), se identificó un 11% con disposición efectiva a modificar sus horarios ante la posibilidad de incentivos económicos. Además, se verificó una buena comprensión de los horarios pico y una valoración positiva hacia tres posibles beneficios: mayor frecuencia en horas valle, descuentos por viajar fuera de pico y abonos más económicos (Jaurena *et al.*, 2024).

En otro estudio complementario, se analizó la elasticidad-precio de la demanda del TP en Paraná, calculando elasticidades puntuales ante cada aumento tarifario para dos perfiles de usuarios bien diferenciados, Tarifa Plana y TSF. En la mayoría de los eventos, la demanda se mostró inelástica, con valores entre -0,44 y 0,26, lo que evidencia una alta proporción de usuarios cautivos (Jaurena *et al.*, 2025).

Sobre esta base empírica, se desarrolló un modelo de simulación estocástica mediante el método de Monte Carlo, orientado a evaluar el impacto de descuentos tarifarios diferenciados por franja horaria. A diferencia de enfoques que asumen una elasticidad fija, en este caso dicho parámetro se modeló como una variable aleatoria con distribución normal de media -0,44 y desviación estándar 0,1, de acuerdo con los valores reportados en los estudios previos mencionados.

Se definieron ocho escenarios de descuento, que varían entre el 10% y el 80%, con el fin de explorar diferentes hipótesis preliminares. Entre ellas, que existe un nivel de descuento "óptimo" capaz de inducir un cambio de comportamiento eficiente, y que descuentos excesivos podrían resultar contraproducentes al generar nuevos picos de demanda y profundizar valles de consumo.

De la base de datos del sistema SUBE se filtraron exclusivamente las transacciones asociadas a la tarifa plana, que representa el esquema base y permite observar el comportamiento de los usuarios no beneficiarios de subsidios. Las variables consideradas fueron el identificador de línea (IDLINEA), la fecha de transacción (FECHATRX) y la hora de transacción (HORATRX), discretizadas en intervalos de 10 minutos, lo que permite capturar con precisión los patrones de uso.

Se aplicó un proceso de preprocesamiento en varias etapas: se excluyeron líneas marginales (percentil inferior al 5%) y se definió una "Línea Virtual" como promedio de las líneas con mayor demanda (percentil superior al 75%). Esta línea sintética representa el perfil de demanda promedio del sistema.

Una innovación metodológica relevante fue la incorporación del concepto de flujos laterales, que reconoce que los pasajeros pueden optar por horarios más alejados si el incentivo es suficientemente atractivo. La redistribución de los pasajeros transferibles se realiza de forma proporcional a la demanda preexistente en las franjas valle.

La implementación computacional se realizó en lenguaje Python 3, utilizando la biblioteca Polars para la manipulación de datos y Matplotlib para la visualización de resultados. Se desarrollaron algoritmos propios para la simulación y el análisis probabilístico, construyendo un entorno de modelado flexible y escalable, capaz de incorporar múltiples escenarios tarifarios y evaluar sus impactos de manera precisa.

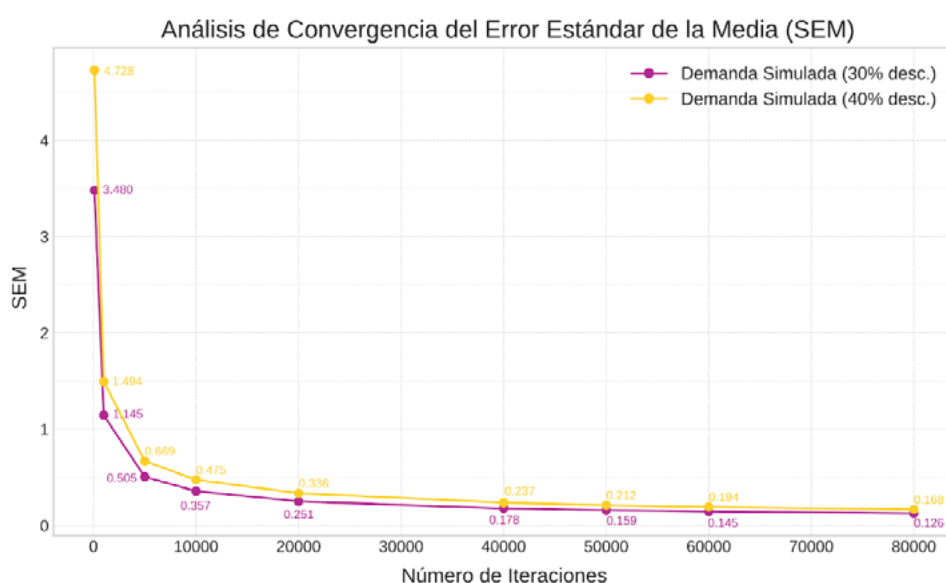


Figura 2: Gráfico de convergencia del modelo — evolución del Error Estándar de la Media (SEM) en función del número de iteraciones

La simulación se llevó a cabo mediante el método de Monte Carlo con 60.000 iteraciones, número definido a partir de un análisis de convergencia basado en el Error Estándar de la Media (SEM). Este enfoque probabilístico permitió incorporar la variabilidad en la elasticidad de la demanda –tratada como una variable aleatoria– y obtener estimaciones robustas de la reducción esperada de pasajeros en la hora pico, junto con su variabilidad e intervalos de confianza al 95%.

En la Figura 2 se muestra la convergencia obtenida para los escenarios de 30% y 40% de descuento, cuyos valores de SEM resultaron 0,145 y 0,194, respectivamente. Estos valores relativamente bajos evidencian una variabilidad reducida en las estimaciones, lo que garantiza la robustez estadística del modelo y otorga mayor confiabilidad a sus conclusiones.

### Justificación de la estrategia seleccionada

La elección de aplicar descuentos tarifarios fuera del horario pico se fundamenta en tres razones principales. En primer lugar, se trata de una política de implementación

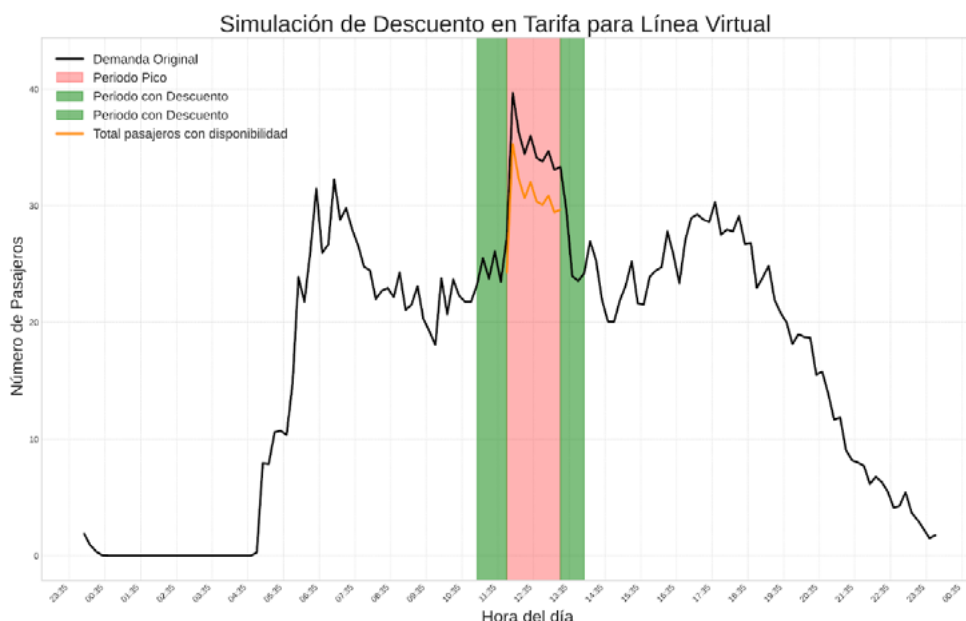
operativamente sencilla, ya que puede incorporarse directamente en la lógica del sistema SUBE mediante programación de descuentos por franja horaria. En segundo lugar, permite intervenir sobre el comportamiento de los usuarios sin necesidad de modificar la infraestructura ni alterar la oferta de servicios, lo que la convierte en una herramienta de gestión de demanda de bajo coste y alta escalabilidad. En tercer lugar, su efectividad ha sido demostrada en estudios internacionales, combinando simplicidad operativa con capacidad de impacto, y permitiendo ajustes progresivos según los resultados observados (Ding et al., 2023; Halvorsen et al., 2016; Peer et al., 2016).

En el caso del TP de Paraná, los datos del sistema SUBE y las encuestas representativas revelaron una concentración significativa de la demanda en franjas horarias específicas, especialmente al mediodía, así como la existencia de segmentos de usuarios con cierta flexibilidad horaria. Estos hallazgos sugieren que una parte relevante de los viajes realizados durante la hora pico no son absolutamente rígidos, y podrían ser reprogramados si se presentan incentivos adecuados. Por ello, la estrategia de descuentos fuera del pico se presenta como una alternativa viable para inducir el desplazamiento temporal de la demanda, mejorar la experiencia del viajero y optimizar el uso del sistema.

## RESULTADOS

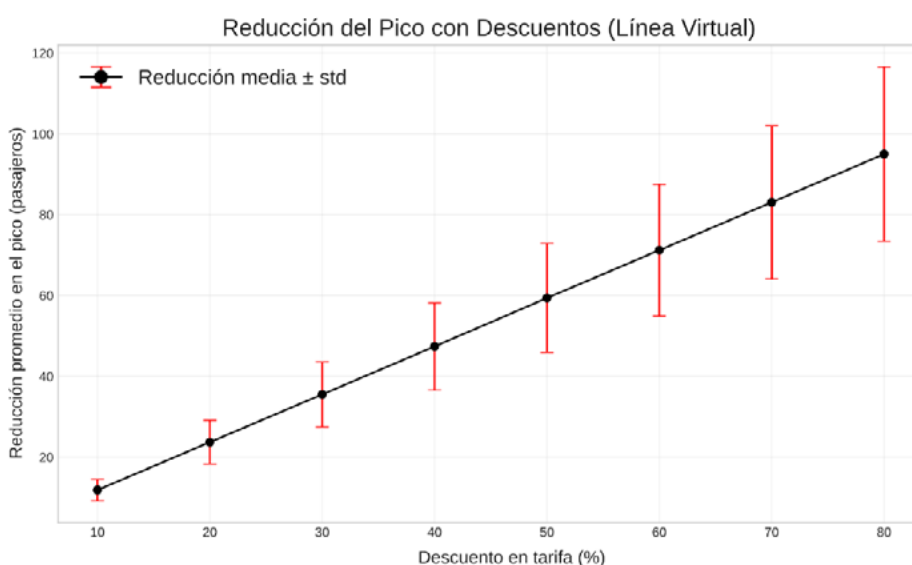
La simulación desarrollada permitió evaluar el impacto de la aplicación de descuentos tarifarios en franjas horarias valle sobre la redistribución de la demanda desde el período pico del mediodía. Este fenómeno, conocido como *peak spreading* (Liu & Charles, 2013), fue modelado a partir de la identificación de un conjunto de pasajeros transferibles cuya magnitud depende del nivel de descuento aplicado y de la elasticidad-precio de la demanda.

Como se observa en la Figura 3, el período pico fue definido empíricamente entre las 11:50h y las 13:20h, en función de la concentración horaria observada en la Línea Virtual (graficada en color negro) construida a partir de los datos del sistema SUBE. también se graficó (en línea color naranja) la curva de usuarios que pagan Tarifa Plana con disposición a cambiar sus hábitos de viaje con incentivos que se estudió mediante las encuestas de preferencias declaradas. Las franjas horarias seleccionadas para la aplicación de descuentos fueron las inmediatamente anterior y posterior al pico: de 11:00h a 11:50h y de 13:20h a 14:00h. Este esquema busca inducir el corrimiento de la demanda hacia momentos de menor saturación sin generar nuevos picos de congestión.



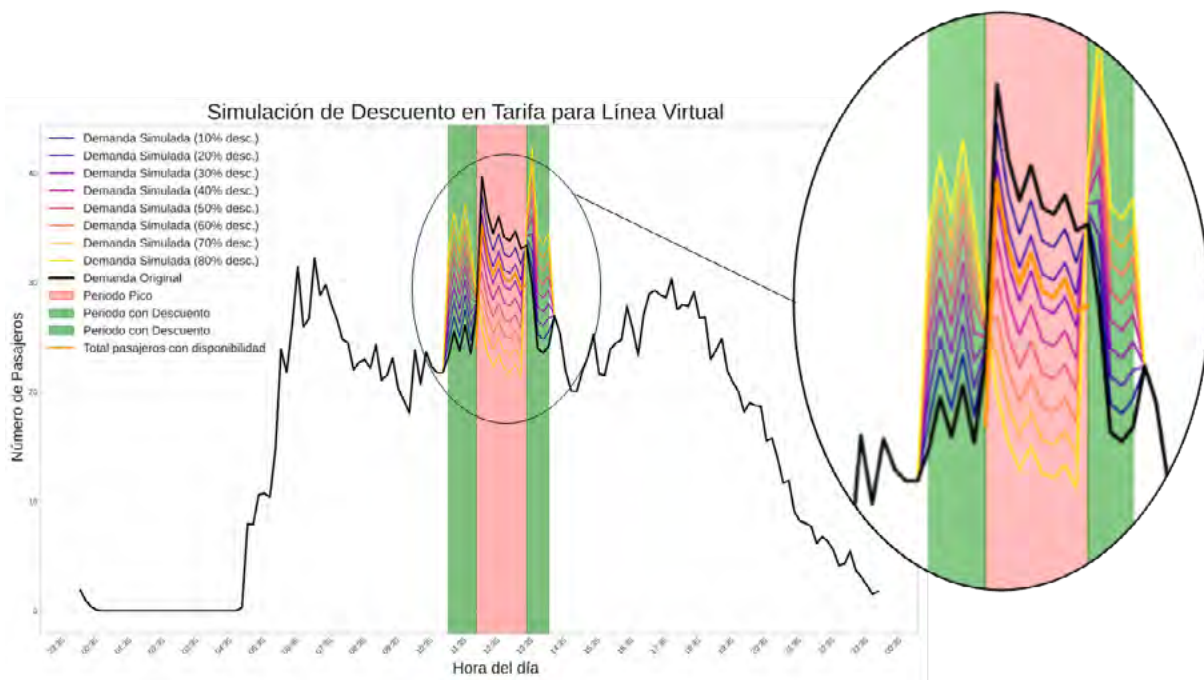
**Figura 3: Distribución horaria de la demanda en la Línea Virtual – identificación del período pico y franjas de descuento propuestas**

La Figura 4 muestra la migración de pasajeros de la Línea Virtual que pagan Tarifa Plana en función del porcentaje de descuento simulado y, por ejemplo, para un descuento del 20% se obtuvo una reducción media de 8,79% de pasajeros, para el 30% una reducción media de 13,22% de pasajeros, mientras que con un 40% el promedio de reducción ascendió a 17,58% de pasajeros. Los intervalos de confianza fueron estrechos: [35,284 ; 35,853] para el 30% y [47,094 ; 47,854] para el 40%, lo que evidencia la baja dispersión de las estimaciones y confirma la estabilidad estadística del modelo.



**Figura 4: Curva de migración de pasajeros en función del porcentaje de descuento – evidencia de rendimientos decrecientes**

El análisis de sensibilidad evidenció que la relación entre el porcentaje de descuento y el volumen de pasajeros migrados sigue una tendencia ascendente, aunque con rendimientos decrecientes a medida que se incrementa el nivel de incentivo. Esto sugiere que existe un umbral óptimo de descuento más allá del cual los beneficios marginales se reducen significativamente, lo que debe ser considerado en la formulación de políticas tarifarias.



**Figura 5: Comparación entre demanda original y demanda redistribuida – evidencia de aplanamiento de la curva**

La Figura 5 presenta la simulación detallada del impacto de aplicar distintos niveles de descuento tarifario sobre la demanda horaria en la línea virtual. En el eje horizontal se representa la hora del día, mientras que el eje vertical muestra el número de pasajeros por franja horaria discretizados cada 10 minutos. Las distintas curvas de colores corresponden a simulaciones de demanda bajo escenarios de descuento progresivo (del 10% al 80%), comparadas frente a la línea negra, que refleja la demanda original sin incentivos y la línea naranja que representa los pasajeros con disposición a evitar el pico mediante incentivos (ambas presentadas en la Figura 3).

La zona central resaltada en el gráfico coincide con el periodo pico (11:50h-13:20h, sombreado en rojo) y los intervalos inmediatamente anteriores y posteriores en los cuales se aplica el descuento (11:00h-11:50h y 13:20h-14:00h sombreado en verde). La imagen evidencia que, a medida que se incrementa el porcentaje de descuento, se observa una reducción progresiva de pasajeros en la franja pico y un aumento proporcional en los periodos con disponibilidad, sin que se generen picos artificiales en horarios adyacentes. Esto sugiere una redistribución efectiva de la demanda, validando el supuesto de la existencia de una porción relevante de usuarios con flexibilidad horaria. La leyenda lateral per-

mite identificar las curvas asociadas a cada nivel de descuento, facilitando la comparación visual del efecto marginal de cada incentivo sobre la migración de pasajeros.

Del análisis de los escenarios simulados se advierte que los niveles de descuento comprendidos entre el 20% y el 30% producen curvas de demanda que se asemejan significativamente al perfil de los usuarios de Tarifa Plana que, según las encuestas, declararon estar dispuestos a modificar su horario de viaje ante la existencia de incentivos económicos (11%). En consecuencia, la aplicación de un descuento tarifario dentro de ese rango permitiría inducir una respuesta positiva por parte de los usuarios con mayor propensión a ajustar sus hábitos de viaje, contribuyendo así a la descongestión del periodo pico.

El análisis económico aplicado al escenario del 30% de descuento, desarrollado sobre la base de la recaudación media de la semana del 17 al 21 de abril de 2023 e incorporando las fluctuaciones de demanda proyectadas por el modelo de simulación, evidenció que la implementación de esta estrategia generaría una reducción en los ingresos tarifarios del orden del 3.7% en concepto de Tarifa Plana y una reducción a nivel general de 2.16% para un día hábil típico.

Una de las contribuciones metodológicas más relevantes fue la incorporación del concepto de flujos laterales, que permitió modelar la posibilidad de que los pasajeros se desplacen hacia franjas horarias no contiguas al pico. La redistribución de los pasajeros transferibles se realizó de forma proporcional a la demanda preexistente en las franjas valle, bajo el supuesto de que los horarios con mayor actividad latente tienen una mayor probabilidad de atraer a los viajeros flexibles. Este enfoque evitó la formación de nuevos picos en los horarios adyacentes, logrando una distribución más uniforme de la demanda.

Los resultados obtenidos permiten afirmar que la estrategia de descuentos tarifarios fuera del horario pico es eficaz para inducir el desplazamiento temporal de la demanda sin generar efectos colaterales negativos. La migración de pasajeros se comporta de manera progresiva y proporcional al nivel de descuento, y la simulación confirma que existe una porción relevante de usuarios con flexibilidad horaria dispuestos a modificar su comportamiento a cambio de un beneficio económico.

## DISCUSIÓN

La implementación de estrategias tarifarias diferenciadas no solo tiene efectos operativos medibles, como la redistribución de la demanda en horas pico, sino que también incide directamente en la experiencia del viajero, entendida como un componente integral de la calidad de vida urbana. En este sentido, el TP debe concebirse como un determinante social que influye en el bienestar físico, emocional y económico de los usuarios (MacLeod *et al.*, 2022; Wang & Gao, 2022).

La evidencia empírica obtenida en Paraná muestra que el hacinamiento en horas pico genera altos niveles de frustración. La reducción de pasajeros en esos momentos, lograda mediante incentivos tarifarios, no solo tiene el potencial de mejorar la eficiencia del sistema, sino que también puede contribuir a una experiencia de viaje más segura, cómoda y predecible. Este efecto es particularmente relevante para grupos vulnerables

como mujeres, adultos mayores y personas con movilidad reducida, quienes enfrentan barreras adicionales en contextos de aglomeración (Bosch et al., 2025; Drouet et al., 2023).

Desde una perspectiva territorial, las ciudades intermedias como Paraná presentan desafíos específicos en materia de planificación del transporte. La escala urbana permite implementar políticas de movilidad con impacto directo, pero también evidencia limitaciones estructurales en cobertura, frecuencia y accesibilidad. En este contexto, la estrategia de tarifación mixta aparece como una herramienta viable para mejorar la equidad y la sostenibilidad del sistema, siempre que se acompañe de medidas complementarias como la mejora en la información al usuario y la adecuación de la infraestructura.

La experiencia del viajero, entendida desde un enfoque holístico, debe incorporarse como criterio de evaluación en el diseño de políticas públicas de transporte. La percepción de comodidad, la confianza en el sistema y la posibilidad de organizar el tiempo de forma eficiente son dimensiones que, aunque intangibles, tienen efectos concretos en la inclusión social y en la participación ciudadana. En este sentido, el TP no es solo un medio de desplazamiento, sino un espacio de interacción que refleja y reproduce las condiciones de justicia urbana.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos evidencian que la implementación de descuentos tarifarios fuera del horario pico constituye una herramienta efectiva para la redistribución temporal de la demanda en el sistema de TP de Paraná. El análisis de sensibilidad demostró que descuentos del 20% y 30% logran reducciones promedio de 8,79% y 13,22% de pasajeros respectivamente en la hora pico. Estos valores confirman la existencia de un segmento significativo de usuarios con flexibilidad horaria dispuestos a modificar sus patrones de viaje ante incentivos económicos apropiados.

La relación entre el porcentaje de descuento y el volumen de pasajeros migrados sigue una tendencia ascendente, aunque con rendimientos decrecientes a medida que se incrementa el nivel de incentivo. Se observó que la mayor eficiencia en la redistribución se concentra en el rango de descuentos del 20% al 30%, sugiriendo la existencia de un umbral óptimo más allá del cual los beneficios marginales se reducen significativamente. Esta evidencia resulta fundamental para la formulación de políticas tarifarias que equilibren la eficiencia operativa con la sostenibilidad financiera del sistema.

La simulación mediante el método de Monte Carlo con 60.000 iteraciones proporcionó robustez estadística al modelo, alcanzando convergencia con errores estándar de la media de 0,145 y 0,194 para los escenarios principales. Los intervalos de confianza estrechos obtenidos confirman la estabilidad de las estimaciones y validan la aplicación de enfoques probabilísticos para incorporar la variabilidad del comportamiento de los usuarios en la planificación tarifaria.

Una contribución metodológica relevante fue la incorporación del concepto de flujos laterales, que permitió modelar patrones de redistribución más realistas evitando la

formación de nuevos picos en horarios adyacentes. La redistribución proporcional a la demanda preexistente en las franjas valle logró una distribución uniforme de los pasajeros transferibles, validando el supuesto de que los horarios con mayor actividad latente tienen mayor probabilidad de atraer viajeros flexibles.

Aunque la medida de descuento del 30% implica una leve reducción en la recaudación diaria general del orden del 2,16%, este impacto no compromete de manera significativa la estabilidad financiera del sistema. En tal caso, el Estado podría optar por absorber dicho costo mediante subsidios específicos, dado que los beneficios operativos y sociales asociados - reducción del hacinamiento, optimización de la utilización de vehículos y mejora en la experiencia del usuario - justifican plenamente la inversión pública en el incentivo tarifario.

Los hallazgos posicionan la tarifación diferenciada como una alternativa viable de gestión de demanda. para ciudades intermedias, contribuyendo simultáneamente a la mejora de la experiencia del usuario, la reducción del hacinamiento y la optimización del uso de recursos. La estrategia propuesta presenta ventajas operativas significativas al ser implementable directamente a través de sistemas de tarjeta inteligente existentes, sin requerir modificaciones en la infraestructura ni alteraciones en la oferta de servicios.

Se reconoce que el estudio se circunscribe al análisis de usuarios de tarifa plana en una ciudad intermedia específica, lo que puede limitar la generalización de resultados a otros contextos urbanos o segmentos poblacionales. Futuras investigaciones deberían evaluar la aplicabilidad de estos hallazgos en ciudades de diferente escala, considerar el impacto sobre usuarios beneficiarios de subsidios, y analizar los efectos de largo plazo sobre los patrones de movilidad urbana. Asimismo, resultaría valioso incorporar análisis que permitan evaluar la persistencia temporal de los cambios de comportamiento inducidos por incentivos tarifarios.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de Entre Ríos (UNER) y Facultad de Ingeniería (FIUNER) por proporcionar el marco institucional y el financiamiento que hizo posible el desarrollo de esta investigación. Asimismo, se reconoce el apoyo del Grupo Interdisciplinario de Investigación, Desarrollo e Innovación del Transporte (GIDIT) por facilitar los recursos técnicos necesarios para la realización de este estudio. La contribución del grupo de investigación fue fundamental para el acceso a los datos del sistema SUBE, la ejecución de encuestas y la implementación de la metodología propuesta, elementos esenciales para el logro de los objetivos planteados.

## REFERENCIAS

Albalate, D., & Fageda, X. (2019). Congestion, road safety, and the effectiveness of public policies in urban areas. *Sustainability*, 11(18), 5092. <https://doi.org/10.3390/su11185092>

- Bosch, E., Luther, A. R., & Ihme, K. (2025). Travel experience in public transport: Experience sampling and cardiac activity data for spatial analysis. *Scientific Data*, 12, Article 633. <https://doi.org/10.1038/s41597-025-04955-4>
- Broadbuss, A., Litman, T., & Menon, G. (2009). Transportation demand management: Training document. *Transportation in the New Millennium*, 1-118. [https://www.sutp.org/files/contents/documents/resources/H\\_Training-Material/GIZ\\_SUTP\\_TM\\_Transportation-Demand-Management\\_EN.pdf](https://www.sutp.org/files/contents/documents/resources/H_Training-Material/GIZ_SUTP_TM_Transportation-Demand-Management_EN.pdf)
- Cervero, R. (1982). The transit pricing evaluation model: A tool for exploring fare policy options. *Transportation Research Part A: General*, 16(4), 313–323. [https://doi.org/10.1016/0191-2607\(82\)90058-9](https://doi.org/10.1016/0191-2607(82)90058-9)
- Cervero, R. (1998). *The Transit Metropolis: A Global Inquiry*. Island Press.
- Ding, X., Hong, C., Wu, J., Zhao, L., Shi, G., Liu, Z., Hong, H., & Zhao, Z. (2023). Research on time-based fare discount strategy for urban rail transit peak congestion. *Urban Rail Transit*, 9(1), 352–367. <https://doi.org/10.1007/s40864-023-00203-3>
- Drouet, L., Lallemand, C., Koenig, V., Viti, F., & Bongard-Blanchy, K. (2023). Uncovering factors influencing railway passenger experiences through love and breakup declarations. *Applied Ergonomics*, 111, Article 104030. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2023.104030>
- Falavigna, C., & Hernandez, D. (2016). Assessing inequalities on public transport affordability in two Latin American cities: Montevideo (Uruguay) and Córdoba (Argentina). *Transport Policy*, 45, 145–155. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2015.09.011>
- Goodwin, P. B. (1992). A Review of New Demand Elasticities with Special Reference to Short and Long Run Effects of Price Changes. *Journal of Transport Economics and Policy*, 26(2), 155–169. <http://www.jstor.org/stable/20052977>
- Guzmán, L. A., Gómez, S., & Moncada, C. A. (2020). Short run fare elasticities for Bogotá's BRT system: Ridership responses to fare increases. *Transportation*, 47, 2581–2599. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11116-019-10034-6>
- Halvorsen, A., Koutsopoulos, H. N., Lau, S., Au, T., & Zhao, J. (2016). Reducing subway crowding: Analysis of an off-peak discount experiment in Hong Kong. *Transportation Research Record*, 2544(1), 38–46. <https://doi.org/10.3141/2544-05>
- Jaurena, J. F., Díaz Arias, R. D., Franco, F., Lischet, S. M., & Hurani, R. A. (2022). Diseño de indicadores de gestión del transporte público de pasajeros a través de datos generados por el sistema SUBE: Caso de Estudio Ciudad Paraná. *Ejes De Economía Y Sociedad*. <https://doi.org/10.33255/25914669/6109>
- Jaurena, J. F., Díaz Arias, R., Dorella, J., & Frattin, J. (2024). Estudio sobre Hábitos de Movilidad y Preferencias de Usuarios de Transporte Público de la Ciudad de Paraná (Entre Ríos). En XVII COINI 2024 – *Congreso Internacional de Ingeniería Industrial* – AACINI - UTN FRLP.
- Jaurena, J. F., Díaz Arias, R., Elías, W., & Lambarri, J. (2023). Evaluación de la relación oferta-demanda en el sistema de transporte público de Paraná: Enfoque en la optimización y sostenibilidad de la movilidad. XVI COINI 2023 – *Congreso Internacional de Ingeniería Industrial* – AACINI - UTN FRSN.

- Jaurena, J. F., Díaz Arias, R.; Alvarado, Mónica E.; Pagani, Laura B. (2025). Análisis de elasticidad precio de la demanda del transporte público en la ciudad de Paraná (2018-2024). *Ejes De Economía Y Sociedad*.
- Liu, Y., & Charles, P. (2013). Spreading peak demand for urban rail transit through differential fare policy: a review of empirical evidence. *En Australasian Transport Research Forum 2013 Proceedings* (pp. 1–35). Australasian Transport Research Forum. <https://eprints.qut.edu.au/65216/>
- MacLeod, KE, Kamruzzaman, L. y Musselwhite, C. (2022). Equidad en transporte y salud, inclusión y exclusión social. *Journal of Transport & Health* , 27 , 101543. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2022.101543>
- Nash, C. A. (1982). *Economics of Public Transport*. Longman.
- Peer, S., Knockaert, J., & Verhoef, E. T. (2016). Train commuters' scheduling preferences: Evidence from a large-scale peak avoidance experiment. *Transportation Research Part B: Methodological*, 83, 314–333. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2015.11.017>
- Saghian, Z., Esfahanipour, A., & Karimi, B. (2022). A novel dynamic fare pricing model based on fuzzy bi-level programming for subway systems with heterogeneous passengers. *Computers & Industrial Engineering*, 172, 108654. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108654>
- UITP (International Association of Public Transport). (2017). *Public Transport Trends 2017*. Brussels: UITP. <https://www.uitp.org/>
- Verbich, D., & El-Geneidy, A. (2017). Public transit fare structure and social vulnerability in Montreal, Canada. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 96, 43–53. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.12.003>
- Vuchic, V. R. (2005). *Urban Transit: Operations, Planning, and Economics*. John Wiley & Sons.
- Wang, Q., Schonfeld, P. M., Deng, L., Xu, G., & Ling, S. (2023). Optimization of differentiated fares and subsidies for different urban rail transit users. *Computers & Industrial Engineering*, 179, 109144. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109144>
- Wang, Y., & Gao, Y. (2022). Travel satisfaction and travel well-being: Which is more related to travel choice behaviour in the post COVID-19 pandemic? Evidence from public transport travellers in Xi'an, China. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 166, 218–233. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2022.10.003>
- White, P. R. (2016). *Transporte público: su planificación, gestión y operación*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315675770>
- Xiao, L., Liao, J., Wu, S., Tian, Y., & Sun, J. (2024). Understanding the attitudes of travelers towards incentive-based travel demand management strategies in Suzhou, China. *Travel Behaviour and Society*, 35, 100752. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2024.100752>
- Zhao, P., & Zhang, Y. (2019). The effects of metro fare increase on transport equity: New evidence from Beijing. *Transport Policy*, 74, 73–83. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.11.009>