

Medidas de desempeño en la operación del transporte público con datos de programación de servicio, boleto electrónico y rastreo satelital.

Martinazzo, Lucila ^{a,b}; Bergamasco, Carla^a; Lafit, Federico ^a; Minoura, Lucas^a; Falavigna, Claudio ^{a,b}
^a Universidad Nacional de Córdoba - Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
^b Departamento de Construcciones Civiles - Instituto Superior de Ingeniería de Transporte (ISIT)
 federico.lafit@mi.unc.edu.ar

Resumen

De acuerdo con la Agenda 2030 de Naciones Unidas para el desarrollo sostenible, el transporte y la movilidad sostenible son transversales a diferentes ODS relacionados con la eficiencia energética, la infraestructura y las ciudades sostenibles. Aquí resulta clave el rol de los sistemas de transporte público, su planificación y operación. En las últimas décadas, con el desarrollo de las tecnologías de geolocalización de flotas (GPS), los sistemas de boleto electrónico y el desarrollo de formatos abiertos de especificaciones de la programación de servicios denominados GTFS (General Feed Transit Specification) surgieron nuevas fuentes de datos que pueden adaptarse para planificar y gestionar los servicios mejorando la eficiencia. Este trabajo muestra los resultados parciales de una investigación en desarrollo que tiene por objetivo evaluar el desempeño operacional de un conjunto de corredores del transporte público de la ciudad de Córdoba comparando la aptitud, precisión y calidad de los datos de las tres fuentes mencionadas (GTFS, GPS y Boleto electrónico). Las medidas de desempeño propuestas fueron Frecuencia promedio y Velocidad de operación. Los resultados obtenidos hasta el momento de esta publicación evidencian que existe una diferencia entre la programación de los servicios (GTFS) y la operación real que, en algunos casos, es mayor al 10%.

Palabras clave: Transporte público; Gestión de operaciones de transporte; Movilidad urbana; Ingeniería de transporte.

INTRODUCCIÓN

La correcta y completa caracterización de las variables de oferta y demanda del transporte público es fundamental para una planificación urbana que se adecúe a las necesidades de la población y sea compatible con el desarrollo sostenible. Para lograrlo, las nuevas tecnologías y los avances en el análisis de datos y el poder de procesamiento son herramientas fundamentales que generan nuevas fuentes de datos de forma permanente, efectiva y en tiempo real.

A pesar de su potencialidad, los datos de nuevas fuentes como geo-localización, teléfonos celulares y validación de tarjetas de cobro electrónico pueden llevar a conclusiones erróneas si no se comprende su forma de recolección y publicación, y los datos que contiene. En este análisis e interpretación radica la importancia del trabajo aquí presentado.

OBJETIVOS

El artículo presenta avances parciales de una investigación en desarrollo que tiene por objetivo comparar la aptitud, precisión y calidad de tres fuentes de datos (programación del servicio, rastreo satelital y boleto electrónico) para utilizarlas en la evaluación del desempeño operacional del transporte público de la ciudad de Córdoba. En este artículo las medidas de desempeño propuestas fueron Frecuencia promedio y Velocidad de operación para la Línea 10 del transporte público de la ciudad de Córdoba en el horario pico de la mañana. Es importante aclarar que el artículo se enfoca en la discusión de los métodos y la aptitud de las fuentes de datos y no en el análisis del transporte público de Córdoba.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de este trabajo se utilizaron como fuentes de datos la programación del transporte público de la Ciudad de Córdoba en un feed GTFS para el año 2019, validaciones georreferenciadas realizadas en todas las líneas del transporte público de Córdoba entre el lunes 12 y el viernes 16 de Marzo de 2018 (boleto electrónico) e información del seguimiento vehicular de los buses de cada línea durante un día hábil de Mayo de 2016 (rastreo satelital GPS). El tratamiento y análisis de los datos de estas bases se realizó en lenguaje R a través de la interfaz gráfica RStudio, con paquetes como tidytransit (Poletti *et al.*, 2024) que permite calcular tiempos de viaje, rutas y frecuencias de transporte público con datos GTFS, o geosphere para el cálculo de distancias (Hijmans *et al.*, 2022).

La utilización de estos nuevos tipos de fuentes de datos tiene ventajas comparativas en el tiempo y costo que demandan respecto a las fuentes tradicionales de información como las encuestas o relevamientos de campo, aunque también pueden tener sesgos de representatividad por lo que es importante analizar y comprender en profundidad la información que presentan (Anapolsky, 2020). Los antecedentes también muestran una importante cantidad de estudios que abordan la evaluación del desempeño del transporte público a partir de datos del boleto electrónico (Eom *et al.* 2015; Trépanier *et al.*, 2009), el uso de bases de datos del boleto electrónico y de GPS para la identificación de patrones de viajes (Monteiro, 2021; Bergamasco, 2023), y los GTFS como

alternativa para la estimación de tiempos de viaje (Pereira, 2019; Martinazzo, 2023), todos parámetros para caracterizar el sistema de transporte y movilidad.

RESULTADOS

La Tabla 1 resume los resultados parciales obtenidos al momento de la publicación de este artículo, y la Figura 1 el recorrido de la línea 10 analizada.



Figura 1. Mapa de las líneas de transporte público de Córdoba destacando la Línea 10.

Tabla 1. Desempeño operacional de la Línea 10 del transporte público de Córdoba entre 6:00 y 9:00am.

Medida	Fuentes de datos					
	Programación (GTFS)		Boleto electrónico		Rastreo satelital (GPS)	
Sentido	B° La Salle	B° Ituzaingo	B° La Salle	B° Ituzaingo	B° La Salle	B° Ituzaingo
Frecuencia promedio (servicios/hora)	5,45	5,45	4,04	2,81	3,33	3,00
Intervalo entre servicios (minutos)	11,00	11,00	14,82	21,35	18,01	20,00
Velocidad de operación promedio (km/hora)	14,19	13,15	19,76	17,29	17,79*	

*velocidad de operación promedio de la vuelta completa (ambos sentidos), se eliminaron casos donde los coches se encuentran estáticos durante el período de análisis o con una velocidad menor a 4 km/hora.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados presentados, si bien son parciales, muestran que, mediante algoritmos de análisis de datos, es posible utilizar las bases de corte de boleto electrónico y de rastreo vehicular como insumo para el cálculo de medidas de operación del servicio de transporte urbano. Ambas son bases georreferenciadas y permiten un análisis espacial pudiendo estimar distancias, tiempos y velocidad operacional. Se destacan algunas conclusiones respecto de aptitud de las bases: i) la base de corte de boleto sólo registra coordenadas en aquellos puntos donde hubo ascenso de pasajeros y registro en las validadoras, es decir, en horarios o tramos donde hay poco ascenso de pasajeros pueden producirse distorsiones en las distancias e itinerarios ya que el distanciamiento entre registros puede generar imprecisiones en las distancias recorridas; ii) la base de rastreo vehicular registra todos los movimientos del coche, lo que hace necesario filtrar aquellos tramos que no forman parte del servicio, como los tramos de retorno o trayectos desde punta de línea hasta inicio del recorrido, etc.; iii) aunque no forma parte de los resultados de este trabajo se destaca que ambas bases permiten estimar las velocidades de operación y de ciclo (o comercial) que incluye las paradas en puntas de línea; iv) ambas bases permiten analizar el desempeño (en este caso representado por la velocidad de operación promedio y el intervalo promedio) en diferentes días, horarios, zonas, sentidos de circulación, etc. Para futuros trabajos sería interesante por ejemplo, observar los cambios en los intervalos y velocidades en los barrios alejados, o con menor nivel socioeconómico, etc.

Respecto de los resultados obtenidos para la Línea 10, se destaca que el intervalo entre servicios de las bases de corte de boleto y seguimiento satelital presentan una diferencia mayor al 30% respecto del intervalo programado. En tanto que las velocidades de operación reales de las mismas bases son aproximadamente un 20% mayor a la velocidad que resulta de la programación del servicio. Cabe aclarar que estos resultados no son concluyentes sino apenas una muestra de una línea en un horario específico, no deben ser tomados como una generalidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Anapolsky, Sebastián (2020) *¿Cómo nos movemos en el AMBA? Conclusiones de la evidencia empírica y alternativas post-COVID*. Documentos de Trabajo del Instituto del Transporte Universidad Nacional de San Martín. ISSN: 2469-1631.
- Bergamasco, Carla (2023) *Método para estimar matrices de origen/destino de viajes del transporte público urbano a partir de datos del sistema de boleto electrónico: caso Ciudad de Córdoba* [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- Eom, J. K., Song, J. Y., & Moon, D.-S. (2015). Analysis of public transit service performance using transit smart card data in Seoul. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 19(5), 1530-1537. <https://doi.org/10.1007/s12205-015-0013-0>
- Hijmans, R., Karney, C., Williams, E., Vennes, C. (2022) *geosphere: Spherical Trigonometry*. R package version 1.5-18. <https://cran.r-project.org/package=geosphere>
- Martinazzo, L. (2023). A comparative analysis of public transport accessibility to hospitals in Córdoba (2019–2023): Where are we now? *Data & Policy*, 5, e35. doi:10.1017/dap.2023.32
- Monteiro, A. J. F. (2021). *Elaboração da matriz origem destino do transporte público coletivo por ônibus da cidade de Palmas-TO com a utilização dos dados dos sistemas inteligentes de transporte*. <http://repositorio.uft.edu.br/handle/11612/2911>
- Pereira, R. H. M. (2019). Future accessibility impacts of transport policy scenarios: Equity and sensitivity to travel time thresholds for Bus Rapid Transit expansion in Rio de Janeiro. *Journal of Transport Geography*, 74, 321-332. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.12.005>
- Poletti F, Herszenhut D, Padgham M, Buckley T, Noriega-Goodwin D (2024). *tidytransit: Read, Validate, Analyze, and Map GTFS Feeds*. R package version 1.6.1, <https://github.com/r-transit/tidytransit>.
- Trépanier, M., Morency, C., & Agard, B. (2009). Calculation of Transit Performance Measures Using Smartcard Data. *Journal of Public Transportation*, 12(1). <https://doi.org/10.5038/2375-0901.12.1.5>