



PERUVIAN ECONOMIC ASSOCIATION

Desbloqueando la movilidad urbana: evaluación de impacto de la Línea 1 del Metro sobre el tiempo de viaje y los costos de transporte en Lima Metropolitana y Callao

Edson Huamaní
Tania Paredes

Working Paper No. 212, May 2026

Desbloqueando la Movilidad Urbana: Evaluación de Impacto de la Línea 1 del Metro sobre el Tiempo de Viaje y los Costos de Transporte en Lima Metropolitana y Callao

Edson Huamani*

Tania Paredes**

Mayo 2026

Resumen

Este estudio presenta una evaluación orientada a resultados de la Línea 1 de la Red Básica del Metro de Lima y Callao (RBMLC), con énfasis en el tiempo de viaje y los costos de transporte. La evaluación emplea una metodología de Variables Instrumentales con efectos fijos de alta dimensión (IV-HDFE). Los resultados empíricos muestran que la Línea 1 ha generado beneficios significativos, entre ellos una reducción promedio de 27.8 minutos en el tiempo de viaje, un incremento de 11.8 km/h en la velocidad efectiva de desplazamiento y una disminución de S/. 2.1 en el costo monetario por viaje. Asimismo, los hallazgos sugieren que la operación de la Línea 1 ha permitido reducir las emisiones de GEI en más de 64.4% respecto a un escenario sin proyecto, con efectos particularmente importantes en zonas con mayores niveles de congestión vehicular. No obstante, el análisis también identifica espacios de mejora en la gestión de la intervención. En particular, se documenta un incremento promedio de 2.7 minutos en los tiempos de espera previos al abordaje para los usuarios, efecto que alcanza los 10.9 minutos en contextos de alta congestión. Estos resultados resaltan la importancia de fortalecer la eficiencia operativa para maximizar los beneficios integrales del proyecto.

Palabras clave: Perú, Transporte Urbano, Sistemas de Metro, Evaluación de Infraestructura

Clasificación JEL: R40, R42, O18

*Autor corresponsal. Pontificia Universidad Católica del Perú y Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas; correo electrónico:ehuamani@pucp.pe, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3611-1891>

**Pontificia Universidad Católica del Perú; correo electrónico: tania.paredes@pucp.edu.pe, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0190-9753>

1. Introducción

El sistema de transporte urbano en el Perú enfrenta desafíos estructurales que limitan su funcionalidad, sostenibilidad y capacidad de respuesta frente a una demanda creciente y cada vez más compleja. En este contexto, los problemas observados en Lima Metropolitana y Callao se reflejan no solo en ineficiencias operativas y deterioro en la calidad del servicio, sino también en la presencia de externalidades negativas de alto impacto, tanto sociales como ambientales.

Por un lado, Lima se posiciona como la ciudad con mayor tiempo perdido por congestión vehicular durante horas punta a nivel mundial (TomTom Traffic Index (TTI), 2024). Asimismo, aunque el transporte terrestre constituye la principal fuente de emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al sector energía en el Perú (Ministerio del Ambiente (MINAM), 2019), las concentraciones de material particulado fino (PM2.5) en Lima y Callao aumentaron durante 2024 (ATU (2025a)).

En este contexto, la expansión y consolidación de sistemas de transporte eficientes y ambientalmente sostenibles —como la Línea 1 de la Red Básica del Metro de Lima y Callao (RBMLC)— emerge como un componente central para la transformación de la movilidad urbana hacia un modelo más integrado, resiliente y sostenible.

Los sistemas de metro han sido ampliamente estudiados por su capacidad para generar beneficios multidimensionales en entornos urbanos. La literatura destaca su contribución a la reducción de tiempos de viaje (Oviedo et al., 2019; Kim et al., 2021), la disminución de la congestión vehicular (Hu et al., 2024) y la mejora de la accesibilidad intraurbana, factores que contribuyen al desarrollo económico local (Cheng and Chen (2021); Vällilä (2025)). Asimismo, estos sistemas influyen sobre procesos de transformación urbana mediante la valorización del suelo y fenómenos de gentrificación (Bocarejo et al., 2014; Scholl et al., 2018; Wu et al., 2020; Contreras et al., 2024), al mismo tiempo que contribuyen a mitigar emisiones y otras externalidades asociadas al transporte (Morales (2024)).

Estudios recientes enfatizan además el valor cualitativo de los desplazamientos ferroviarios, señalando que el diseño de los sistemas de metro permite a los usuarios realizar actividades productivas o recreativas durante sus trayectos, mejorando así la experiencia de viaje e influyendo sobre la elección modal (de Sá et al. (2025)). En el caso peruano, la evidencia muestra que sistemas como el Metropolitano y la Línea 1 del Metro de Lima han generado efectos socioeconómicos y ambientales significativos en Lima Metropolitana y Callao (Scholl et al., 2018; Oviedo et al., 2019; Velásquez, 2023; Alba Vivar, 2024; Contreras et al., 2024; Morales, 2024).

La sostenibilidad de estos beneficios en el tiempo requiere marcos robustos de gestión de activos que permitan garantizar un mantenimiento, renovación y

expansión eficientes de la infraestructura (Mohammadi et al., 2019). Asimismo, exige mecanismos de planificación frente a interrupciones del servicio, incluyendo protocolos de respuesta rápida y coordinación con sistemas alternativos de transporte, como buses de reemplazo, a fin de preservar la resiliencia operativa y la confianza de los usuarios (Zhang et al., 2021).

En países en desarrollo, algunos autores cuestionan la viabilidad fiscal de sistemas de metro altamente segregados y plantean alternativas de menor costo, como los sistemas de tren ligero (Allport, 1986). Sin embargo, otros estudios sostienen que la expansión de sistemas de metro continúa siendo una estrategia válida en corredores urbanos de alta densidad, siempre que esté respaldada por una adecuada planificación financiera y por marcos institucionales orientados a priorizar la eficiencia, la sostenibilidad ambiental y la equidad territorial (Gianopoulos, 1981).

El objetivo de esta investigación es evaluar los efectos de la Línea 1 de la Red Básica del Metro de Lima y Callao (RBMLC) sobre distintos resultados económicos y de bienestar asociados a la movilidad urbana. En particular, el estudio analiza el impacto de la intervención sobre: (i) los tiempos de viaje y (ii) los costos individuales de transporte. Dado el potencial problema de selección no aleatoria en el uso del sistema de transporte, la estrategia empírica implementa un enfoque de variables instrumentales orientado a identificar los efectos causales de la infraestructura de transporte masivo sobre dichos resultados. De esta manera, la investigación contribuye a la literatura de economía urbana e infraestructura al proporcionar evidencia empírica rigurosa sobre los retornos socioeconómicos de los sistemas de transporte masivo en ciudades de economías emergentes, así como insumos relevantes para el diseño y expansión de políticas de movilidad urbana sostenible.

La evaluación se basa en información proveniente de las encuestas representativas del Plan de Movilidad Urbana para Lima y Callao (PMU) 2023 (ATU, 2023), el Estudio de Transporte Urbano para el Área Metropolitana de Lima y Callao (JICA, 2012), reportes de sostenibilidad de la Línea 1 (GyM Ferrovías, 2014, 2018, 2020) y documentos elaborados por la ATU (2024, 2025b).

A partir de esta información, se especifica un modelo de variables instrumentales para estimar los efectos de la Línea 1 sobre los tiempos y costos de viaje. Adicionalmente, se utiliza la herramienta especializada de cálculo de emisiones desarrollada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), 2020), junto con factores complementarios de emisiones de gases de efecto invernadero (U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2021), con el fin de evaluar el impacto de la intervención sobre las emisiones de dióxido de carbono (CO_2).

El resto del documento se organiza de la siguiente manera. En primer lugar, se presenta una descripción general de la intervención, detallando sus objetivos,

implementación y principales características. La Sección 3 desarrolla una revisión de la literatura existente sobre sistemas de transporte urbano, con especial atención a estudios realizados en países en desarrollo. La Sección 4 expone la teoría de cambio que sustenta la intervención, identificando los problemas que busca abordar, los mecanismos mediante los cuales opera y los resultados esperados. La Sección 5 presenta estadísticas descriptivas que caracterizan tanto la muestra como el contexto de la intervención. La Sección 6 describe la estrategia metodológica empleada para evaluar los efectos del programa, detallando las técnicas empíricas utilizadas y sus supuestos. La Sección 7 presenta los resultados del análisis, mientras que la Sección 8 concluye y plantea recomendaciones de política orientadas a mejorar la efectividad de futuras intervenciones similares.

2. Línea 1 del Metro de Lima y Callao

La Red Básica del Metro de Lima y Callao (RBMLC) constituye un Sistema Eléctrico de Transporte Masivo orientado a dotar de infraestructura de transporte adecuada a las zonas de alta densidad y áreas periféricas de Lima y Callao, con el objetivo de facilitar una movilidad eficiente tanto en términos de costos como de tiempos de desplazamiento (DS N.º 059-2010-MTC; DS N.º 001-86-MIPRE). Desde su concepción inicial, el sistema de transporte ha atravesado múltiples actualizaciones y, al año 2025, comprende seis líneas de metro que integran distintos distritos de Lima y Callao (Llosa and Panizza, 2015) (DS N.º 059-2010-MTC).

La formulación de la RBMLC se sustenta en un marco de política pública que reconoce la movilidad urbana como un derecho habilitador del desarrollo económico, social y ambiental. A través del Decreto Supremo N.º 001-86-MIPRE, posteriormente elevado a rango de ley mediante la Ley N.º 24565, el Estado peruano declaró de necesidad pública y de preferente interés social la implementación de un Sistema Eléctrico de Transporte Masivo, estableciendo así las bases legales y de política para una transformación estructural del sistema de transporte en Lima Metropolitana y Callao.

En este contexto, la RBMLC es concebida como una intervención orientada principalmente a incrementar la eficiencia, accesibilidad y sostenibilidad del sistema de transporte urbano mediante una red ferroviaria eléctrica de alta capacidad. La intervención busca responder a los desafíos del transporte urbano en cuatro dimensiones (GyM Ferrovías, 2014): (1) la congestión estructural crónica, reflejada en la saturación de los principales corredores metropolitanos y en las pérdidas de productividad asociadas; (2) la fragmentación e informalidad de los servicios tradicionales de transporte, caracterizadas por una oferta atomizada, superposición de rutas y ausencia de planificación operativa; (3) la intensificación de la huella ambiental debido a la dependencia de vehículos motorizados

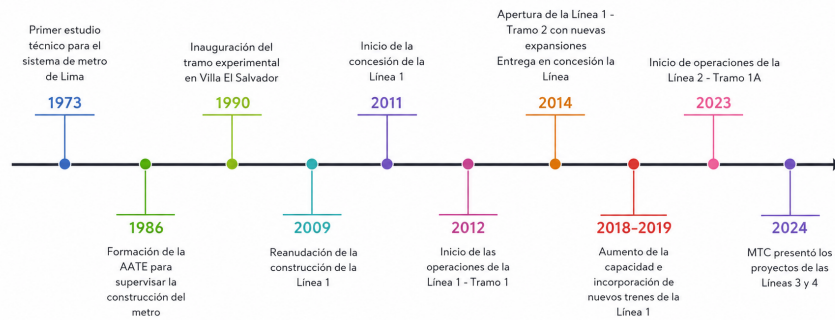
y a las emisiones asociadas de gases de efecto invernadero; y (4) los déficits de conectividad funcional, donde la limitada cobertura y la débil integración intermodal restringen el acceso equitativo a servicios esenciales, mercados laborales y redes de oportunidades urbanas.

En consecuencia, la RBMLC se estructura sobre un marco de resultados de largo plazo que vincula insumos estratégicos con productos, resultados intermedios e impactos finales.

En relación con la implementación inicial de la RBMLC, en 1986 se creó la Autoridad Autónoma del Sistema Eléctrico de Transporte Masivo de Lima y Callao (AATE), responsable de supervisar la construcción de la Línea 1 del Metro de Lima. En 1990 se inauguró un tramo piloto de 1.5 kilómetros y, durante la década siguiente, se desarrollaron las principales obras civiles e instalaciones del sistema, además de incorporarse 32 coches eléctricos adicionales. Sin embargo, pese a estos avances en infraestructura y equipamiento, el proyecto no llegó a operar de manera integral durante dicho periodo (Corporación Andina de Fomento (CAF), 2015).

El proyecto se retomó en 2009, cuando se suscribió el Contrato de Construcción entre la AATE, Proviás Nacional y el Consorcio Tren Eléctrico de Lima (CTEL), conformado por Odebrecht y GyM S.A. Tras la aprobación del financiamiento por parte de CAF, el CTEL reinició las obras de implementación del Tramo 1 en 2010 y del Tramo 2 en 2011 de la Línea 1 de la RBMLC (Comisión Investigadora del Caso Lava Jato, 2018). La inversión total en la implementación de la Línea 1 ascendió a US\$671.7 millones, de acuerdo con el contrato de concesión de 2012 (OSITRAN, 2025).

Figura 1: Línea de tiempo de los principales hitos en la formulación, construcción y operación de la Red Básica del Metro de Lima y Callao



Fuente: Elaboración propia con base en (Corporación Andina de Fomento (CAF) (2015) y la Comisión Investigadora del Caso Lava Jato (2018).

La Línea 1 de la RBMLC inició operaciones en dos etapas: la primera en

2012 (22.1 kilómetros) y la segunda en 2014 (11.9 kilómetros). Posteriormente, la capacidad de transporte fue ampliada mediante el incremento del número de trenes y coches durante los años 2018 y 2019 (GyM Ferrovías, 2024). Desde 2019, la Línea 1 conecta 11 distritos de Lima Metropolitana a lo largo de un corredor de 34 kilómetros operado con 44 trenes y 26 estaciones (GyM Ferrovías, 2018).

La operación y mantenimiento de la Línea 1 se gestionan bajo un modelo de concesión cofinanciada, el cual ha mantenido una tarifa socialmente regulada desde el inicio de operaciones en 2012 (OSITRAN, 2024). La frecuencia del servicio varía entre 3.5 y 6 minutos dependiendo de las condiciones operativas.

Figura 2: Red Básica del Metro de Lima y Callao (RBMLC) – Línea 1



Fuente: Elaboración propia con base en Corporación Andina de Fomento (CAF) (2015) y la Comisión Investigadora del Caso Lava Jato (2018).

Respecto al avance en la implementación de las líneas restantes de la RBMLC, en diciembre de 2014 se adjudicó la concesión para la construcción cofinanciada

de la Línea 2 del Metro de Lima y Callao, proyecto de 27 kilómetros con un ramal adicional de 8 kilómetros, cuyo primer tramo operativo entró en funcionamiento en 2023 ([Ministerio de Transportes y Comunicaciones \(MTC\), 2024](#)). Asimismo, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones ha avanzado en el desarrollo de las Líneas 3 (34.8 kilómetros) y 4 (23.6 kilómetros), ambas con viabilidad técnica obtenida en 2020 y actualmente en proceso de implementación ([Ministerio de Economía y Finanzas \(MEF\), 2025](#)).

Desde una perspectiva operativa y de teoría de cambio, la implementación de la RBMLC se sustenta en un conjunto articulado de insumos y actividades orientados a transformar estructuralmente el sistema de transporte urbano de Lima y Callao. Entre los principales insumos se incluyen recursos financieros, humanos y técnicos destinados a la planificación, construcción y mantenimiento de infraestructura ferroviaria, así como al desarrollo de sistemas de gestión y monitoreo del tráfico urbano. Estas actividades comprenden estudios de preinversión, diseño y planificación de rutas, construcción de infraestructura ferroviaria, implementación de sistemas de gestión de la demanda, capacitación especializada para operadores y conductores, y campañas de comunicación e información orientadas a promover la adopción del sistema por parte de la población. Asimismo, la intervención contempla mecanismos de integración progresiva mediante sistemas tarifarios unificados, interoperabilidad tecnológica y plataformas accesibles de información al usuario.

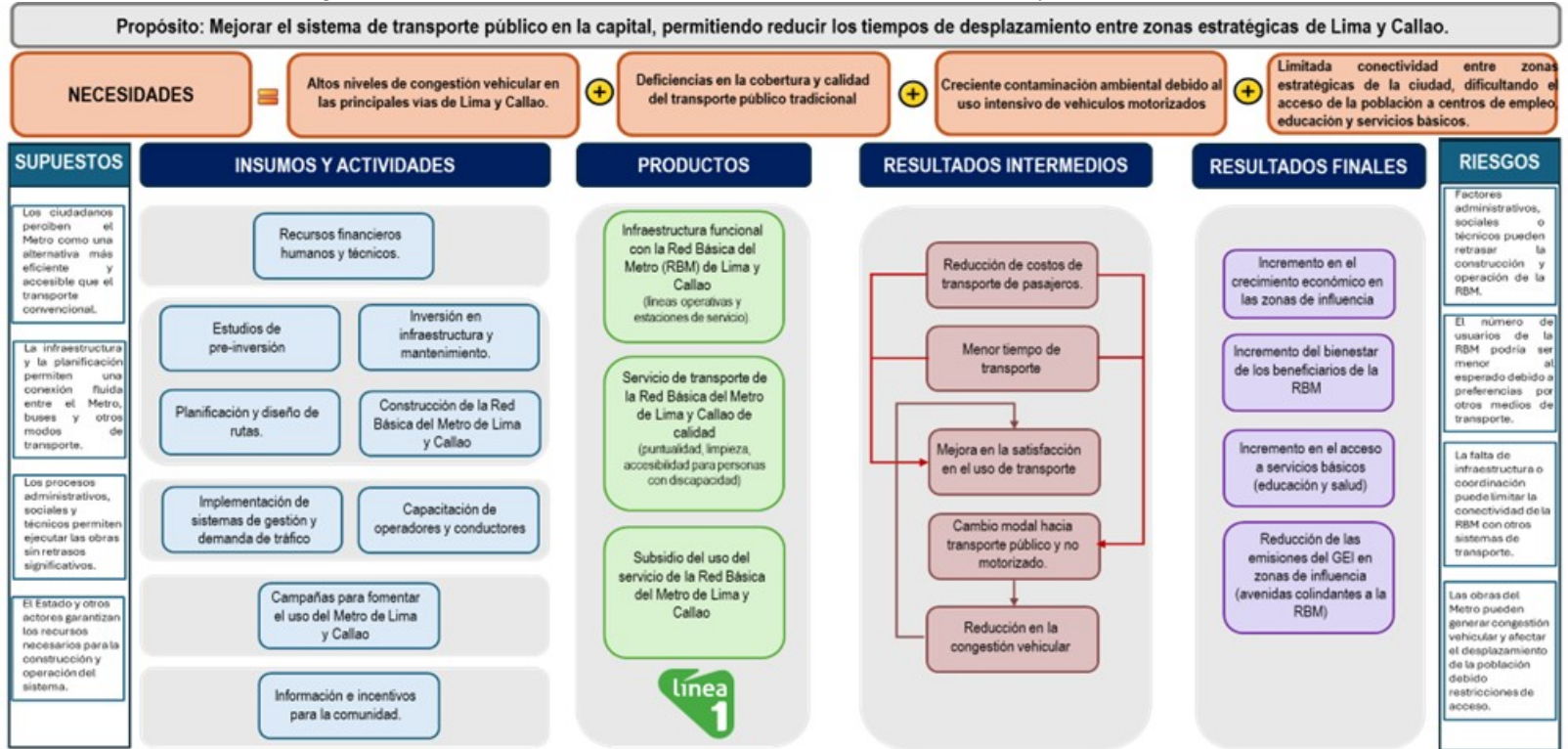
La ejecución de estos insumos y actividades genera como principales productos la provisión de infraestructura funcional de transporte masivo y la prestación de servicios de transporte urbano eléctrico con estándares de puntualidad, frecuencia, accesibilidad y cobertura superiores al sistema tradicional. En particular, la RBMLC busca consolidar una red ferroviaria integrada que permita ampliar la conectividad urbana y reducir las limitaciones estructurales derivadas de la fragmentación e informalidad del transporte convencional.

A partir de estos productos, la intervención busca generar resultados intermedios asociados a mejoras en la eficiencia del transporte urbano. Entre ellos destacan la reducción de tiempos de desplazamiento y costos de transporte para los usuarios, la disminución de la congestión vehicular, el incremento en la satisfacción con el servicio y la promoción de cambios modales hacia sistemas de transporte público y no motorizado. Estos resultados responden directamente a las necesidades identificadas en el diagnóstico de la intervención, particularmente aquellas relacionadas con los altos niveles de congestión, la baja calidad del transporte público tradicional y la limitada conectividad entre zonas estratégicas de Lima y Callao.

Finalmente, se espera que dichos resultados intermedios contribuyan a impactos de mayor alcance sobre el desarrollo urbano y el bienestar social. Entre los principales impactos esperados se encuentran una mayor eficiencia y sostenibilidad del sistema de transporte urbano, incrementos en el bienestar y acceso de

la población a servicios básicos, educación y mercados laborales, dinamización económica en las zonas de influencia del sistema y reducciones en las emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos asociados al transporte motorizado convencional. En conjunto, la RBMLC se concibe como una intervención estratégica orientada no solo a mejorar la movilidad urbana, sino también a fortalecer la integración territorial, la inclusión social y la sostenibilidad ambiental en Lima Metropolitana y Callao.

Figura 3: Teoría de Cambio de la Red Básica del Metro de Lima y Callao



Fuente: Elaboración propia.

3. Revisión de Literatura

La infraestructura de transporte masivo —como los sistemas ferroviarios de alta velocidad (HSR, por sus siglas en inglés), metros y otras redes de transporte urbano— ha sido ampliamente estudiada debido a su capacidad para influir en múltiples dimensiones de la vida urbana. Estos sistemas no solo mejoran la movilidad mediante la reducción de tiempos de viaje y congestión vehicular, sino que también promueven la sostenibilidad ambiental, la integración territorial y social, y la competitividad económica. Más allá de sus funciones operativas, se ha demostrado que incrementan el valor del suelo, amplían el acceso a servicios y oportunidades, y reducen las emisiones contaminantes. A nivel macroeconómico, el [Banco Central de Reserva del Perú \(2024\)](#) estima que las pérdidas económicas asociadas a la congestión vehicular representan aproximadamente el 2.4% del PBI nacional.

Este problema resulta particularmente crítico en Lima Metropolitana y Callao, donde los residentes pierden hasta 155 horas al año en desplazamientos de corta distancia debido a un índice de congestión de 47% ([TomTom Traffic Index \(TTI\), 2024](#)). Este contexto refuerza la urgencia de implementar sistemas eficientes de transporte masivo capaces de mejorar la movilidad urbana y, al mismo tiempo, generar efectos positivos sobre la equidad y la sostenibilidad urbana. En consecuencia, esta sección presenta una revisión sistemática de la literatura sobre sistemas de transporte masivo, organizada en dos dimensiones: (i) sus efectos directos e indirectos sobre el desarrollo urbano, económico, ambiental y social; y (ii) los desafíos asociados a su sostenibilidad financiera y a la distribución equitativa de sus beneficios. La revisión se divide en evidencia internacional y nacional, con énfasis final en el caso de la Línea 1 de la Red Básica del Metro de Lima y Callao.

3.1. Literatura Internacional

La promoción de sistemas de transporte masivo tiene el potencial de transformar significativamente las áreas ubicadas alrededor de las estaciones de transporte. En Singapur, [Diao et al. \(2017\)](#) encontraron que la Circle Line incrementó en 11% el valor de las propiedades cercanas, incluso antes del inicio de sus operaciones, debido a las mejoras en accesibilidad y a la inversión pública asociada. De manera similar, en Medellín, el Metrocable elevó el valor del suelo, aunque también generó procesos de gentrificación que desplazaron a residentes de bajos ingresos ([Bocarejo et al. 2014](#)). Este hallazgo evidencia que los beneficios de los sistemas de transporte masivo pueden venir acompañados de importantes desafíos sociales.

Estudios recientes han sintetizado de manera sistemática los efectos socioeconómicos de este tipo de infraestructura. Por ejemplo, [Cheng and Chen \(2021\)](#), mediante un meta-análisis de estudios sobre trenes de alta velocidad, encontra-

ron evidencia robusta de impactos positivos sobre la reducción de tiempos de viaje, la accesibilidad y el desarrollo económico regional. Asimismo, en Alemania, [Ahlfeldt and Feddersen \(2018\)](#) demostraron que los sistemas HSR contribuyeron al crecimiento del PBI regional, especialmente en estaciones intermedias, al favorecer economías de aglomeración y elevar la productividad laboral.

En China, [Li et al. \(2023a\)](#) y [Wang et al. \(2020\)](#) vincularon la expansión del HSR con mayores niveles de competitividad y especialización sectorial, aunque con efectos heterogéneos entre ciudades grandes y pequeñas. Por su parte, [Yang et al. \(2022\)](#) encontraron que el HSR también contribuye a reducir disparidades regionales. Más allá del crecimiento económico, el transporte masivo fortalece la resiliencia económica urbana al ampliar el acceso a mercados y fomentar procesos de innovación en entornos urbanos densamente conectados ([Li et al. 2023b](#), [Sun and Mansury, 2016](#)).

Otro impacto relevante del transporte masivo se relaciona con la dinámica empresarial. En España, [Matas et al. \(2020\)](#) encontraron que la proximidad a estaciones HSR estimuló la creación de nuevas empresas, particularmente en sectores intensivos en conocimiento y servicios. Sin embargo, estos efectos no fueron homogéneos: las ciudades más grandes lograron aprovechar mejor las oportunidades generadas por esta infraestructura, mientras que las ciudades pequeñas enfrentaron mayores dificultades para capitalizar sus beneficios.

A nivel metropolitano, los efectos también son significativos. En Bogotá (Colombia), [Tsivanidis \(2026\)](#) documentó incrementos en la actividad económica en los vecindarios cercanos a estaciones del sistema TransMilenio. El sistema no solo mejoró los tiempos de desplazamiento, sino que también promovió el crecimiento de zonas previamente desatendidas, generando mejoras más inclusivas en el bienestar urbano. De manera similar, [Acton et al. \(2022\)](#) analizó los efectos de los sistemas BRT sobre el valor de las propiedades y encontró que el diseño de la infraestructura —por ejemplo, carriles exclusivos versus tráfico mixto— influye significativamente en los impactos económicos observados.

El acceso a sistemas de transporte eficientes también afecta la participación en el mercado laboral. [Kim et al. \(2021\)](#) evaluaron el impacto de sistemas de tren ligero (LRT) en 260 estaciones ubicadas en 12 áreas metropolitanas de Estados Unidos y encontraron que el acceso a LRT incrementó la participación laboral hasta en 43 % respecto a zonas sin acceso. Este efecto se reflejó en un mayor número de semanas trabajadas y una mayor proporción de empleo a tiempo completo, mientras que los costos de alquiler en las zonas con acceso al sistema no aumentaron significativamente. De forma similar, [Dong \(2017\)](#) encontró mejoras en la participación laboral asociadas a sistemas ferroviarios urbanos, aunque con cambios más modestos en los ingresos.

Desde una perspectiva ambiental, el transporte representa aproximadamente el 25 % de las emisiones globales de CO₂ ([Van den Berg and De Langen, 2017](#)),

principalmente debido a la combustión de combustibles fósiles. El transporte urbano constituye una de las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero (Lu et al. 2023). Frente a ello, los sistemas ferroviarios eléctricos emergen como una alternativa más limpia, dado que emiten significativamente menos CO₂ por pasajero-kilómetro en comparación con vehículos privados y sistemas de transporte público basados en combustibles fósiles (Reck et al. 2022).

Consistentemente, Hu et al. (2024), en su análisis de la red de metro de Shenzhen, encontraron que la expansión del sistema no solo incrementó la proporción de residentes que utilizan el metro, sino que también redujo el uso del automóvil, contribuyendo así a disminuir las emisiones urbanas de carbono. Esta evidencia resalta el papel crítico de la infraestructura de transporte público electrificado en la mitigación del cambio climático y en la promoción de entornos urbanos más sostenibles.

Evidencia reciente refuerza estos hallazgos con perspectivas específicas de países de ingreso medio-bajo. Abhijna et al. (2025), mediante un diseño antes-después aplicado a la Región Metropolitana de Mumbai (India), documentaron que el 81 % de los usuarios del metro redujeron su tiempo de viaje en un promedio de 26 minutos diarios, destinando el tiempo recuperado principalmente a actividades familiares. El estudio también reporta mejoras significativas en las percepciones de comodidad, confiabilidad y seguridad del servicio, así como reducciones sustanciales en emisiones de CO, HC y NO_x. Los autores proyectan que, con un mayor dinamismo en la demanda y una transición hacia energías no fósiles, el sistema podría alcanzar una reducción del 63 % en emisiones de CO₂ hacia 2030, subrayando el potencial transformador del metro en contextos urbanos con restricciones similares a las de Lima.

En la misma línea, Ayaragarnchanakul et al. (2025) analiza la expansión del metro de Bangkok mediante datos GPS de taxis y un marco de diferencias en diferencias, encontrando que la apertura de 19 nuevas estaciones redujo los viajes en taxi en aproximadamente 32.2 % en las zonas de influencia del sistema, con efectos que se amplían con el tiempo y se mantienen robustos en radios de captación de hasta 800 metros. El beneficio climático anual estimado oscila entre 0.17 y 0.34 MtCO₂-eq, equivalente a entre 0.21 % y 0.42 % de las emisiones del sector transporte de Tailandia; y el valor acumulado de los ahorros en CO₂ a lo largo de varias décadas se estima en alrededor de 1,000 millones de dólares. Este estudio constituye una referencia metodológica relevante para evaluar los efectos del metro sobre la sustitución modal y los costos de transporte en ciudades en desarrollo, dimensiones centrales del presente trabajo.

3.2. Literatura Nacional

En el contexto peruano, los estudios recientes sobre sistemas de transporte masivo implementados en Lima Metropolitana y Callao —principalmente el Me-

tropolitano (BRT) y la Línea 1 de la RBMLC— destacan impactos relevantes sobre el desarrollo urbano, económico y ambiental de la ciudad.

Entre los aportes más importantes, [Scholl et al. \(2018\)](#) evaluaron el impacto del Metropolitano sobre el empleo y la formalidad laboral. Sus resultados muestran que las zonas ubicadas cerca del corredor troncal experimentaron incrementos significativos en tasas de empleo, horas trabajadas e ingresos laborales, sugiriendo mejoras en la calidad del empleo. No obstante, las áreas atendidas únicamente por rutas alimentadoras —sin acceso directo al corredor troncal— experimentaron beneficios mucho más limitados. Este hallazgo revela una distribución desigual de los efectos positivos del sistema y resalta la necesidad de políticas orientadas a reducir las brechas entre zonas centrales y periféricas.

Complementariamente, [Oviedo et al. \(2019\)](#) analizaron cómo la reducción en tiempos de viaje asociada al sistema BRT mejoró el acceso a centros de empleo para residentes de zonas periféricas. Aunque la accesibilidad mejoró de manera general, las comunidades de menores ingresos ubicadas fuera del corredor troncal continuaron enfrentando importantes restricciones. Este patrón refuerza la idea de que la equidad territorial en los beneficios del transporte masivo depende fuertemente de la ubicación de las estaciones y de la cobertura de la red.

Esta preocupación por la asequibilidad del transporte ha sido sistematizada recientemente en un análisis comprehensivo para América Latina y el Caribe. [Oviedo et al. \(2025\)](#) examinan la evolución teórica y empírica del concepto de asequibilidad del transporte en la región, señalando que el gasto desproporcionado en movilidad constituye una fuente significativa de estrés económico y vulnerabilidad para los hogares de bajos ingresos, con implicancias directas sobre la exclusión social y el acceso a oportunidades. Los autores subrayan que las conceptualizaciones puramente monetarias de la asequibilidad resultan insuficientes para capturar la dimensión sociomaterial de la (in)movilidad, la cual depende también de las características de los viajes, las prácticas presupuestarias del hogar y las tecnologías de pago disponibles. Esta perspectiva es especialmente pertinente para el caso de Lima, donde las restricciones de costo del transporte se superponen a patrones de segregación espacial que limitan el acceso de los hogares más vulnerables a los beneficios de la Línea 1.

En relación con infraestructura de transporte y género, [Velásquez \(2023\)](#) examina cómo las mejoras en infraestructura de transporte, como el Metro y el BRT, afectan la participación laboral de mujeres y hombres. El estudio encuentra que la reducción de tiempos de desplazamiento disminuye la brecha salarial de género dentro de hogares con doble ingreso al facilitar el acceso laboral de las mujeres. Asimismo, identifica interdependencia en las decisiones de movilidad del hogar, donde las decisiones de transporte de un cónyuge influyen sobre las decisiones laborales del otro. Sin embargo, estos efectos de infraestructura son altamente localizados y varían significativamente entre municipios, sugiriendo que la accesibilidad y los beneficios del sistema dependen de la ubicación geo-

gráfica y de la estructura del hogar, particularmente respecto a la equidad de género en el mercado laboral.

Otra dimensión abordada en la literatura es la relación entre infraestructura de transporte e informalidad habitacional. [Contreras et al. \(2024\)](#) analizaron el impacto de la Línea 1 del Metro de Lima sobre la reducción de la informalidad en vivienda, encontrando que la apertura del primer tramo en 2011 generó una disminución significativa de la informalidad habitacional en áreas cercanas a las estaciones. Sin embargo, estos efectos fueron de corta duración, sin cambios significativos en períodos posteriores. Los mecanismos identificados —incluyendo mejoras en calidad de vivienda y migración— sugieren que la infraestructura de transporte afecta procesos más amplios de transformación urbana, aunque no se detectaron patrones claros de migración hacia zonas adyacentes al metro.

En el ámbito educativo, [Alba Vivar \(2024\)](#) analizó el impacto de la infraestructura de transporte sobre la matrícula universitaria, la elección de instituciones y los resultados tempranos en el mercado laboral. El estudio muestra que la reducción de tiempos de viaje incrementó la matrícula universitaria, especialmente en instituciones privadas. Asimismo, se identificaron diferencias de género: las mujeres tendieron a matricularse en instituciones privadas de menor calidad, mientras que los hombres optaron con mayor frecuencia por universidades públicas. Además, el acceso a infraestructura de transporte estuvo asociado con mayores tasas de graduación y mejores resultados laborales, particularmente entre estudiantes residentes cerca de las estaciones.

Respecto a los impactos ambientales, la Línea 1 del Metro de Lima constituye un ejemplo de cómo el transporte ferroviario eléctrico puede generar efectos positivos sobre el medio ambiente. A través de su sistema de propulsión eléctrica, el Metro de Lima emite únicamente 14 gramos de CO₂ por pasajero-kilómetro, considerablemente por debajo de los 68 gramos emitidos por el transporte público convencional y los 104 gramos emitidos por automóviles privados. Esta reducción no solo mejora la calidad del aire en una ciudad con elevados niveles de contaminación, sino que también contribuye a mitigar el cambio climático mediante la reducción en el consumo de combustibles fósiles. [Morales \(2024\)](#) cuantificó los beneficios ambientales de esta iniciativa, destacando reducciones en emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos como PM_{2.5}, NO_x y SO₂, confirmando así los efectos ambientales positivos asociados al inicio de operaciones de la Línea 1 del Metro de Lima.

En conjunto, tanto la literatura internacional como la nacional demuestran que los sistemas de transporte masivo pueden generar impactos positivos en múltiples dimensiones, incluyendo empleo, educación, formalización habitacional, equidad de género y sostenibilidad ambiental. Sin embargo, estos beneficios no se distribuyen de manera uniforme: su magnitud y alcance dependen de factores estructurales como la ubicación geográfica, el diseño de la infraestructura y las características socioeconómicas de la población beneficiaria. Estas hetero-

geneidades evidencian la necesidad de marcos de política pública que prioricen no solo la expansión de infraestructura, sino también la accesibilidad y la pertinencia territorial bajo criterios de equidad.

Asimismo, diversos estudios advierten que sostener estos beneficios en el tiempo requiere marcos integrales de gestión de activos que incorporen adecuadamente la demanda futura, el desempeño técnico y la planificación financiera (Mohammadi et al., 2019). En este sentido, la literatura destaca la importancia de incorporar estrategias robustas de gestión de interrupciones del servicio—incluyendo protocolos internos de contingencia y coordinación con sistemas alternativos como buses de reemplazo— para preservar la resiliencia operativa y la confianza de los usuarios (Zhang et al., 2021). Estas dimensiones permanecen poco desarrolladas en estudios nacionales y, en términos más amplios, para contextos de países en desarrollo, pese a constituir elementos clave para avanzar hacia modelos de transporte urbano sostenibles, equitativos y adaptados a las realidades locales.

4. Datos y Variables

4.1. Fuentes de Información

El análisis empírico de este estudio se basa principalmente en los microdatos de la Encuesta del Plan de Movilidad Urbana para Lima y Callao (PMU) 2023, elaborada por la Autoridad de Transporte Urbano (ATU). Esta encuesta proporciona información detallada y representativa sobre los patrones de desplazamiento diario, integrando módulos a nivel de viaje, persona y hogar.

Para fines de la investigación, se estructuró una base de datos relacional combinando los registros de viajes individuales con las características demográficas de los pasajeros y los atributos socioeconómicos y de tenencia vehicular de sus respectivos hogares. Adicionalmente, se utilizó una base de datos geoespacial con las coordenadas exactas de las 26 estaciones de la Línea 1 de la Red Básica del Metro de Lima y Callao (RBMLC), la cual se cruzó espacialmente con las coordenadas de origen y destino de cada viaje reportado en el PMU utilizando algoritmos de distancia geodésica.

4.2. Construcción de la Muestra Analítica

Con el objetivo de garantizar la validez del contrafactual y evitar sesgos de selección por viajes incomparables, la muestra se restringió exclusivamente a aquellos trayectos definidos como potencialmente sustitutos a la Línea 1. A partir de la base original, se aplicaron los siguientes filtros metodológicos:

- **Exclusión de modos no comparables:** Se descartaron los viajes realizados íntegramente de forma no motorizada (caminando o en bicicleta) o

mediante el uso exclusivo de transporte privado (auto particular, motocicleta), así como modalidades atípicas (camiones, scooters).

- **Restricciones operativas del viaje:** Se eliminaron los viajes con distancias extremadamente cortas (menores a 1 km) o tiempos a bordo menores a 10 minutos, dado que estructuralmente no justifican el pago y tiempo de acceso de un sistema de metro.
- **Filtros de transbordo y temporalidad:** Se conservaron únicamente los viajes que reportaron entre 1 y 4 transbordos, con un costo monetario estrictamente mayor a S/ 0, y que iniciaron dentro del horario operativo regular de la ciudad (entre las 05:00 y las 22:59 horas).

Tras aplicar estas restricciones, la submuestra analítica final consta de viajes urbanos representativos, ponderados mediante los factores de expansión analíticos provistos por el PMU para asegurar la inferencia poblacional (Anexo 1).

5. Estrategia Empírica

5.1. El Problema de Endogeneidad en la Elección Modal

El objetivo de esta evaluación es estimar el efecto causal del uso de la Línea 1 de la Red Básica del Metro de Lima y Callao (RBMLC) sobre distintas características del viaje, como el tiempo a bordo, el costo monetario, la velocidad y el tiempo de espera. Sin embargo, la estimación de este efecto mediante Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) enfrenta un problema de endogeneidad asociado a la autoselección de los usuarios. La decisión de utilizar el metro no es aleatoria, sino que depende de características observables e inobservables de los individuos que también influyen en los resultados del viaje, como las preferencias por rapidez, comodidad o menor exposición al tráfico (Wooldridge, 2010).

La literatura en economía del transporte ha documentado ampliamente este problema. Guerrero et al. (2021), utilizando un enfoque de función de control aplicado a modelos de elección modal urbana en Valparaíso (Chile), encuentran que ignorar la endogeneidad en la elección del modo de transporte genera una sobreestimación de entre 26 % y 49 % en el valor subjetivo del tiempo de viaje, así como una subestimación de entre 33 % y 75 % en las elasticidades modales. Estos resultados muestran que no corregir el sesgo de selección puede conducir a estimaciones inconsistentes sobre los beneficios sociales asociados a la infraestructura de transporte.

En el caso de Lima Metropolitana, este problema resulta especialmente relevante debido a la heterogeneidad socioeconómica de los usuarios y a la distribución espacial de las estaciones de la Línea 1. Además, existe un posible mecanismo adicional de endogeneidad relacionado con la autoselección residencial: algunos hogares pueden haber elegido su ubicación residencial considerando

el acceso al sistema de metro. [Tan et al. \(2025\)](#), mediante modelos de diferencias en diferencias aplicados a expansiones del metro en China, muestran que la relación entre cercanía a estaciones y uso del transporte público puede reflejar preferencias preexistentes de los hogares y no únicamente el efecto causal de la infraestructura.

En este contexto, la literatura reciente sobre evaluación de infraestructura de transporte ha enfatizado el uso de estrategias de identificación causal. Graham (2025) revisa distintos métodos empleados en economía del transporte —como variables instrumentales, diferencias en diferencias y regresión discontinua— y concluye que, cuando el tratamiento es endógeno, el uso de variables instrumentales constituye una estrategia adecuada para recuperar estimaciones causales consistentes.

Siguiendo esta literatura, el presente estudio adopta un enfoque de variables instrumentales con efectos fijos de alta dimensión (IV-HDFE), el cual busca aislar la variación exógena en el uso de la Línea 1 respecto a factores no observables que afectan simultáneamente la decisión de utilizar el metro y los resultados del viaje. De no corregirse este problema, el término de error del modelo estaría correlacionado con la variable de tratamiento, generando estimadores sesgados e inconsistentes.

5.2. Estrategia de Identificación: Variables Instrumentales Espaciales

Para aislar la variación exógena en la elección modal, este estudio implementa una estrategia de Variables Instrumentales (IV). Se explota la variación cuasiexperimental generada por la configuración espacial de la infraestructura del metro respecto a los puntos de origen y destino de los viajes de los usuarios en la ciudad.

Específicamente, se construye el instrumento dicotómico Z_{iodt} , el cual toma el valor de 1 si la suma de la distancia euclidiana desde el punto de origen del viaje hasta la estación más cercana, y desde la estación de desembarque hasta el destino final, es menor o igual a 1 km; y 0 en caso contrario.

La validez empírica de este instrumento descansa en el cumplimiento de dos supuestos fundamentales:

- **Relevancia (Primera Etapa):** La proximidad geográfica (estar a ≤ 1 km de caminata acumulada) reduce significativamente los costos de fricción y de última milla, aumentando monótonamente la probabilidad de que el usuario elija la Línea 1 frente a modos sustitutos. Pruebas de robustez mediante el estadístico F de Kleibergen-Paap Wald confirman la fuerza del instrumento, descartando problemas de instrumentos débiles en la muestra general.

- **Restricción de Exclusión:** La condición espacial de proximidad a la estación afecta el tiempo a bordo, el costo y la velocidad del viaje única y exclusivamente a través de su impacto en la probabilidad de subirse al tren.

5.3. Especificación del Modelo IV-HDFE

Para mitigar posibles violaciones a la restricción de exclusión derivadas del *residential sorting* (la tendencia de hogares con características particulares a ubicarse cerca de las estaciones) y aislar choques espaciales y temporales, el modelo IV se enriquece mediante la inclusión de Efectos Fijos de Alta Dimensión (HDFE).

El sistema de ecuaciones simultáneas se define de la siguiente manera. La ecuación de la primera etapa (selección modal) es:

$$Metro_{iodt} = \pi_0 + \pi_1 Z_{iodt} + X_i' \gamma_1 + \alpha_o + \alpha_d + \tau_t + \nu_{iodt} \quad (1)$$

La ecuación estructural de la segunda etapa (resultados del viaje) es:

$$Y_{iodt} = \beta_0 + \beta_{LATE} \widehat{Metro}_{iodt} + X_i' \gamma_2 + \alpha_o + \alpha_d + \tau_t + \epsilon_{iodt} \quad (2)$$

Donde:

- Y_{iodt} representa la variable de resultado de interés (tiempo a bordo, costo total, velocidad o tiempo de espera) para el individuo i , viajando desde el distrito de origen o hacia el distrito de destino d , con hora de partida t .
- $Metro_{iodt}$ es la variable endógena dicotómica que toma el valor de 1 si el individuo utilizó la Línea 1 de la RBMLC en alguna etapa de su viaje.
- \widehat{Metro}_{iodt} es la probabilidad predicha de usar el tren obtenida de la primera etapa.
- Z_{iodt} es el instrumento de proximidad espacial (≤ 1 km).
- X_i es un vector de covariables de control a nivel de individuo y viaje que incluye: distancia total del trayecto, edad, edad al cuadrado, sexo, nivel socioeconómico (NSE), condición de estudiante y el número de transbordos realizados en transporte público.
- α_o y α_d son efectos fijos por distrito de origen y destino, respectivamente, los cuales absorben la heterogeneidad espacial inobservable, como la dotación de infraestructura vial o la topografía local.
- τ_t captura los efectos fijos por hora de salida, controlando por la variación estructural de la congestión y la demanda de movilidad urbana a lo largo del día.
- ϵ_{iodt} y ν_{iodt} son los términos de error estocástico.

Dada la naturaleza de los datos del Plan de Movilidad Urbana (PMU 2023), las decisiones de transporte de individuos que habitan en una misma vivienda pueden estar correlacionadas. Por lo tanto, los errores estándar estocásticos ($\epsilon_{i\text{odt}}$) se agrupan (clusterizan) a nivel de hogar para garantizar una inferencia estadística válida. La estimación se realiza utilizando una submuestra restringida a viajes que utilizan modos de transporte potencialmente sustitutos a la Línea 1, excluyendo viajes puramente no motorizados o en vehículos particulares exclusivos.

5.4. Interpretación Causal (LATE) y Efectos de Equilibrio General

El parámetro de interés estimado, β_{LATE} , no representa el Efecto Promedio del Tratamiento (ATE) poblacional, sino el Efecto Local Promedio del Tratamiento (LATE, por sus siglas en inglés). Esto implica que los resultados de la evaluación cuantifican el retorno social (ahorro en tiempo y costo) de la Línea 1 estrictamente para el grupo de *compliers*: aquellos usuarios que decidieron utilizar el metro inducidos por su proximidad espacial (≤ 1 km), y que habrían optado por una modalidad alternativa en ausencia de dicha cercanía.

Adicionalmente, debido al uso de un diseño de corte transversal pos-intervención, es fundamental reconocer que el modelo opera bajo dinámicas de equilibrio general. La entrada en operación de la Línea 1 generó un *shock* de oferta masivo que reorganizó endógenamente el mercado de transporte público tradicional en los ejes de influencia (modificación de frecuencias, rutas y tarifas en combis, coasters y corredores). Por lo tanto, el contrafactual implícito en esta estimación captura el beneficio relativo de la Línea 1 frente a las alternativas sustitutas en su estado de equilibrio actual, absorbiendo los *spillovers* que el propio metro generó sobre el resto del ecosistema de movilidad urbana.

5.5. Análisis de Heterogeneidad y Sensibilidad Espacial

Para capturar la heterogeneidad de los efectos, la estimación principal se desagrega según la hora de inicio del viaje (horas punta mañana/tarde, valles y horario nocturno) y el estrato socioeconómico (NSE Alto, Medio y Bajo).

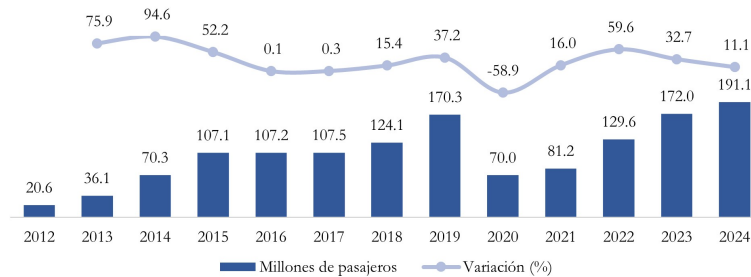
Como parte del análisis de sensibilidad, y reconociendo que los costos de la “última milla” varían por nivel de ingresos, se flexibiliza el umbral espacial del instrumento. Específicamente, para el estrato de ingresos medios (NSE Medio), se introduce una validación utilizando un radio expandido acumulado de 2 km. Esta modificación metodológica responde al comportamiento observado donde este grupo combina la Línea 1 con modos de aproximación de corta distancia y bajo costo, ampliando el área de influencia funcional del sistema masivo y maximizando la fuerza predictiva del instrumento en dicha submuestra.

6. Estadísticas Descriptivas

La Línea 1 de la Red Básica del Metro de Lima y Callao (RBMLC) ha experimentado un crecimiento sostenido en el número de pasajeros movilizados desde el inicio de sus operaciones en 2012. Entre 2012 y 2019, el número de usuarios se incrementó de 20.6 millones a 170.3 millones de pasajeros, respectivamente. Este crecimiento estuvo asociado a las ampliaciones en infraestructura y equipamiento orientadas a fortalecer la capacidad de transporte y mejorar la calidad del servicio, tales como la apertura del segundo tramo en 2014, la expansión de la flota de trenes y la incorporación de nuevas unidades y vagones en 2018 y 2019.

En este contexto, luego de la significativa reducción en el número de pasajeros observada durante la crisis sanitaria y económica de 2020 y 2021, el flujo de usuarios de la Línea 1 superó los niveles previos a la pandemia hacia el cierre de 2023 (172 millones de pasajeros) y 2024 (191 millones de pasajeros).

Figura 4: Evolución del tráfico de pasajeros, 2012–2024



Nota: Millones de pasajeros y porcentajes.

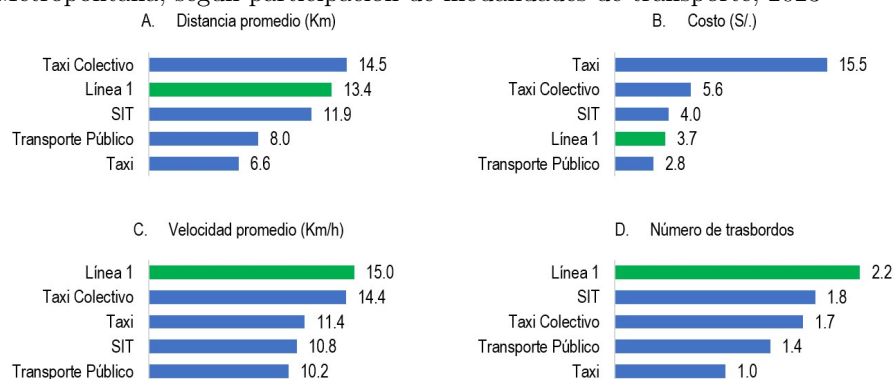
Fuente: Autoridad de Transporte Urbano para Lima y Callao (ATU, 2024).

Elaboración propia.

De acuerdo con la Encuesta de Movilidad Urbana del PMU, la Línea 1 de la RBMLC se consolida como una modalidad de transporte público relativamente eficiente, caracterizada por una mayor velocidad promedio y un costo de viaje accesible respecto a otras alternativas de transporte urbano. En 2023, los viajes que incluyeron la Línea 1 alcanzaron una velocidad promedio de 15.0 km/h, superior a la registrada en modalidades como el taxi colectivo (14.4 km/h), el taxi (11.4 km/h) y el Sistema Integrado de Transporte (10.8 km/h), conformado por el Metropolitano y los corredores viales.

Asimismo, aunque los viajes realizados mediante la Línea 1 implicaron una mayor distancia promedio recorrida (13.4 km) y un mayor número de transbordos (2.2 en promedio), el costo total del viaje (S/ 3.7) resultó considerablemente menor en comparación con modalidades de velocidad similar, como el taxi (S/ 15.5) y el taxi colectivo (S/ 5.6).

Figura 5: Costo, distancia, velocidad y número de transbordos de viajes en Lima Metropolitana, según participación de modalidades de transporte, 2023



Nota: El Sistema Integrado de Transporte (SIT) incluye a los corredores viales y el Metropolitano. La velocidad considera la distancia entre el punto de origen y destino final del viaje, así como el tiempo a bordo del medio de transporte, excluyendo el tiempo de espera y caminata.

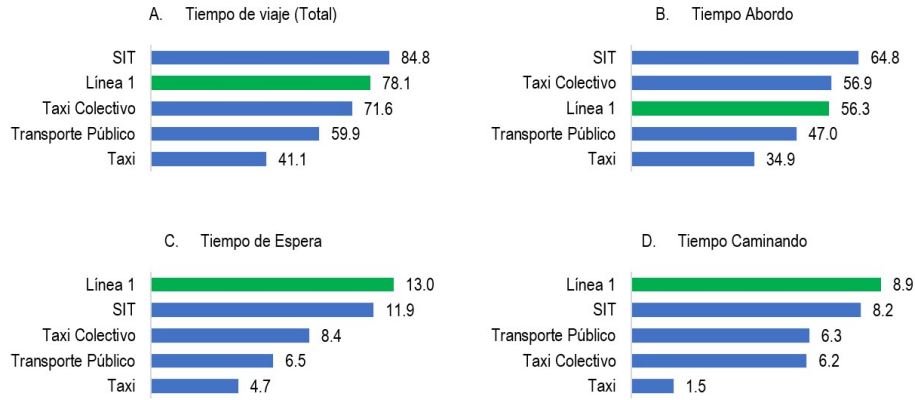
Fuente: Encuesta de Movilidad Urbana del PMU – ATU (2023).

Elaboración propia.

Por otro lado, la Encuesta de Movilidad Urbana del PMU evidencia que, en 2023, los usuarios de la Línea 1 registraron mayores tiempos promedio de espera (13.0 minutos) y caminata (8.9 minutos) en comparación con quienes utilizaron otras modalidades de transporte. En particular, el 28.0% del tiempo total de viaje en la Línea 1 correspondió a tiempos de espera o caminata, proporción superior a la observada en el Sistema Integrado de Transporte (23.7%), el taxi colectivo (20.4%) y el transporte público convencional (21.4%).

Estos resultados sugieren que, pese a constituir una alternativa de transporte relativamente eficiente y de menor costo, la Línea 1 enfrenta desafíos asociados a los tiempos complementarios al viaje, particularmente en las etapas de acceso y espera. Ello podría reflejar limitaciones vinculadas a la gestión de la demanda y al elevado volumen de pasajeros que atiende el sistema.

Figura 6: Tiempo de viajes en Lima Metropolitana, según participación de modalidades de transporte, 2023



Nota: Valores expresados en minutos. El Sistema Integrado de Transporte (SIT) incluye a los corredores viales y el Metropolitano.

Fuente: ATU (2023).

Elaboración propia.

7. Resultados Empíricos

7.1. Primera Etapa y Validación del Instrumento Espacial

Antes de analizar los retornos sociales de la Línea 1, es imperativo validar empíricamente la solidez de la estrategia de identificación. La Tabla X (ver Apéndice) reporta las estimaciones de la primera etapa del modelo IV-HDFE, donde se evalúa la capacidad de la proximidad espacial acumulada ($rank1k_dtotal$) para predecir el uso del tren.

Los resultados confirman que vivir y dirigirse a un destino situado a 1 km o menos de las estaciones de la Línea 1 incrementa de manera positiva y altamente significativa la probabilidad de utilizar el metro frente a otras alternativas de transporte público. Para la especificación base que agrupa toda la muestra poblacional, el estadístico F de Kleibergen-Paap Wald rk alcanza un valor de 31.12. Al superar holgadamente la regla empírica clásica de 10 establecida por Stock y Yogo (2005) y los umbrales más estrictos de inferencia reciente (Lee et al., 2022), se descarta formalmente la presencia de un problema de instrumentos débiles.

Adicionalmente, la robustez de la inferencia se confirma mediante el test de Wald de Anderson-Rubin, el cual rechaza de manera robusta la hipótesis nula, garantizando la validez y significancia de los coeficientes de la segunda etapa independientemente de la fuerza del instrumento. Respecto a la validez de los instrumentos, dado que la especificación empírica emplea un único instrumento excluido ($rank1k_dtotal$) para instrumentar una única variable endógena

(*modalidad_tren*), el modelo se encuentra exactamente identificado. Por consiguiente, el estadístico J de Hansen asume un valor igual a 0.000, lo cual es matemáticamente esperado en escenarios de identificación exacta y confirma que el instrumento proporciona una fuente de variación única y suficiente para el sistema de ecuaciones.

Este conjunto de resultados valida que el diseño cuasiexperimental espacial proporciona suficiente variación exógena para estimar el Efecto Local Promedio del Tratamiento (LATE) en la segunda etapa con errores estándar consistentes.

7.2. Efectos Agregados sobre la Eficiencia del Viaje (LATE)

La Tabla Y presenta las estimaciones de la segunda etapa del modelo IV-HDFE sobre las cuatro variables de resultado agregadas: tiempo a bordo, costo monetario, velocidad y tiempo de espera. Habiendo superado satisfactoriamente todas las pruebas de identificación y robustez instrumental (Kleibergen-Paap, Anderson-Rubin y Hansen J), estos resultados gozan de validez causal. Las estimaciones revelan que la operación de la Línea 1 de la RBMLC confiere beneficios estructurales sustanciales a los usuarios *compliers*, aunque introduce un *trade-off* logístico característico de los sistemas masivos subterráneos o segregados de alta demanda.

En primer lugar, los resultados evidencian un ahorro de tiempo masivo y estadísticamente significativo al 1%. Los usuarios que eligen la Línea 1 inducidos por su cercanía experimentan una reducción promedio de 27.88 minutos en el tiempo neto a bordo del vehículo respecto al contrafactual de transporte sustituto. De manera correlacionada, la velocidad efectiva de transporte se incrementa en 11.81 km/h, evidenciando la ventaja operativa irrefutable de un derecho de vía exclusivo frente a las redes viales mixtas expuestas a congestión crónica.

En la dimensión económica, la tarifa plana fuertemente subsidiada (S/ 1.50) se traduce en un alivio financiero tangible. Controlando por la endogeneidad espacial y temporal, el uso de la Línea 1 genera un ahorro promedio de S/ 1.23 por viaje ($p < 0,01$).

No obstante, estos retornos positivos en tiempo y dinero vienen acompañados de un costo no pecuniario en forma de fricciones de acceso. El modelo estima un incremento significativo de 2.71 minutos ($p < 0,10$) en los tiempos de espera previos al abordaje. Este coeficiente, aunque marginalmente significativo en la muestra agregada, captura las deseconomías de escala en estaciones con alta saturación (control de accesos, recarga de tarjetas, tiempos de caminata en andenes e intervalos fijos de frecuencias), configurando un *trade-off* claro: los usuarios toleran una penalización en el tiempo de espera y acceso a cambio de trayectos a bordo significativamente más rápidos, económicos y predecibles.

Cuadro 1: Efectos agregados del uso de la Línea 1 en la eficiencia de los viajes

Variables	(1) Tiempo a Bordo (min)	(2) Costo del Viaje (S/)	(3) Velocidad (km/h)	(4) Tiempo de Espera (min)
Uso de Línea 1	-27.80*** (4.59)	-0.48 (0.45)	11.83*** (3.30)	2.71* (1.45)
Estadísticos de Diagnóstico				
Observaciones (N)	12,684	12,684	12,684	12,684
F-stat K-P Wald rk	29.77	29.77	29.77	29.77
Test Wald Anderson-Rubin (valor p)	0.000	0.237	0.013	0.046
Estadístico J de Hansen (valor p)	ID Exacta	ID Exacta	ID Exacta	ID Exacta
EF: Origen, Destino, Hora	Sí	Sí	Sí	Sí

Nota: Errores estándar clusterizados a nivel de hogar en paréntesis. *** $p < 0,01$, ** $p < 0,05$, * $p < 0,1$. ID Exacta indica que el modelo está exactamente identificado ($L = K$), por lo que el test de sobreidentificación de Hansen no aplica. Instrumento excluido: proximidad acumulada ≤ 1 km.

7.3. Dinámicas Horarias y Efectos de Equilibrio General en la Congestión

El efecto promedio agregado, si bien positivo, oculta una importante heterogeneidad intradiaria. El ecosistema de transporte urbano en Lima y Callao se caracteriza por fluctuaciones severas en la congestión vial y en la oferta de los servicios de transporte tradicional a lo largo del día. Al estimar el modelo segmentado por franjas horarias—cuyas especificaciones también satisfacen de manera consistente las pruebas de robustez e identificación instrumental (Kleibergen-Paap, Anderson-Rubin y Hansen J)—se revela cómo los beneficios de la Línea 1 varían en función del estado de equilibrio del mercado sustituto.

El Metro como escudo contra la congestión (Horas Punta)

Durante los picos de demanda diurna, el derecho de vía segregado del tren maximiza su valor relativo. En la Hora Punta Mañana (HPM, 7:00-8:59) y la Hora Punta Tarde (HPT, 17:00-19:59), el uso del metro garantiza reducciones en el tiempo a bordo de 22.7 y 22.6 minutos, respectivamente. En términos monetarios, la HPT reporta el mayor alivio financiero del día, con un ahorro de S/ 2.39 por viaje. Este pico de ahorro sugiere que, en horas de máxima saturación, las alternativas de transporte (como taxis o colectivos) aplican tarifas dinámicas o sobrecostos por congestión de los cuales la tarifa plana del metro protege al usuario.

Sin embargo, es precisamente en estos horarios donde el *trade-off* logístico se vuelve más severo. El tiempo de espera para abordar el tren experimenta sus mayores penalizaciones, alcanzando un incremento de 10.9 minutos durante la HPT respecto a los modos de transporte convencionales. La saturación de los andenes y la superación de la capacidad de los trenes imponen un racionamiento a través de colas físicas, absorbiendo parcialmente el beneficio del tiempo ahorrado a bordo.

Horas Valle y la Anomalía Nocturna

En los periodos de valle diurno (9:00-16:59), la ventaja en velocidad del tren

se estabiliza (+14.6 km/h) y las fricciones de espera se moderan. No obstante, los resultados más contraintuitivos y reveladores emergen en el Valle Noche (20:00-22:00).

Durante la franja nocturna, el uso de la Línea 1 reduce el tiempo de espera en 6.6 minutos (una reversión completa respecto al resto del día) y alcanza su máximo ahorro de tiempo a bordo (35.0 minutos). Esto responde a un efecto de equilibrio general de la oferta: por la noche, la frecuencia de combis y buses tradicionales disminuye drásticamente, incrementando los tiempos de espera y trayecto de los modos sustitutos. Frente a esta contracción de la oferta privada tradicional, la operación normada y continua de la Línea 1 se vuelve extremadamente eficiente.

Paradójicamente, en esta misma franja horaria nocturna, el modelo reporta un efecto monetario positivo y significativo: usar el metro resulta S/ 0.78 más caro, en promedio, que el contrafactual disponible. Esta anomalía económica sugiere que, al despejarse el tráfico nocturno, los usuarios del grupo de control abandonan opciones costosas (como el taxi) y logran realizar trayectos rápidos en modos altamente informales o fraccionados (tarifas de tramos cortos) que resultan ser más económicos que el pasaje fijo estructurado del sistema masivo.

Cuadro 2: Efecto Heterogéneo por Horario

	(1) Hora Punta Mañana	(2) Valle Diurno	(3) Hora Punta Tarde	(4) Valle Noche
Panel A: Tiempo a Bordo (minutos)				
Uso de Línea 1	-22.72*** (5.88)	-25.48*** (6.80)	-22.64* (11.97)	-34.99*** (6.00)
Test A-R (valor p)	0.005	0.018	0.060	0.001
Panel B: Costo del Viaje (S/)				
Uso de Línea 1	-0.49* (0.26)	-0.05 (0.44)	-2.39* (1.31)	0.78** (0.36)
Test A-R (valor p)	0.085	0.906	0.018	0.028
Panel C: Tiempo de Espera (minutos)				
Uso de Línea 1	4.53* (2.45)	5.45*** (1.85)	10.85*** (4.10)	-6.64*** (1.48)
Test A-R (valor p)	0.031	0.039	0.004	0.000
Estadísticos de Diagnóstico				
Observaciones (N)	3,070	4,772	2,126	1,461
F-stat K-P Wald rk	25.31	16.49	17.89	22.94
Estadístico J de Hansen (valor p)	ID Exacta	ID Exacta	ID Exacta	ID Exacta
Efectos Fijos Incluidos	Sí	Sí	Sí	Sí

Nota: Errores estándar clusterizados a nivel de hogar en paréntesis. *** $p < 0,01$, ** $p < 0,05$, * $p < 0,1$. Los modelos están exactamente identificados (ID Exacta), por lo que el test de sobreidentificación de Hansen no aplica. Instrumento excluido: proximidad acumulada ≤ 1 km.

7.4. Efectos Distribucionales y Sensibilidad Espacial (NSE)

Dado que la Línea 1 opera bajo un esquema de tarifa plana estrictamente subsidiada, resulta relevante evaluar la progresividad de esta intervención. Al desagregar la estimación por Nivel Socioeconómico (NSE), emergen dinámicas diferenciadas que requieren un tratamiento econométrico especializado debido a la heterogeneidad en el comportamiento de la “última milla”.

Sensibilidad Espacial del Instrumento

El instrumento base de 1 km de radio demuestra ser un predictor excepcional de la elección modal para los estratos extremos: el estadístico F de Kleibergen-Paap alcanza 50.65 para el NSE Alto y 11.53 para el NSE Bajo. Asimismo, en estas especificaciones robustas, el test de Wald de Anderson-Rubin rechaza firmemente la hipótesis nula, validando la inferencia de los coeficientes, mientras que el estadístico J de Hansen se mantiene en 0.000 debido a la identificación exacta del modelo. Para los sectores de menores ingresos, la “caminabilidad” estricta es un determinante relevante; si la estación supera el kilómetro, el costo adicional de un modo de aproximación (e.g., mototaxi) diluye el incentivo económico del metro. En consecuencia, al expandir artificialmente el radio a 2 km para el NSE Bajo, la relevancia del instrumento colapsa ($F = 1,41$).

Por el contrario, para el estrato de ingresos medios (NSE Medio), el radio de 1 km resulta ser un instrumento débil ($F = 3,44$). Este grupo exhibe una mayor disposición a pagar por servicios de aproximación de corta distancia, ampliando funcionalmente la zona de influencia de la estación. Al calibrar el modelo para este segmento expandiendo el instrumento a un umbral acumulado de 2 km ($rank2k_dtotal$), la identificación causal se recupera sustancialmente, elevando el estadístico F a 8.98. Con esta especificación calibrada, el test de Anderson-Rubin vuelve a respaldar la significancia estadística del efecto, y el test de sobreidentificación de Hansen confirma la consistencia estructural del instrumento único para este subgrupo poblacional.

Cuadro 3: Efectos en el Costo de Viaje por Nivel Socioeconómico y Sensibilidad Espacial

VARIABLES	(1) NSE Alto	(2) NSE Medio	(3) NSE Bajo
Panel A: Instrumento Base (Proximidad ≤ 1 km)			
Uso de Línea 1	-1.33** (0.54)	-0.34 (0.61)	-2.03*** (0.76)
Observaciones (N)	888	1,467	2,454
K-P Wald rk F-stat (1ra etapa)	50.65	3.44	11.53
A-R Wald test (p -value)	0.017	0.626	0.008
Hansen J statistic (p -value)	ID Exacta	ID Exacta	ID Exacta
Panel B: Instrumento Expandido (Proximidad ≤ 2 km)			
Uso de Línea 1	-1.82*** (0.61)	-0.67 (0.74)	-6.89 (5.41)
Observaciones (N)	888	1,467	2,454
K-P Wald rk F-stat (1ra etapa)	33.94	8.98	1.41
A-R Wald test (p -value)	0.001	0.395	0.236
Hansen J statistic (p -value)	ID Exacta	ID Exacta	ID Exacta
Estadísticos Globales de Modelos			
Efectos Fijos: Origen, Destino, Hora	Sí	Sí	Sí

Nota: Variable dependiente: Costo total de viaje. Errores estándar clusterizados a nivel de hogar en paréntesis. *** $p < 0,01$, ** $p < 0,05$, * $p < 0,1$. El Panel A utiliza el umbral de caminabilidad estricta (1 km), mostrando debilidad instrumental para el NSE Medio. El Panel B expande la zona de influencia a 2 km para capturar la última milla del NSE Medio, mejorando su identificación (F se acerca a 10), pero perdiendo relevancia para el NSE Bajo ($F = 1,41$).

Impacto Pro-Pobre del Subsidio

Utilizando las especificaciones espacialmente óptimas para cada estrato (1 km para NSE Alto/Bajo; 2 km para NSE Medio), los resultados confirman el carácter altamente progresivo de la infraestructura. El mayor ahorro monetario recae sobre las poblaciones más vulnerables: el uso de la Línea 1 reduce los costos de viaje en S/ 2.03 para el NSE Bajo ($p < 0,01$).

En contraste, el NSE Alto experimenta un alivio financiero menor, estimado en S/ 1.33 por trayecto. Finalmente, el NSE Medio reporta el menor ahorro neto (S/ 0.66, no significativo a niveles convencionales), un resultado consistente con la sensibilidad espacial descrita: aunque el metro les resulta más económico en la tarifa troncal, parte de su ahorro monetario bruto es absorbido internamente por el pago de la tarifa de “última milla” requerida para conectar su origen con la infraestructura ferroviaria desde distancias mayores a un kilómetro.

8. Conclusiones

La presente evaluación aporta evidencia empírica rigurosa sobre los retornos sociales de la infraestructura de transporte masivo en megaciudades de países en vías de desarrollo. Mediante la aplicación de un diseño cuasiexperimental de

VARIABLES INSTRUMENTALES CON EFECTOS FIJOS DE ALTA DIMENSIÓN (IV-HDFE), este estudio logró aislar el Efecto Local Promedio del Tratamiento (LATE) del uso de la Línea 1 de la Red Básica del Metro de Lima y Callao (RBMLC) superando los sesgos estructurales de autoselección y endogeneidad espacial.

Los hallazgos confirman, de manera inequívoca, que la Línea 1 opera como un activo crítico de eficiencia en la movilidad urbana. A nivel agregado, la intervención reduce el tiempo de viaje a bordo en casi 28 minutos y eleva la velocidad efectiva de desplazamiento en 11.8 km/h. Este enorme salto en productividad urbana subraya la superioridad del derecho de vía exclusivo frente a un ecosistema vial saturado y fragmentado. En la dimensión económica, la evaluación ratifica la progresividad del diseño tarifario actual: el subsidio cruzado genera un ahorro promedio de S/ 1.23 por viaje, el cual se concentra de manera pronunciada en el estrato socioeconómico bajo (S/ 2.03 de ahorro neto), configurando a la Línea 1 no solo como una solución de movilidad, sino como un instrumento implícito de redistribución de ingresos.

Sin embargo, la evaluación también dimensiona los límites operativos de la infraestructura y el comportamiento de equilibrio general del mercado. Por un lado, los beneficios de tiempo y costo exigen a los usuarios transigir con fricciones logísticas crecientes, materializadas en tiempos de espera significativamente mayores (+10.9 minutos en hora punta tarde) como mecanismo de racionamiento ante la superación de la capacidad de diseño de las estaciones. Por otro lado, la interacción con la oferta informal sustituta revela dinámicas complejas, como la “anomalía nocturna”, donde la falta de alternativas eleva el valor del tren como garante de movilidad, aunque revele la existencia de servicios hiper-fraccionados y de bajo costo en horarios sin congestión.

Finalmente, la sensibilidad del instrumento espacial expuso un comportamiento diferenciado en la “última milla”: mientras los sectores de bajos ingresos dependen estrictamente de la cercanía peatonal (≤ 1 km) para materializar los beneficios económicos del metro, los sectores de ingresos medios extienden dicha zona de influencia mediante el pago de modos de aproximación (≤ 2 km), internalizando el costo logístico. En conjunto, estos resultados validan la rentabilidad social del proyecto y alertan sobre cuellos de botella que las futuras expansiones de la red deberán mitigar desde su concepción.

9. Recomendaciones de Política

A partir de la evidencia econométrica generada en este estudio, se derivan las siguientes recomendaciones aplicables tanto a la gestión operativa de la Línea 1 como al diseño de las futuras líneas de la RBMLC:

- **Expansión y Subsidio de la Movilidad de “Última Milla”**

Dado que el NSE Medio logra expandir funcionalmente la zona de influencia de las estaciones hasta los 2 km, pero a costa de erosionar su ahorro neto (debido al pago de mototaxis o colectivos), es imperativo formular políticas de integración modal física y tarifaria. Se recomienda implementar sistemas de rutas alimentadoras formales o promover soluciones de micro-movilidad subsidiadas en un radio de 2 a 3 km de las estaciones. Esto permitiría universalizar los beneficios monetarios del sistema, atrayendo a más usuarios de las periferias sin castigar su presupuesto de transporte.

- **Mitigación de Fricciones en Estaciones (Gestión de Demanda en Hora Punta)**

El hallazgo de un sobretiempo de espera de 10.9 minutos en la Hora Punta Tarde exige intervenciones de capacidad e infraestructura. A nivel de estación, se sugiere optimizar los flujos de ingreso mediante la digitalización completa del peaje (lectura de códigos QR, pagos con tarjetas sin contacto bancarias) para reducir las colas en los torniquetes. A nivel operativo, se recomienda evaluar la inserción de “trenes bucle” (servicios cortos que solo operen en el tramo central más saturado) durante los picos de demanda para inyectar capacidad adicional donde el racionamiento de andén es más agudo.

- **Política Tarifaria Diferenciada (*Off-Peak Pricing*)**

La “anomalía nocturna” identificada revela que, en horarios valle-noche, el tren resulta marginalmente más costoso (S/ 0.78) que las alternativas informales fragmentadas, a pesar de sus inmensas ventajas de tiempo. Para maximizar la tasa de ocupación del metro en horarios de baja demanda, la Autoridad de Transporte Urbano (ATU) debería considerar la implementación de tarifas diferenciadas (descuentos nocturnos u *off-peak pricing*). Esto no solo incrementaría la competitividad económica de la Línea 1 frente al transporte informal por las noches, sino que podría incentivar un aplanamiento de la curva de demanda, reduciendo parcialmente la presión en la hora punta de la tarde.

- **Blindaje de la Tarifa Social Plana**

Los resultados distribucionales ratifican contundentemente que la tarifa plana actual (S/ 1.50) funciona como un mecanismo altamente progresivo, trasladando el mayor beneficio económico al NSE Bajo. Se recomienda mantener esta estructura tarifaria troncal inalterada frente a la inflación o externalidades operativas, financiando cualquier déficit mediante rentas

de carácter general. Cualquier ajuste al alza impactaría de forma desproporcionada y regresiva a los sectores más vulnerables de la ciudad, obligándolos a retornar a un sistema informal y más contaminante.

- **Aceleración de la Inversión en la Red Básica Integrada**

La magnitud del ahorro en tiempo (28 minutos) y el incremento de velocidad (11.8 km/h) observados en un solo corredor ferroviario son masivos para el estándar de megaciudades latinoamericanas. Estos estimadores causales justifican financieramente la aceleración de la adjudicación y construcción de las Líneas 3 y 4. Asimismo, exigen que la estación de interconexión con la Línea 2 (Estación 28 de Julio) sea diseñada con holguras paramétricas muy superiores a las tradicionales, anticipando que la sinergia de red multiplicará los *compliers* espaciales y someterá a estrés extremo a las infraestructuras de intercambio.

Cuadro 4: Descripción de las Variables Utilizadas en las Estimaciones

Clasificación	Variable / Símbolo	Descripción
VARIABLES DE RESULTADO (DEPENDIENTES)		
	Tiempo a bordo (<i>tbordo</i>)	Tiempo neto (en minutos) que el usuario pasa dentro del vehículo o vehículos de transporte, excluyendo tiempos de caminata y espera.
	Costo del viaje (<i>costo_viaje</i>)	Desembolso monetario total (en Soles) reportado por el usuario para completar la totalidad del trayecto.
	Velocidad de transporte (<i>vel_transporte</i>)	Velocidad efectiva (en <i>km/h</i>) calculada como la razón entre la distancia euclidiana del viaje y el tiempo a bordo.
	Tiempo de espera (<i>tespera</i>)	Tiempo total (en minutos) invertido en andenes o paraderos antes de abordar la unidad de transporte.
VARIABLE ENDÓGENA (TRATAMIENTO)		
	Uso del Metro (<i>modalidad_tren</i>)	Variable dicotómica que toma el valor de 1 si el encuestado declaró utilizar el “Tren eléctrico” (Línea 1) en cualquiera de las etapas de su viaje (del primer al octavo medio de transporte), y 0 si completó su viaje utilizando exclusivamente otros modos de transporte público masivo o convencional (SIT, combis, coasters y colectivos).
VARIABLE INSTRUMENTAL		
	Proximidad Acumulada (<i>rank1k_dttotal</i>)	Variable dicotómica espacial que toma el valor de 1 si la suma de la distancia lineal desde el origen del viaje hasta la estación de abordaje más cercana, más la distancia desde la estación de desembarque hasta el destino final, es menor o igual a 1 <i>km</i> . Para el análisis de sensibilidad espacial por niveles socioeconómicos, se emplea adicionalmente el umbral expandido de 2 <i>km</i> (<i>rank2k_dttotal</i>).
VARIABLES DE CONTROL (X_i)		
	Distancia del viaje (<i>distancia_viaje</i>)	Distancia geodésica directa entre el origen y el destino (en <i>km</i>).
	Transbordos vehiculares (<i>trasbordos_publico</i>)	Cantidad de transbordos vehiculares realizados (ingresada como variable categórica).
	Edad del pasajero (<i>edad, edad²</i>)	Edad del pasajero, incluyendo su término cuadrático para capturar efectos no lineales.
	Sexo del encuestado	Variable dicotómica para identificar pasajeras mujeres.
	Estrato Socioeconómico (NSE)	Recodificación categórica del nivel socioeconómico del hogar (Alto, Medio y Bajo) para controlar por restricciones presupuestarias y costo de oportunidad del tiempo en la elección modal.
VARIABLES PARA EFECTOS FIJOS (HDFE)		
	Distrito de origen (α_o)	Identificador categórico (51 categorías) para absorber la heterogeneidad y fricciones geográficas inobservables en el punto de partida.
	Distrito de destino (α_d)	Identificador categórico (51 categorías) para absorber la heterogeneidad y fricciones geográficas inobservables en el punto de llegada.
	Hora de salida (τ_t / <i>hh_salida</i>)	Identificador categórico (18 franjas horarias) para controlar por choques agregados de congestión vehicular que afectan transversalmente a la red vial de Lima Metropolitana.

Fuente: Elaboración propia.

Referencias

- Abhijna, M., Krishna Rao, K. V., and Perumal, V. (2025). How new metro lines shape a sustainable future: A before-after study of travel behavior, perceptions, and emissions in Mumbai Metropolitan Region, India. *Sustainable Cities and Society*, 124:106431. Published online May 2025.
- Acton, B., Le, H. T., and Miller, H. J. (2022). Impacts of bus rapid transit (BRT) on residential property values: A comparative analysis of 11 US BRT systems. *Journal of Transport Geography*, 100:103324.
- Ahlfeldt, G. M. and Feddersen, A. (2018). From periphery to core: measuring agglomeration effects using high-speed rail. *Journal of Economic Geography*, 18(2):355–390.
- Alba Vivar, F. (2024). Opportunity bound: Transport and access to higher education in a megacity. Doctoral thesis / working paper.
- ATU (2024). Registros administrativos sobre el flujo de pasajeros, periodo 2012–2024.
- ATU (2025a). Registros administrativos sobre de nivel de contaminación del aire.
- ATU (2025b). Registros administrativos sobre emisiones de la Línea 1, 2015–2024.
- Ayaragarnchanakul, E., Klauber, H., Nachtigall, F., Wagner, F., Hu, J.-w., and Creutzig, F. (2025). The impact of the bangkok metro expansion via big taxi gps probe data. *npj Sustainable Mobility and Transport*, 2(1):4.
- Banco Central de Reserva del Perú (2024). Reporte de inflación. diciembre 2024. Technical report, BCRP.
- Bocarejo, J. P., Portilla, I. J., Velásquez, J. M., Cruz, M. N., Peña, A., and Oviedo, D. R. (2014). An innovative transit system and its impact on low-income users: the case of the Metrocable in Medellín. *Journal of Transport Geography*, 39:49–61.
- Cheng, J. and Chen, Z. (2021). Socioeconomic impact assessments of high-speed rail: A meta-analysis. *Transport Reviews*, 42(4):467–502.
- Comisión Investigadora del Caso Lava Jato (2018). Informe final de la comisión investigadora del congreso de la república sobre el caso Lava Jato en el Perú. Technical report, Congreso de la República del Perú.
- Contreras, C., Aguilar, D., and Lázaro, J. (2024). Impacto del transporte masivo en la informalidad de vivienda: El caso de la Línea 1 del Metro de Lima. *Argumentos*, 5(1).

- Corporación Andina de Fomento (CAF) (2015). El metro de lima: Impacto en la movilidad y accesibilidad urbana. Technical report, CAF.
- de Sá, A. L. S., Lavieri, P. S., Pawlak, J., Sivakumar, A., and Thompson, R. G. (2025). The effects of travel time use on activity-travel behaviour: knowledge consolidation and research agenda for current and future transport options. *Transport Reviews*, pages 1–28.
- Diao, M., Leonard, D., and Sing, T. F. (2017). Spatial-difference-in-differences models for impact of new mass rapid transit line on private housing values. *Regional Science and Urban Economics*, 67:64–77.
- Dong, H. (2017). Rail-transit-induced gentrification and the affordability paradox of TOD. *Journal of Transport Geography*, 63:1–10.
- Giannopoulos, G. A. (1981). Metropolitan railways: present characteristics and future prospects. *Transport Reviews*, 1(1):45–74.
- Guerrero, T. E., Guevara, C. A., Cherchi, E., and Ortúzar, J. d. D. (2021). Addressing endogeneity in strategic urban mode choice models. *Transportation*, 48(4):2081–2102.
- GyM Ferrovías (2014). Reporte de sostenibilidad 2013–2014. Technical report, GyM Ferrovías / Línea 1.
- GyM Ferrovías (2018). Reporte de sostenibilidad 2018. Technical report, GyM Ferrovías / Línea 1.
- GyM Ferrovías (2024). Mapa de estaciones – Línea 1 del Metro de Lima.
- Hu, J., Lu, H., Li, M., Long, Y., Li, Y., and Zeng, Y. (2024). Impact of newly extended metro line opening on commuting carbon emissions: A comparative study before and during the pandemic. *Transport Economics and Management*, 2:203–213.
- JICA (2012). Encuesta de recolección de información básica del transporte urbano en el área metropolitana de Lima y Callao. Technical report, Japan International Cooperation Agency.
- Kim, K. et al. (2021). Impacts of light rail transit on labor participation and housing affordability in the u.s.: Longitudinal analysis using propensity score matching. *Journal of the Transportation Research Board*. <https://doi.org/10.1177/036119812111029650>.
- Li, R., Xu, M., and Zhou, H. (2023a). Impact of high-speed rail operation on urban economic resilience: Evidence from local and spillover perspectives in china. *Cities*, 141:104498.
- Li, R., Xu, M., and Zhou, H. (2023b). Impact of high-speed rail operation on urban economic resilience: Evidence from local and spillover perspectives in China. *Cities*, 141:104498.

- Llosa, L. G. and Panizza, U. (2015). La gran depresión de la economía peruana: ¿una tormenta perfecta? *Revista Estudios Económicos*, 30:91–117.
- Lu, H., Zhao, P., Hu, H., Yan, J., and Chen, X. (2023). Exploring the heterogeneous impact of road infrastructure on rural residents’ income: Evidence from nationwide panel data in China. *Transport Policy*, 134:155–166.
- Matas, A., Raymond, J. L., and Roig, J. L. (2020). Evaluating the impacts of HSR stations on the creation of firms. *Transport Policy*, 99:396–404.
- Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) (2025). Seguimiento de proyectos de inversión: Líneas 3 y 4 de la RBMLC. [Completar URL de consulta].
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) (2020). Toolkit especializado para el cálculo de emisiones en el sector transporte.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) (2024). Avances en la implementación de la Línea 2 del Metro de Lima y Callao.
- Ministerio del Ambiente (MINAM) (2019). Inventario nacional de gases de efecto invernadero (INGEI) 2019.
- Mohammadi, A., Amador-Jimenez, L., and Nasiri, F. (2019). Review of asset management for metro systems: challenges and opportunities. *Transport Reviews*, 39(3):309–326.
- Morales, G. (2024). Beneficios ambientales del transporte ferroviario eléctrico: Evidencia de la Línea 1 del Metro de Lima. Tesis de Maestría en Desarrollo Ambiental. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- OSITRAN (2024). Informe de desempeño: Línea 1 del Metro de Lima y Callao.
- Oviedo, D., Meléndez Fuentes, N., and Chong, A. Z. W. (2025). Transport affordability across time and space: Considerations for Latin America and the Caribbean and other Global South settings. *Journal of Planning Literature*. Published online 2025; advance online publication.
- Oviedo, D., Scholl, L., Innao, M., and Pedraza, L. (2019). Do bus rapid transit systems improve accessibility to job opportunities for the poor? the case of lima, peru. *Sustainability*, 11(10):2795.
- Reck, D. J., Martin, H., and Axhausen, K. W. (2022). Mode choice, substitution patterns and environmental impacts of shared and personal micro-mobility. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 102:103134.
- Scholl, L., Martinez, D., Mitnik, O. A., Oviedo, D., and Yañez-Pagans, P. (2018). A rapid road to employment? the impacts of a bus rapid transit system in lima. Technical report, IDB Working Paper Series.
- Sun, F. and Mansury, Y. S. (2016). Economic impact of high-speed rail on household income in china. *Transportation Research Record*, 2581(1):71–78.

- Tan, Y., Zhao, P., and Li, L. (2025). Subway expansion, residential relocation, and travel behavior: Causal evidence from China. *Journal of Transport Geography*, 124:104166.
- TomTom Traffic Index (TTI) (2024). Traffic index 2024: Lima.
- Tsivanidis, N. (2026). Evaluating the impact of urban transit infrastructure: Evidence from bogotá’s transmilenio. *American Economic Review*, 116(2):418–463.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA) (2021). Emission factors for greenhouse gas inventories.
- Välilä, T. (2025). The economic impact of transport infrastructure: a review of project-level vs. aggregate-level evidence. *Transport Reviews*, 45(4):459–481.
- Van den Berg, R. and De Langen, P. W. (2017). Environmental sustainability in container transport: the attitudes of shippers and forwarders. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 20(2):146–162.
- Velásquez, D. (2023). Transit infrastructure, couples’ commuting choices, and gender earnings inequality. *Unpublished manuscript*.
- Wang, C., Meng, W., and Hou, X. (2020). The impact of high-speed rails on urban economy: An investigation using night lighting data of chinese cities. *Research in Transportation Economics*, 80:100819.
- Wooldridge, J. M. (2010). *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*. MIT Press, Cambridge, MA, 2 edition.
- Wu, W., Zheng, S., Wang, B., and Du, M. (2020). Impacts of rail transit access on land and housing values in china: a quantitative synthesis. *Transport Reviews*, 40(5):629–645.
- Yang, H., Tong, Q., and Zhao, P. (2022). Study on the impact of the beijing–shanghai high-speed railway on regional economic equity based on economic performance. *The Annals of Regional Science*, 68(1):229–253.
- Zhang, S., Lo, H. K., Ng, K. F., and Chen, G. (2021). Metro system disruption management and substitute bus service: a systematic review and future directions. *Transport Reviews*, 41(2):230–251.