

<https://doi.org/10.47633/v9y3yb65>

Optimización de ingresos en servicios de taxi mediante programación lineal y pronósticos con Facebook Prophet en R

Revenue optimization in taxi services using linear programming and forecasting with Facebook Prophet in R

Otimização de receita em serviços de táxi usando programação linear e previsão com o Facebook Prophet em R

Angie Gabriela Esquivel-López

Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica

 <https://ror.org/04zhfrn38>

 <https://orcid.org/0009-0005-7633-2794>

anesquivel@estudiantec.cr

Sebastián Quesada-Córdoba

Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica

 <https://ror.org/04zhfrn38>

 <https://orcid.org/0009-0004-8162-4014>

se.quesada@estudiantec.cr

Esteban Andrés Espinoza-Solano

Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica

 <https://ror.org/04zhfrn38>

 <https://orcid.org/0009-0003-0531-6354>

e.espinoza@estudiantec.cr

Recibido 14-09-2025 | Revisado 15-10-2025 | Aceptado 28-11-2025



Nuestros artículos son publicados bajo los términos de la licencia internacional Creative Commons Atribucion-NoComercial-CompartirIgual 4.0.

Resumen

El estudio compara la programación lineal y Facebook Prophet para optimizar los ingresos del servicio de taxis urbanos usando datos del NYC TLC de los primeros diez meses de 2025. Se modeló la relación entre distancia, tiempo y ganancias para maximizar los ingresos diarios y Prophet permitió pronosticar la demanda e identificar tendencias y estacionalidades, con picos los jueves y sábados. Los resultados muestran que los viajes medianos ofrecen el mejor equilibrio entre ingreso y tiempo, y que combinar ambos enfoques brinda una estrategia más robusta al integrar predicción y optimización, mejorando la planificación operativa y la rentabilidad del servicio.

Palabras clave: Facebook Prophet; maximización de ganancias; optimización de ingresos; programación lineal; servicios de taxi

Abstract

The study compares linear programming and Facebook Prophet to optimize revenue in urban taxi services using NYC TLC data from the first ten months of 2025. The relationship between distance, time, and earnings was modeled to maximize daily driver income and Prophet was used to forecast demand and identify trends and seasonality, with peak activity on Thursdays and Saturdays. Results indicate that medium-length trips provide the best balance between revenue and time, and that combining both approaches offers a more robust strategy by integrating forecasting and optimization, enhancing operational planning and service profitability.

Keywords: Facebook Prophet; linear programming; profit maximization; revenue optimization; taxi services

Resumo

O estudo compara a programação linear e o Facebook Prophet para otimizar as receitas do serviço de táxis urbanos, utilizando dados do NYC TLC referentes aos primeiros dez meses de 2025. Foi modelada a relação entre distância, tempo e ganhos com o objetivo de maximizar a receita diária, e o Prophet permitiu prever a demanda e identificar tendências e sazonalidades, com picos às quintas-feiras e aos sábados. Os resultados mostram que as corridas de distância média oferecem o melhor equilíbrio entre receita e tempo, e que a combinação de ambos os enfoques proporciona uma estratégia mais robusta ao integrar previsão e otimização, melhorando o planejamento operacional e a rentabilidade do serviço.

****Palavras-chave:**** Facebook Prophet; maximização de lucros; otimização de receitas; programação linear; serviços de táxi.

Introducción

Los servicios de taxi presentan ingresos variables debido a fluctuaciones en la demanda, la distancia recorrida, la duración de los viajes y el desgaste del vehículo, por lo que anticipar estos factores resulta clave para optimizar el tiempo de trabajo y maximizar las ganancias. Este proyecto analiza los ingresos de taxistas durante los primeros diez meses de 2025 utilizando los datos del NYC TLC Trip Record Data, con el fin de identificar la relación entre distancia, tiempo e ingreso y así determinar combinaciones de viaje más eficientes. El estudio se realizó en R con apoyo de Prophet, una herramienta de series temporales que permite modelar tendencias y estacionalidades, generando pronósticos útiles para mejorar la planificación operativa de los conductores (Facebook Open Source, n.d.).

Marco teórico

Contexto y optimización en transporte urbano

La optimización del transporte urbano exige integrar modelos predictivos y de optimización para mitigar los desafíos estructurales de los servicios de taxi, tales como la congestión, los costos operativos y el desequilibrio entre oferta y demanda en periodos de alta actividad. (Wang et al., 2024).

Programación lineal como herramienta de optimización

La programación lineal (PL) constituye una herramienta sólida en el transporte para optimizar ingresos o costos bajo restricciones de recursos, facilitando decisiones clave sobre la asignación, rutas, inventarios y distribución vehicular. (Guerrero Salas, 2024)

La formulación estructurada de modelos lineales asegura la validez de la solución mediante la definición precisa de variables y parámetros, mientras que el análisis posóptimo resulta crucial en el transporte urbano para evaluar cómo las variaciones en la demanda y los costos afectan el resultado.

Modelado de demanda y series temporales

La estimación precisa de la demanda de viajes es un componente esencial para la planificación operativa en servicios de transporte. El análisis de series temporales permite detectar patrones estacionales, tendencias y variaciones horarias, factores indispensables para determinar la cantidad óptima de vehículos en circulación (Wang et al., 2024).

El problema de transporte multiobjetivo (MOLTP) amplía el marco de la programación lineal tradicional al considerar múltiples metas simultáneamente, como maximizar ingresos, reducir tiempos de espera y optimizar la utilización de recursos. Este enfoque refleja de manera más realista las condiciones del transporte

urbano, donde los objetivos suelen ser conflictivos entre sí. (Gonce Kocken & Ahlatcioglu, 2011).

Gestión y estrategias de ingresos

Este busca maximizar los beneficios derivados del uso de recursos limitados mediante decisiones óptimas sobre precios, asignación de capacidad y aceptación de demanda. En el caso de los taxis, estos recursos se relacionan con la disponibilidad de vehículos en distintas zonas y horarios (Moltó Quiles, 2024).

Según la fuente y el tipo de actividad desarrollada, los ingresos que lo componen pueden clasificarse en ingresos activos, provenientes de la operación principal (como el cobro de viajes en el caso de los taxis), ingresos pasivos, derivados de inversiones u otras fuentes complementarias, e ingresos extraordinarios, generados por eventos no recurrentes o excepcionales (López, 2018).

Integración de métodos predictivos y prescriptivos

La complementariedad entre modelos predictivos y prescriptivos constituye la base del enfoque híbrido propuesto. Mientras que los modelos predictivos, como Prophet, permiten anticipar la demanda futura, los modelos prescriptivos, como la programación lineal, determinan las asignaciones óptimas de recursos en función de esa demanda estimada (Wang et al., 2024).

Materiales y métodos

La presente investigación posee un enfoque cuantitativo, ya que se basa en la recolección y el análisis de datos numéricos para identificar patrones y probar modelos de optimización. El alcance es correlacional y explicativo, ya que busca establecer una relación entre las variables de distancia, tiempo e ingresos, y explicar cómo su combinación óptima maximiza la rentabilidad del conductor bajo restricciones operativas. La población de estudio corresponde a la totalidad de viajes de taxi realizados en la ciudad de Nueva York, de la cual se extrajo una

muestra no probabilística que contiene los registros del NYC TLC Trip Record Data correspondientes a los primeros diez meses del año 2025.

Para la sistematización y el procesamiento de esta información masiva, se utilizó el lenguaje de programación R dentro del entorno de desarrollo RStudio. El procedimiento metodológico inició con la preparación de los datos mediante el paquete arrow para la lectura eficiente de archivos, seguido de una fase de limpieza con dplyr para filtrar valores atípicos. Como parte de la metodología, se procedió a categorizar los viajes en tres segmentos (cortos (C), medios (M) y largos (L)) calculados a partir de los terciles de las distancias registradas, mientras que el manejo temporal se realizó con lubridate. (Fatih Tüzen, 2024; Sergio et al., 2014)

La elección de los métodos se justifica en la necesidad de un enfoque híbrido. Se seleccionó el algoritmo Facebook Prophet por su capacidad para modelar series temporales con estacionalidad, permitiendo anticipar la demanda futura. Además, se empleó la programación lineal mediante el paquete lpSolve para determinar la asignación eficiente de recursos. Este modelo se definió formalmente con el objetivo de maximizar los ingresos totales (Z) mediante la función $Z = \$C + \$M + \$L$, sujeta a restricciones operativas estrictas: un límite de 10 horas laborales, una distancia máxima de 200 millas y un tope de 15 viajes cortos para preservar la vida útil del vehículo. Finalmente, para la interpretación de los hallazgos, se utilizaron las librerías plotly y ggplot2, permitiendo la generación de visualizaciones interactivas de los modelos propuestos. (Wilkinson, 2005; Windover et al., 2015)

Resultados

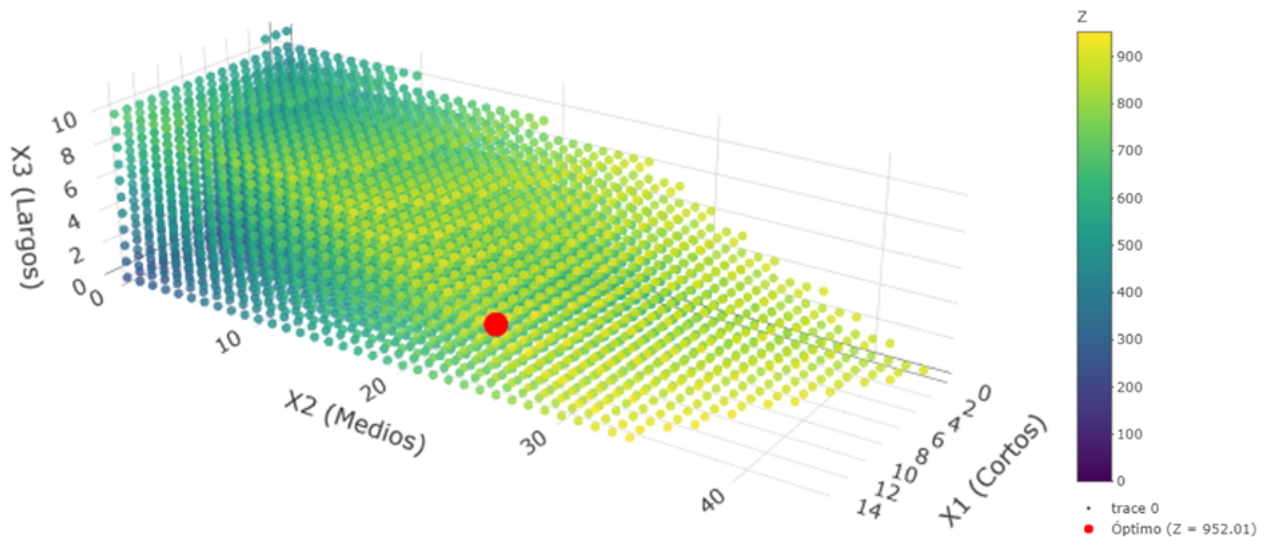
Solución teórica

Primero, para calcular qué viajes se consideraban cortos, medios o largos se procedió a calcular los terciles del conjunto de distancias registradas. Luego, teniendo los datos agrupados en cada tercil, se procedió a calcular los valores promedios de ingresos, el tiempo y distancia recorrida de cada tipo de viaje y ya con los coeficientes calculados, pudimos calcular la solución de programación lineal

usando el paquete lpSolve. Por último, se procedió graficar la solución al modelo y la predicción de Prophet usando los paquetes de plotly y ggplot2 (Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics, n.d.; Taylor & Letham, 2017).

Figura 1.

Gráfico 3D de todos los puntos válidos



Fuente: elaboración propia.

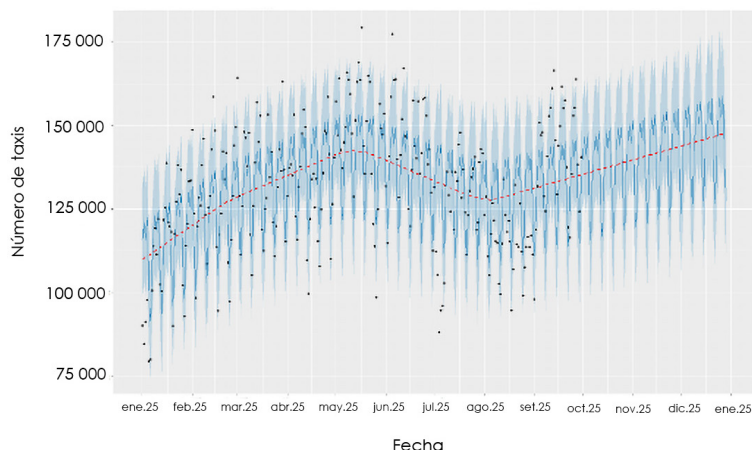
Al consultar el gráfico, la respuesta de maximización de $Z = \$C + \$M + \$L$ es:

$$Z = 16,06 C + 20,73 M + 43 L$$

$$Z = 16,06 * 15 + 20,73 * 25 + 43 * 4$$

Figura 2.

Gráfico del pronóstico de la demanda diaria de viajes en taxi



Fuente: elaboración propia.

Simbología del gráfico de predicción

La línea azul representa la predicción puntual diaria, mientras que la banda celeste refleja el intervalo de confianza al 80%.

Los puntos negros muestran los datos observados hasta la fecha del análisis.

La línea roja representa la tendencia que hay en el comportamiento del modelo.

Análisis del modelo

Tendencia

Se evidencia una creciente que comienza en enero de 2025, este incremento sostenido sugiere una expansión en la demanda de servicios de taxi, posiblemente impulsada por factores como un aumento de la actividad comercial.

Sin embargo, es notable que la tendencia no es lineal, de hecho, existe un punto de inflexión alrededor de junio-julio de 2025, donde la tasa de crecimiento comienza a caer, pero se estabiliza a inicios de agosto. Después de este punto, la tendencia vuelve a recuperar su trayectoria ascendente hacia finales del año. Este patrón sugiere que

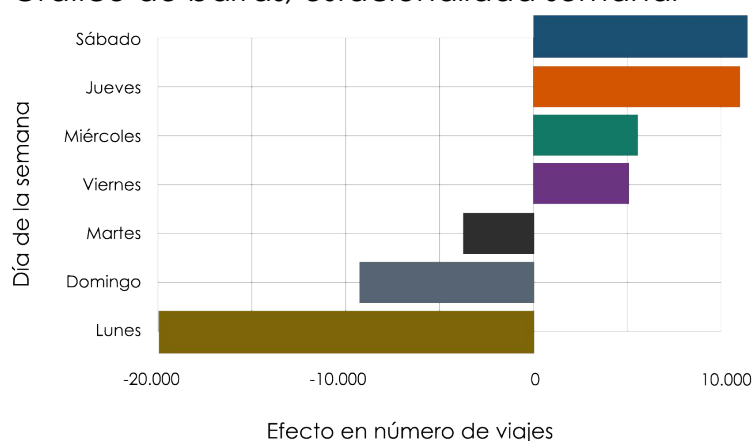
hubo un período de desaceleración, posiblemente relacionado con vacaciones estacionales o cambios en patrones de movilidad durante los meses de verano.

Intervalos de confianza y gestión de incertidumbre

Es importante notar que el intervalo se expande progresivamente conforme se proyecta más hacia el futuro. Al inicio del período (enero 2025), el intervalo es muy estrecho, reflejando alta confianza en los datos históricos. Sin embargo, hacia diciembre de 2025, el intervalo se ensancha significativamente, esto es una característica de cualquier pronóstico, la incertidumbre aumenta cuanto más lejos se proyecta en el futuro.

Figura 3.

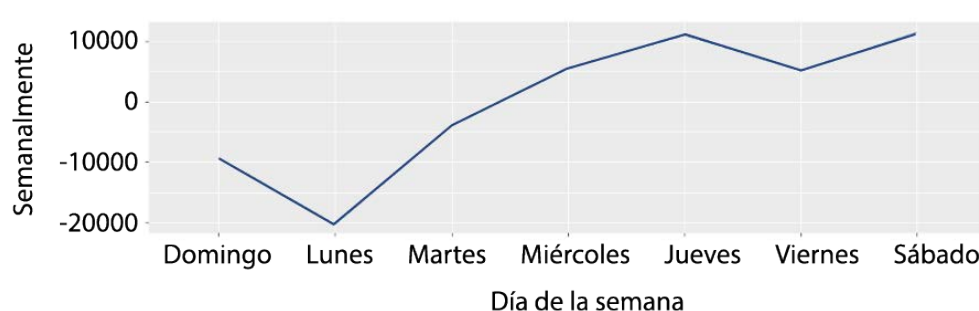
Gráfico de barras, estacionalidad semanal



Fuente: elaboración propia.

Figura 4.

Gráfico de líneas, estacionalidad semanal



Fuente: elaboración propia.

La demanda de viajes en taxi presenta un patrón semanal muy marcado con variaciones de hasta 30,000 viajes, donde los días de alta demanda corresponden principalmente a jueves y sábado, que alcanzan incrementos cercanos a 10,000 viajes respecto al promedio, mientras que los días de baja demanda son lunes, que cae alrededor de 20,000 viajes por debajo del promedio, y domingo, con una disminución aproximada de 10,000. Esto implica que las empresas deben ajustar la disponibilidad de su flota según el día de la semana, concentrando recursos entre jueves y sábado y reduciendo operaciones los lunes, con el fin de optimizar costos y mantener la calidad del servicio.

Desarrollo de la propuesta

Comparación de resultados

La solución teórica determinó que la combinación óptima de viajes prioriza los medianos (M), seguidos de los cortos (C) y, en menor medida, los largos (L), por su equilibrio entre ingresos, tiempo y desgaste del vehículo. El modelo Prophet pronosticó para 2025 una tendencia creciente en la demanda, con un leve descenso entre junio y julio y una probable recuperación a fin de año. Además, identificó variaciones semanales, con picos los jueves y sábados, y mínimos los lunes y domingos.

La integración de ambos modelos permite adaptar la estrategia óptima a la demanda temporal: en días de alta demanda (jueves-sábado), conviene maximizar viajes medianos y largos, mientras que en días bajos (lunes-martes) resulta más eficiente una estrategia conservadora centrada en viajes cortos. De este modo, el pronóstico de Prophet complementa al modelo de optimización, ajustándolo a las condiciones reales del mercado.

Análisis de robustez y aplicabilidad en el contexto real

El modelo permite encontrar la combinación óptima de viajes bajo restricciones realistas, aunque depende de parámetros fijos que pueden variar a diario. Prophet es más adaptable, ya que ajusta sus pronósticos según nuevos datos y detecta tendencias y estacionalidades. En conjunto, combinar ambos modelos ofrece un enfoque más robusto: Prophet anticipa la demanda y la programación lineal traduce esas predicciones en estrategias óptimas de operación ajustadas a las condiciones reales.

Limitaciones, ventajas y posibles mejoras

La programación lineal ofrece soluciones óptimas bajo restricciones reales, aunque supone parámetros fijos; una posible mejora sería incorporar datos dinámicos. Por otro lado, Prophet capta estacionalidades y tendencias, pero no ofrece una precisión muy alta; como mejora, se podría ajustar modelos semanales específicos.

Conclusiones

La investigación integró modelos de programación lineal y pronóstico con Prophet para optimizar y anticipar la operación diaria del servicio de taxis. El modelo lineal permitió determinar que la combinación óptima para maximizar ingresos se obtiene priorizando los viajes medianos, seguidos por los cortos y, en menor medida, los largos, cumpliendo con las restricciones de tiempo y distancia. Por su parte, Prophet evidenció una tendencia creciente en la demanda de viajes durante 2025, con picos en jueves y sábado y menor actividad los lunes. Estos resultados muestran que la demanda presenta un patrón estacional predecible. En conjunto, ambos modelos demostraron que es posible mejorar la rentabilidad y la planificación operativa al combinar predicción y optimización, adaptando las decisiones diarias a las variaciones reales del mercado.

Referencias

- Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics. (n.d.). Obtenido el 2 de noviembre de 2025, de <https://ggplot2.tidyverse.org/>
- Facebook Open Source. (n.d.). *Prophet Documentation*. Obtenido el 2 de noviembre de 2025, de https://facebook.github.io/prophet/docs/quick_start.html#r-api
- Fatih Tüzen, M. (2024, 29 de setiembre). *Mastering Date and Time Data in R with lubridate* | R-bloggers.
<https://www.r-bloggers.com/2024/09/mastering-date-and-time-data-in-r-with-lubridate/>
- Gonce Kocken, H., & Ahlatcioglu, M. (2011). A Compensatory Approach to Multiobjective Linear Transportation Problem with Fuzzy Cost Coefficients. *Mathematical Problems in Engineering*, 2011(1), 103437.
<https://doi.org/10.1155/2011/103437>
- Guerrero Salas, Humberto. (2024). *Programación Lineal Aplicada*. 415.
https://books.google.com/books/about/Programaci%C3%B3n_lineal_aplicada_3da_edici.html?hl=es&id=1Y2bEAAQBAJ
- Gómez López, E. (2019). *Tu llave a la libertad financiera: Todo lo que necesitas saber para alcanzar la libertad financiera a través del ahorro y la inversión* (4ª ed). Alient.
- Moltó Quiles, E. (2024). *Gestión de ingresos*.
<http://dspace.umh.es/handle/11000/33207>
- Santana Sepulveda, J. S., & Mateos Farfan, E. (2014). *El arte de programar en R: un lenguaje para la estadística*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Taylor, S. J., & Letham, B. (2017). *Forecasting at scale*.
<https://doi.org/10.7287/PEERJ.PREPRINTS.3190V2>

- Wang, C., Wang, J., Zhang, Y., Malenje, J. O., & Han, Y. (2024). Optimizing Taxi-Pooling Operations to Enhance Efficiency and Revenue: A Queuing Model Approach. *Mathematics*, 12(20), 3210. <https://doi.org/10.3390/math12203210>
- Wilkinson, L. (2005). *The Grammar of Graphics* (2a ed.). Springer-Verlag.
<https://doi.org/10.1007/0-387-28695-0>
- Windover, P., Owens, R., Levinson, T., Laughlin, M., & Gaines, L. (2015). *Stop and Restart Effects on Modern Vehicle Starting System Components*.
<https://doi.org/10.2172/1184379>