



Revista de Estudiantes de Economía / Número 9 / Enero-diciembre 2025

INTERCAMBIO

Uso de Transmilenio como principal modo de transporte y la percepción de satisfacción en la movilidad

Using Transmilenio as the Main Mode of Transport and Perceived Mobility Satisfaction

.....

***Lina María Álvarez Ardila
María Paula Álvarez Herrera
Sara Rocío Rojas Gómez***

E-ISSN 2619-6131



Uso de Transmilenio como principal modo de transporte y la percepción de satisfacción en la movilidad*

Using Transmilenio as the Main Mode of Transport and Perceived Mobility Satisfaction

Lina María Álvarez Ardila**

María Paula Álvarez Herrera***

Sara Rocío Rojas Gómez****

Resumen

Este estudio analiza la relación entre el uso de Transmilenio como principal modo de transporte y la percepción de satisfacción con la movilidad urbana en Bogotá. A partir de la Encuesta de Percepción de la Movilidad y Entornos Urbanos (2024), se emplea el método de emparejamiento por puntaje de propensión (PSM) para comparar usuarios que utilizan Transmilenio con individuos comparables que recurren a otros medios de transporte. El puntaje de propensión se estima mediante un modelo Logit que incorpora características sociodemográficas,



* **Artículo recibido:** 25 de junio de 2025 | **Aceptado:** 7 de abril de 2026 | **Modificado:** 29 de mayo de 2026

** Estudiante de Economía de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Correo electrónico: lialvareza@unal.edu.co

*** Estudiante de Economía de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Correo electrónico: malvarezh@unal.edu.co

**** Estudiante de Economía de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Correo electrónico: srojasgo@unal.edu.co

percepciones de seguridad y factores espaciales, incluyendo la distancia a la troncal más cercana y una medida de vecindad espacial tipo KNN. Posteriormente, se implementa un emparejamiento Kernel bajo soporte común y se evalúa el balance de covariables entre los grupos comparados. Los resultados muestran una diferencia positiva y estadísticamente significativa en los niveles reportados de satisfacción con la movilidad entre usuarios de Transmilenio y usuarios comparables de otros modos de transporte ($ATT = 0.235$; $EE = 0.016$; $p < 0.001$), con un intervalo de confianza del 95 % $[0.109, 0.276]$. Asimismo, los análisis espaciales evidencian la presencia de autocorrelación geográfica, lo que justifica la incorporación de controles territoriales en la estimación. No obstante, los resultados deben interpretarse con cautela, dado que la satisfacción con la movilidad corresponde a una medida subjetiva y multidimensional, susceptible a factores no observados relacionados con preferencias individuales, experiencias previas y percepciones del sistema de transporte. En consecuencia, los hallazgos no deben entenderse como evidencia causal concluyente, sino como asociaciones consistentes con mayores niveles de satisfacción reportada entre usuarios de Transmilenio una vez controladas características observables. En conjunto, los resultados sugieren que los sistemas de transporte masivo pueden influir no solo sobre dimensiones operativas de la movilidad, sino también sobre la experiencia subjetiva reportada por los usuarios. Esto resalta la relevancia de fortalecer políticas orientadas a mejorar condiciones de seguridad, confort y calidad percibida del servicio dentro de los sistemas de transporte urbano.

Palabras clave: Transmilenio, movilidad urbana, transporte público, satisfacción del usuario, emparejamiento por puntaje de propensión, análisis espacial.

Clasificación JEL: R15, R28, R41, R42, R58

Abstract

This study analyzes the relationship between the use of Transmilenio as the main mode of transport and perceived satisfaction with urban mobility in Bogotá. Using data from the 2024 Mobility and Urban Environment Perception Survey, the study

Sara Rocío Rojas Gómez
María Paula Álvarez Herrera
Lina María Álvarez Ardila

applies Propensity Score Matching (PSM) to compare Transmilenio users with comparable individuals who rely on other modes of transportation. The propensity score is estimated through a Logit model that incorporates sociodemographic characteristics, safety perceptions, and spatial factors, including distance to the nearest trunk corridor and a K-nearest neighbors (KNN) spatial proximity measure. Subsequently, Kernel Matching under common support is implemented, and covariate balance between the comparison groups is assessed. The results show a positive and statistically significant difference in reported mobility satisfaction levels between Transmilenio users and comparable users of other transport modes (ATT = 0.235; SE = 0.016; $p < 0.001$), with a 95% confidence interval of [0.109, 0.276]. In addition, spatial analyses reveal the presence of geographic autocorrelation, supporting the inclusion of territorial controls in the estimation. Nevertheless, the findings should be interpreted with caution, as mobility satisfaction is a subjective and multidimensional measure that may be influenced by unobserved factors related to individual preferences, previous experiences, and perceptions of the transport system. Consequently, the results should not be interpreted as conclusive causal evidence, but rather as associations consistent with higher reported satisfaction levels among Transmilenio users after controlling for observable characteristics.

Overall, the findings suggest that mass transit systems may influence not only operational dimensions of mobility, but also users' reported subjective travel experiences. This highlights the importance of strengthening policies aimed at improving safety, comfort, and perceived service quality within urban public transport systems.

Keywords: Transmilenio, urban mobility, public transport, user satisfaction, Propensity Score Matching, spatial analysis.

JEL classification: R15, R28, R41, R42, R58

1. Introducción

El sistema Transmilenio fue inaugurado en diciembre de 2000 como una estrategia para reorganizar el transporte público de Bogotá frente a problemas persistentes

de congestión vehicular, rutas informales y baja calidad del servicio asociados al esquema tradicional de buses y busetas operados con limitada coordinación institucional (Chaparro, 2002).

Desde su implementación, múltiples estudios han analizado los efectos operativos y urbanos del sistema, destacando reducciones en tiempos de viaje, aumentos en velocidad comercial, disminuciones en emisiones contaminantes (Hidalgo et al., 2013) y efectos sobre valorización inmobiliaria (Perdomo y Moreno., 2010). No obstante, paralelamente a estos resultados, distintos estudios y encuestas de percepción han documentado deterioros en la experiencia reportada por los usuarios, asociados principalmente al sobrecupo, la percepción de inseguridad y las dificultades de integración operacional del sistema.

En particular, la percepción de seguridad se ha consolidado como uno de los principales factores de insatisfacción, especialmente entre mujeres usuarias del sistema. Encuestas recientes reportan altos niveles de percepción de inseguridad y experiencias de acoso dentro de Transmilenio (Riaño, 2025), lo que evidencia que los indicadores operativos tradicionales no capturan completamente la experiencia cotidiana de movilidad urbana.

En este contexto, resulta relevante analizar la relación entre el uso de Transmilenio como principal modo de transporte y la percepción reportada de satisfacción con la movilidad urbana. Por tanto, esta investigación busca analizar la relación entre el uso de Transmilenio como principal modo de transporte y la satisfacción reportada con la movilidad urbana en Bogotá, considerando variables sociodemográficas, percepciones de seguridad y factores espaciales. En particular, el estudio examina si existen diferencias en los niveles reportados de satisfacción entre usuarios de Transmilenio y usuarios de otros modos de transporte con características observables comparables.

Para ello, se utiliza información proveniente de la Encuesta de Percepción de la Movilidad y Entornos Urbanos de Bogotá (2024), elaborada por la Cámara de Comercio de Bogotá. La encuesta recoge información sobre patrones de movilidad, percepción de seguridad, características sociodemográficas y satisfacción reportada con la movilidad

urbana en una escala tipo Likert de 1 a 5. El análisis se realiza sobre la muestra efectiva de individuos con información completa para las variables incluidas en la estimación.

Metodológicamente, el estudio emplea Propensity Score Matching (PSM) como estrategia de comparabilidad observacional entre usuarios de Transmilenio y usuarios de otros medios de transporte. El objetivo es estimar diferencias promedio ajustadas en satisfacción reportada entre grupos comparables condicionados a covariables observables.

El artículo se organiza de la siguiente manera. La sección 2 presenta el marco conceptual y la revisión de literatura sobre transporte urbano, satisfacción percibida y evaluación observacional en movilidad. La sección 3 describe la estrategia empírica y las fuentes de información utilizadas. La sección 4 presenta los resultados principales y la sección 5 concluye con implicaciones para política pública y futuras líneas de investigación.

1.1 Motivación

La motivación principal de este estudio surge de la diferencia existente entre los resultados operativos tradicionalmente asociados a Transmilenio y la experiencia reportada por sus usuarios. Mientras diversos estudios han documentado reducciones en tiempos de viaje, mejoras en velocidad comercial y disminuciones en emisiones contaminantes, encuestas recientes muestran niveles persistentemente bajos de satisfacción con el sistema.

La literatura especializada ha señalado que factores como el sobrecupo, la percepción de inseguridad, la congestión en estaciones y las dificultades de integración modal afectan significativamente la percepción de calidad del servicio, incluso en contextos donde existen mejoras objetivas en eficiencia operativa (Hidalgo et al., 2013; Tyrinopoulos y Antoniou, 2008).

En este sentido, comprender cómo se relaciona el uso de Transmilenio con la satisfacción reportada respecto a la movilidad urbana resulta relevante para complementar las evaluaciones tradicionales centradas exclusivamente en indicadores operativos. Esto permite incorporar dimensiones subjetivas de experiencia de viaje que

pueden contribuir al diseño de políticas orientadas a mejorar condiciones de seguridad, confort y percepción de calidad del transporte público.

1.2 Aporte a la literatura

La literatura sobre Transmilenio se ha concentrado principalmente en evaluar resultados operativos y urbanos asociados al sistema, incluyendo reducción de tiempos de viaje, valorización inmobiliaria y disminución de emisiones contaminantes (Hidalgo et al., 2013; Perdomo y Moreno, 2010).

En particular, Perdomo et al. (2010), mediante técnicas de Propensity Score Matching (PSM), compararon usuarios de Transmilenio con usuarios observacionalmente similares del transporte público tradicional y encontraron reducciones significativas en tiempos de desplazamiento. Este resultado es especialmente relevante dado que la reducción de los tiempos de viaje constituía uno de los objetivos centrales asociados a la implementación del sistema de transporte masivo en Bogotá (Chaparro, 2002).

A pesar de estos hallazgos, son relativamente escasos los estudios que relacionan indicadores operativos del sistema con la percepción reportada de satisfacción por parte de los usuarios. En esta línea, Tyrinopoulos y Antoniou (2008), mediante aplicaciones de Teoría de Respuesta al Ítem, identifican que la sobreocupación y la disponibilidad de información en tiempo real constituyen factores relevantes en la satisfacción de los usuarios del transporte público.

De forma similar, Heredia (2015) utilizan modelos SEM-MIMIC, encuentran que variables como confort interior, seguridad y confiabilidad explican una proporción significativa de la satisfacción global reportada por los pasajeros.

En este contexto, el presente estudio contribuye a la literatura al analizar la relación entre el uso de Transmilenio como principal modo de transporte y la satisfacción reportada con la movilidad urbana, incorporando variables sociodemográficas, percepciones de seguridad y controles espaciales mediante una estrategia de comparabilidad observacional basada en Propensity Score Matching.

2. Marco Conceptual y revisión de literatura

2.1 Movilidad urbana y satisfacción en el uso de sistema de transporte público

La movilidad urbana no depende exclusivamente de indicadores operativos asociados al transporte, como tiempos de viaje o cobertura del servicio, sino también de la percepción que los usuarios construyen sobre sus experiencias de desplazamiento cotidiano. En este sentido, la satisfacción con la movilidad constituye una valoración subjetiva influenciada por factores como seguridad, confort, confiabilidad, accesibilidad e información disponible durante el viaje (Tyrinopoulos y Antoniou, 2008).

La literatura sobre percepción del transporte público ha mostrado que las condiciones de ocupación, la calidad del servicio y la sensación de seguridad influyen significativamente sobre la satisfacción reportada por los usuarios. Tyrinopoulos y Antoniou (2008), mediante aplicaciones de Teoría de Respuesta al Ítem, identifican que la sobreocupación y la falta de información en tiempo real constituyen algunos de los principales determinantes de insatisfacción en sistemas de transporte urbano. De forma similar, Heredia (2015) utiliza modelos SEM-MIMIC, encuentran que variables como confort interior, seguridad y confiabilidad explican una proporción significativa de la satisfacción global de los pasajeros.

No obstante, la satisfacción con la movilidad corresponde a una medida subjetiva y multidimensional, susceptible a percepciones individuales, experiencias previas y condiciones contextuales asociadas al uso cotidiano del sistema de transporte. Por esta razón, las diferencias observadas en satisfacción reportada entre usuarios de distintos modos de transporte deben interpretarse con cautela, especialmente en estudios observacionales donde la elección modal no ocurre de manera aleatoria.

2.2 Transmilenio y evidencia empírica sobre el sistema

Transmilenio fue inaugurado en diciembre de 2000 como parte de una estrategia orientada a reorganizar el transporte público de Bogotá frente a problemas persistentes de congestión vehicular, informalidad operacional y baja calidad del servicio (Chaparro, 2002). Inspirado en sistemas Bus Rapid Transit (BRT), el sistema buscaba

reducir tiempos de desplazamiento mediante corredores exclusivos, reorganización de rutas y ampliación de cobertura del transporte masivo (Hidalgo et al., 2013).

Desde su implementación, diversos estudios han evaluado los efectos operativos y urbanos asociados al sistema. Chaparro (2002) reportó reducciones significativas en tiempos de viaje y mejoras en eficiencia operacional durante los primeros años de funcionamiento. Posteriormente, Hidalgo et al. (2013) documentaron disminuciones en emisiones de material particulado (PM_{10}) y dióxido de carbono (CO_2) asociadas al uso de buses articulados y corredores exclusivos tipo BRT.

De manera complementaria, Perdomo y Moreno (2010), mediante modelos de precios hedónicos espaciales, identificó incrementos significativos en el valor del suelo en zonas cercanas a estaciones de Transmilenio, asociados a mejoras en accesibilidad urbana.

Sin embargo, distintos estudios han mostrado que las mejoras operativas del sistema no necesariamente se traducen en mayores niveles de satisfacción reportada por los usuarios. Hidalgo et al. (2013) encuentran que los altos niveles de ocupación en horas pico afectan negativamente la percepción de confort y seguridad dentro del sistema. En la misma línea, Chavarro (2024) señala que las dificultades de integración con otros componentes del transporte urbano y las deficiencias en infraestructura peatonal limitan la experiencia cotidiana de movilidad de los usuarios.

2.3 Estudios cuasiexperimentales y el uso de Propensity Score Matching en transporte

Diversos estudios sobre transporte urbano han utilizado metodologías observacionales para comparar resultados entre grupos de usuarios con características similares, particularmente en contextos donde el acceso o uso de la infraestructura de transporte no ocurre de manera aleatoria. Entre estas estrategias, el Propensity Score Matching (PSM) ha sido ampliamente empleado para reducir diferencias observables entre grupos comparados mediante técnicas de emparejamiento basadas en covariables (Rosenbaum y Rubin, 1983).

En el caso de Transmilenio, Perdomo et al. (2010) aplicaron PSM para comparar usuarios del sistema con usuarios del transporte público tradicional que presentaban características observables similares, encontrando reducciones significativas

Sara Rocío Rojas Gómez
María Paula Álvarez Herrera
Lina María Álvarez Ardila

en tiempos de desplazamiento. Este resultado es especialmente relevante dado que la disminución de los tiempos de viaje constituía uno de los principales objetivos asociados a la implementación del sistema de transporte masivo.

De manera complementaria, Fajardo (2024) analizó el desempeño energético del sistema y encontraron menores niveles de consumo energético por pasajero-kilómetro en comparación con el transporte convencional. Asimismo, Perdomo y Moreno (2010) combinaron técnicas de emparejamiento y modelos de precios hedónicos espaciales para analizar diferencias en el valor del suelo entre predios cercanos y alejados de estaciones de Transmilenio.

No obstante, aunque este tipo de metodologías permite mejorar la comparabilidad entre grupos observacionalmente similares, las estimaciones obtenidas continúan dependiendo del supuesto de selección en observables. En consecuencia, los resultados derivados de PSM deben interpretarse como diferencias promedio ajustadas condicionadas a covariables observables y no como efectos causales concluyentes.

3. Metodología

3.1 Fuentes de información y variables de estudio

La información utilizada en esta investigación proviene de la Encuesta de Percepción de la Movilidad y los Entornos Urbanos de Bogotá – 2024, realizada por la Cámara de Comercio de Bogotá. Esta encuesta recopila información relacionada con patrones de movilidad, percepción ciudadana y características sociodemográficas de personas mayores de 18 años residentes en Bogotá.

La encuesta cuenta con una muestra de 18.865 individuos y un diseño muestral probabilístico y estratificado, lo que permite obtener resultados representativos para la población urbana de la ciudad. A partir de esta fuente se construyen las variables utilizadas en el análisis, incluyendo modo principal de transporte, satisfacción reportada con la movilidad, percepción de seguridad y características espaciales asociadas a accesibilidad urbana.

La variable principal de exposición corresponde al uso de Transmilenio como principal modo de transporte. Para ello, se construye una variable dicotómica que toma el valor de 1 cuando el encuestado reporta a Transmilenio como su modo principal de desplazamiento y 0 cuando utiliza otros medios de transporte.

Por su parte, la variable de resultado corresponde al nivel de satisfacción reportada con la movilidad urbana, medido mediante una escala ordinal tipo Likert incluida en la encuesta, donde valores más altos representan mayores niveles de satisfacción percibida. Dado el carácter subjetivo y multidimensional de esta medida, los resultados deben interpretarse como diferencias en niveles reportados de satisfacción y no como una medida directa de bienestar individual, calidad objetiva del servicio o eficiencia del sistema de transporte.

Adicionalmente, se incorporan variables de control relacionadas con características sociodemográficas, incluyendo sexo, edad, nivel educativo, ocupación y condiciones del hogar, así como variables asociadas a percepción de seguridad y factores espaciales. Entre estos últimos se consideran la distancia a la troncal de Transmilenio más cercana y medidas de vecindad espacial tipo KNN (K-Nearest Neighbors), con el propósito de incorporar diferencias territoriales asociadas a accesibilidad y entorno urbano.

Un elemento adicional del análisis corresponde al uso del código de sector (COD_SECT) contenido en la encuesta, el cual fue vinculado con la codificación oficial DIVIPOLA y con información geográfica proveniente del Geoportal del DANE. Esto permite georreferenciar a los encuestados y construir medidas espaciales relacionadas con la proximidad a estaciones y troncales de Transmilenio.

A partir de esta información se construyeron matrices de pesos espaciales mediante dos criterios: vecinos más cercanos utilizando una matriz KNN con cinco vecinos y distancia geográfica con un radio de 500 metros. Asimismo, se evaluó la presencia de autocorrelación espacial en la variable de satisfacción reportada mediante el estadístico de Moran y se construyó una medida asociada a la proporción de vecinos cercanos que utilizan Transmilenio como modo principal de transporte.

Sara Rocío Rojas Gómez
 María Paula Álvarez Herrera
 Lina María Álvarez Ardila

3.2 Aplicación de la metodología en el estudio

Con el propósito de mejorar la comparabilidad entre usuarios de Transmilenio y usuarios de otros modos de transporte, se empleó una estrategia observacional basada en Propensity Score Matching (PSM). Este método permite emparejar individuos con características observables similares a partir de la estimación de la probabilidad de pertenecer al grupo de usuarios de Transmilenio, condicionada a un conjunto de covariables observables (Rosenbaum y Rubin, 1983).

En este estudio, el puntaje de propensión fue estimado mediante un modelo Logit en el que la variable dependiente corresponde al uso de Transmilenio como principal modo de transporte. Las covariables incluidas en la estimación comprenden variables socio-demográficas, percepciones de seguridad y factores espaciales asociados a accesibilidad urbana. En particular, se incorporan edad, género, nivel educativo, ocupación, condiciones del hogar, distancia a la troncal más cercana y una medida de vecindad espacial construida a partir de matrices KNN (K-Nearest Neighbors), la cual captura la proporción de vecinos cercanos que utilizan Transmilenio como modo principal de transporte.

La incorporación espacial se hizo mediante una matriz de pesos por distancia y por vecinos cercanos (KNN), y finalmente se realizó una estimación de la significancia e intervalo de confianza con el método de Bootstrapping. Teniendo en cuenta lo anterior, la especificación general del modelo Logit para la estimación del puntaje de propensión se expresa de la siguiente manera:

$$\Pr(D_i = 1 | X_i, S_i, W_i) = \text{Logit}(-1) (\alpha_0 + \alpha_1 X_i + \alpha_2 S_i + \alpha_3 W_i)$$

Donde:

$D_i = \text{Dummy}(1, \text{usar Transmilenio}; 0, \text{otro medio})$

$X_i = \text{Controles sociodemográficos (Edad, género, nivel educativo, ocupación)}$

$S_i =$

Controles de percepción de la seguridad según el medio de transporte usando controles espaciales y de accesibilidad urbana

Posteriormente, se implementó un emparejamiento Kernel bajo soporte común. Este procedimiento compara usuarios de Transmilenio con individuos observacionalmente similares pertenecientes al grupo de control, asignando ponderaciones mayores a observaciones con puntajes de propensión más cercanos. El uso del soporte común restringe la comparación al rango de valores en el cual existen observaciones comparables entre ambos grupos, evitando extrapolaciones fuera de la región de superposición de covariables (Rosenbaum y Rubin, 1983).

A diferencia de métodos de emparejamiento exacto, el Kernel Matching permite utilizar un mayor número de observaciones del grupo de control durante el proceso de comparación, reduciendo pérdidas de información derivadas de restricciones estrictas de emparejamiento. No obstante, este procedimiento no elimina posibles problemas de endogeneidad asociados a variables no observadas, sino que modifica la forma en que las observaciones son ponderadas durante el emparejamiento.

En consecuencia, las estimaciones obtenidas no deben interpretarse como efectos causales concluyentes, sino como diferencias promedio ajustadas en satisfacción reportada entre usuarios de Transmilenio y usuarios comparables de otros modos de transporte, condicionadas a características observables.

La diferencia promedio ajustada entre grupos comparados puede expresarse como:

$$ATT = E[Y_i(1) - Y_i(0)|D_i = 1]$$

Donde:

$Y_i(1)$ = nivel de satisfacción reportada para usuarios de Transmilenio
 $Y_i(0)$ = nivel de satisfacción reportada para usuarios de otros modos de transporte
 D_i = individuos que reportan Transmilenio como modo principal de transporte

Asimismo, se evaluó el balance de covariables después del emparejamiento con el fin de verificar la reducción de diferencias observables entre los grupos comparados. Finalmente, la precisión estadística de las estimaciones fue evaluada mediante procedimientos de Bootstrapping para el cálculo de errores estándar e intervalos de confianza.

El análisis se desarrolla bajo el supuesto de selección en observables, según el

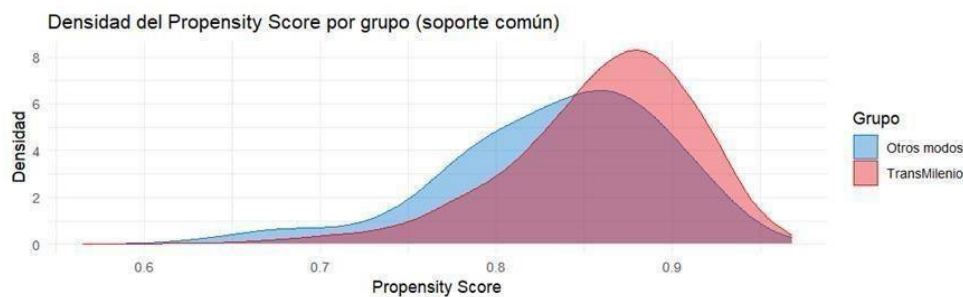
Sara Rocío Rojas Gómez
María Paula Álvarez Herrera
Lina María Álvarez Ardila

cual, una vez condicionadas las covariables incluidas en el modelo, las diferencias observadas entre grupos pueden interpretarse como comparaciones entre individuos observacionalmente similares. Sin embargo, debido a la naturaleza observacional de los datos, no es posible descartar completamente la existencia de factores no observados asociados simultáneamente con la elección modal y la satisfacción reportada con la movilidad.

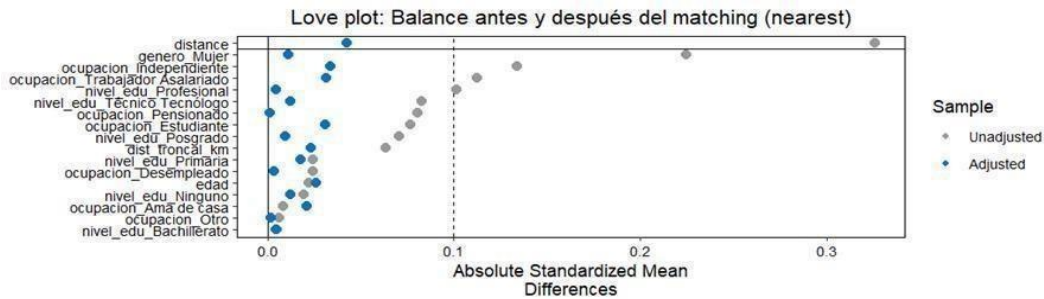
4. Resultados

Se encuentra que el soporte común es plausible debido a la presencia de solapamiento entre la distribución de probabilidad de las personas que utilizan Transmilenio como medio principal de transporte y los que no, tal como se aprecia de manera empírica en la Figura 1, y se entiende como una muestra restringida suficientemente grande para poder realizar la regresión.

Figura 1. Demostración empírica del supuesto de soporte común en la muestra.



Se pone en relieve que el balance de las covariables también resultó como se esperaba teniendo en cuenta que el método de matching aplicado logró eliminar casi por completo las diferencias iniciales en las covariables entre los grupos tratado y de control, tal como se aprecia en la Gráfica 2. Esto significa que, después del matching, ambos grupos son más comparables en términos de características observadas, reduciendo diferencias iniciales en las covariables incluidas en el modelo. En consecuencia, las diferencias observadas en satisfacción reportada pueden interpretarse como comparaciones ajustadas entre individuos observacionalmente similares.

Figura 2. Balance de covariables antes y después de la aplicación del método.

Dado que se identificó evidencia de autocorrelación espacial en la variable de resultado ($y_i = \text{satisfacción de movilidad con el modo de transporte principal}$), se calcularon dos estadísticas de Moran I utilizando diferentes matrices de pesos espaciales: una de vecinos más cercanos (KNN, $k=5$) y otra basada en distancia geográfica (500 metros). Los resultados, altamente significativos, evidencian que la percepción de movilidad presenta dependencia espacial, lo que sugiere la presencia de dependencia espacial en la percepción reportada de movilidad. Con base en esto, se introdujo una variable espacial de control: la proporción de vecinos tratados (neighbors_treated_knn). Esta variable resume la intensidad del tratamiento en el entorno inmediato, y permite capturar parte de la heterogeneidad no observable ligada a la localización geográfica.

Tabla 1. Comparación del Test de Moran para la variable satisfacción de movilidad con el modo de transporte principal usando dos matrices espaciales.

Método	Moran_I	Esperanza	Varianza	Z	p_valor
KNN (k=5)	0.0451	-5.443362e-05	1.212545e-05	12.9784	8.114573e-39
Distancia (500m)	0.0351	-5.449294e-05	1.852537e-06	25.7975	4.732912e-147

A continuación, se muestra la tabla con los coeficientes estimados de la primera etapa estimando el modelo logit:

Sara Rocío Rojas Gómez
 María Paula Álvarez Herrera
 Lina María Álvarez Ardila

Tabla 2. Modelo Logit para el Propensity Score Matching.

	treatment
edad	0.008***
generoMujer	-0.083
nivel_eduNinguno	0.619*
nivel_eduPosgrado	0.603
nivel_eduPrimaria	0.105
nivel_eduProfesional	0.541***
nivel_eduTécnico Tecnólogo	0.471***
ocupacionDesempleado	-0.510***
ocupacionEstudiante	-0.238
ocupacionIndependiente	0.193*
ocupacionOtro	-0.500
ocupacionPensionado	-0.438**
ocupacionTrabajador Asalariado	0.345***
dist_troncal_km	0.222***
neighbors_treated_km	0.842***
Constant	-21.806
Observaciones	18,372
Log Likelihood	-3,601.549
Akaike Inf. Crit.	7,247.097
Nota:	*p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01

Como prueba de sensibilidad frente a la especificación del modelo binario utilizado para estimar el puntaje de propensión, se comparó el modelo logit con una especificación probit. Los resultados muestran que el modelo logit presenta un AIC ligeramente menor que el modelo probit (7247,10 frente a 7248,53), mientras que los puntajes de propensión estimados por ambas especificaciones son prácticamente equivalentes, con una correlación cercana a uno y una diferencia media absoluta de 0,0008. Por esta razón, se conserva el modelo logit como especificación principal para la estimación del puntaje de propensión.

Este modelo muestra que factores como la edad, el nivel educativo (especialmente contar con educación profesional o técnica), y estar empleado como trabajador asalariado se asocian positivamente con la probabilidad de usar Transmilenio. El comportamiento de la variable de la distancia a la troncal en kilómetros, tal como se muestra en el Anexo 1 aunque más personas viven cerca de la troncal y usan otros medios, el modelo Logit muestra que, controlando por características individuales, quienes viven más lejos tienen mayor probabilidad de usar Transmilenio, posiblemente

por depender más del sistema troncal para viajes largos. Esto es coherente con el diseño del sistema y la existencia de rutas alimentadoras. Llama la atención el coeficiente significativo de la variable *neighbors_treated_knn*, que indica que las personas rodeadas de más usuarios de Transmilenio tienen mayor probabilidad de usarlo, lo que es consistente con la existencia de patrones espaciales asociados a la elección modal.

Luego de estimar el Propensity Score, se aplicó una restricción al soporte común, es decir, se excluyeron aquellas observaciones cuyo puntaje de propensión no tenía contrapartida válida en el grupo de comparación. Esta restricción es esencial para garantizar comparabilidad entre tratados y controles, evitando extrapolaciones fuera del rango común de covariables. Como resultado, la muestra final utilizada en el análisis fue de 9008 individuos, lo cual representa un alto porcentaje de la muestra original y demuestra que hay un buen traslapo en las características de los grupos.

Posteriormente, se implementó un emparejamiento tipo Kernel Matching, que utiliza todos los individuos del grupo de control, ponderados según la proximidad de sus Propensity Scores al de los tratados. Este procedimiento permite utilizar un mayor número de observaciones del grupo de control, ponderadas según la cercanía de sus puntajes de propensión respecto a los individuos tratados, reduciendo pérdidas de información derivadas de restricciones estrictas de emparejamiento, a diferencia de métodos como Nearest Neighbor.

Tabla 3. ATT estimado con Matching Kernel y Bootstrapping

	ATT	Error Estándar	IC 95 %
Estimación puntual	0.235	0.016	[0.109, 0.276]

El resultado fue una diferencia promedio ajustada (ATT) de 0.235, con un error estándar de 0.016. El estadístico t asociado es superior a 14 y el p-valor es menor a 0.001, lo que indica diferencias estadísticamente significativas entre los grupos comparados. En promedio, los usuarios de Transmilenio reportan niveles de satisfacción con

Sara Rocío Rojas Gómez
 María Paula Álvarez Herrera
 Lina María Álvarez Ardila

la movilidad aproximadamente 0.24 puntos superiores (en una escala de 1 a 5) frente a individuos observacionalmente similares que utilizan otros modos de transporte.

Estos resultados deben interpretarse como diferencias promedio ajustadas condicionadas a las covariables incluidas en el modelo y no como evidencia concluyente de un efecto causal, dado que el diseño se basa en datos observacionales y no permite descartar completamente la existencia de factores no observados asociados simultáneamente con la elección modal y la satisfacción reportada. Además, se evaluó el balance de covariables antes y después del emparejamiento, encontrando mejoras sustanciales en la mayoría de las variables.

Por ejemplo, la diferencia estandarizada de medias para la variable edad se redujo de 5.56 a -1.30, y para Ocupación (Desempleado) pasó de -18.14 a -2.61. Las razones de varianzas se aproximaron a 1 tras el emparejamiento y los p-valores de las pruebas t aumentaron significativamente, indicando que las diferencias entre grupos tratados y de control se atenuaron. Esto respalda que el emparejamiento logró un equilibrio adecuado entre grupos y que el ATT estimado no se ve distorsionado por diferencias sistemáticas. Esto respalda que el emparejamiento redujo diferencias observables entre los grupos comparados y mejora la comparabilidad de las estimaciones obtenidas.

Tabla 4. Balance de covariables antes y después del emparejamiento.

Variable	Diff. Std. Antes	Diff. Std. Después	Var Ratio Después
Edad	5.56	-1.30	0.97
Género (Mujer)	-3.18	-1.10	1.00
Nivel educativo (Ninguno)	3.91	0.37	1.04
Nivel educativo (Profesional)	10.77	-2.99	0.93
Ocupación (Desempleado)	-18.15	-2.61	0.90
Ocupación (Estudiante)	-13.89	2.06	1.10
Ocupación (Trabajador asalariado)	12.39	-1.42	1.00
Distancia a la troncal	14.99	6.70	1.10
Vecinos tratados (KNN)	21.60	-6.89	0.83

4.1 Pruebas de Robustez

El modelo también fue sometido a una validación de robustez mediante bootstrapping con 500 repeticiones. Lo utilizamos porque el estimador obtenido mediante PSM no

depende únicamente de una regresión paramétrica, sino de un proceso en dos etapas: primero, la estimación del puntaje de propensión y, posteriormente, el emparejamiento y cálculo del ATT. Por esta razón, el bootstrapping incorpora la variabilidad asociada tanto a la estimación de la probabilidad de usar Transmilenio como modo principal de transporte como al proceso de emparejamiento entre usuarios de Transmilenio y usuarios comparables de otros modos. En cada repetición se remuestran observaciones de la base, se reestima el modelo Logit del propensity score y se calcula nuevamente el ATT sobre la satisfacción reportada. El intervalo de confianza obtenido $[0,109 - 0,276]$ es estrecho y es consistente con la estimación puntual, lo que aporta evidencia adicional sobre la precisión y estabilidad del efecto estimado.

4.2 Limitaciones y mejoras metodológicas

A pesar de estos resultados positivos, algunas variables, como el de alcanzar un nivel educativo referente a posgrado, ser pensionados o las personas cercanas a usuarios de Transmilenio por el emparejamiento de Kernel, mantienen diferencias residuales después del Matching. Esto podría reflejar limitaciones del modelo Logit para capturar relaciones no lineales complejas, o la presencia de heterogeneidad estructural difícil de balancear.

Como mejora metodológica, se podría explorar el uso de la variable distancia a la troncal como variable instrumental para abordar posibles problemas de endogeneidad asociados a la elección del uso recurrente o no uso de cierto modo de transporte y la satisfacción. Así mismo, el uso de Propensity Score estimado con modelos no paramétricos, como *Random Forests* o emparejamiento con mayor flexibilidad (ejemplo de ello podría ser: *Matching con restricciones geográficas más estrictas*) y sería pertinente complementar con estimaciones de sensibilidad al sesgo por variables no observadas, como el método de Rosenbaum.

Adicionalmente, se sugiere para próximas investigaciones incluir la variable ingreso al estudio, ya que se considera relevante en la interpretación de los datos y su correlación con el motivo de uso de los distintos modos de transporte.

5. Conclusiones

Los resultados muestran diferencias estadísticamente significativas en la percepción reportada de movilidad entre usuarios de Transmilenio y usuarios comparables de otros modos de transporte. En promedio, los usuarios de Transmilenio reportan mayores niveles de satisfacción con la movilidad urbana frente a individuos observacionalmente similares pertenecientes al grupo de comparación. Estos resultados se obtienen a partir de una estrategia observacional basada en modelos Logit, controles espaciales y emparejamiento con ponderaciones Kernel, orientada a mejorar la comparabilidad entre grupos a partir de covariables observables.

Desde un punto de vista metodológico, este estudio evidencia la relevancia de incorporar variables espaciales tanto en la estimación del Propensity Score como en la evaluación del balance de covariables, debido a la existencia de heterogeneidades territoriales y patrones espaciales asociados a la movilidad urbana. Asimismo, la validación mediante procedimientos de Bootstrapping aporta evidencia sobre la estabilidad estadística de las diferencias promedio ajustadas estimadas.

Desde la perspectiva de política pública, los hallazgos sugieren que los sistemas de transporte masivo pueden estar asociados no solo con mejoras operativas relacionadas con tiempos de desplazamiento, sino también con diferencias favorables en la percepción reportada de movilidad por parte de los usuarios. Esto resulta relevante en un contexto donde la satisfacción con el transporte público constituye un componente importante de la experiencia urbana y del acceso cotidiano a oportunidades dentro de la ciudad (Guirao et al., 2016).

Estos resultados adquieren especial importancia en escenarios donde la percepción negativa del transporte público ha sido identificada como una limitación para la accesibilidad y la equidad urbana (Bocarejo y Oviedo, 2012). En este sentido, mayores niveles de satisfacción reportada podrían asociarse con un uso más sostenido del sistema y con una mejor valoración ciudadana de las inversiones en infraestructura de transporte. No obstante, debido al carácter observacional de los datos utilizados, estas relaciones deben interpretarse con cautela y condicionadas a las covariables incluidas en el análisis.

A partir de lo anterior, se sugiere orientar futuras estrategias de política pública bajo enfoques territoriales y diferenciales. Por ejemplo, podrían priorizarse intervenciones en corredores o zonas donde las diferencias observadas en percepción de movilidad entre usuarios de Transmilenio y otros modos resulten más pronunciadas, con el fin de mejorar la experiencia de viaje y las condiciones de accesibilidad urbana. Asimismo, la evidencia de diferencias en el perfil sociodemográfico de los usuarios sugiere la pertinencia de explorar mejoras específicas en calidad del servicio y accesibilidad para determinados grupos poblacionales.

Finalmente, se recomienda que futuras investigaciones profundicen en la relación entre movilidad urbana, percepción ciudadana y calidad de vida, incorporando nuevas variables socioeconómicas y diseños metodológicos que permitan abordar de manera más robusta posibles problemas asociados a factores no observados y dinámicas espaciales complejas.

6. Referencias

1. Alcaldía Mayor de Bogotá. (s.f.). Trazadores troncales de Transmilenio. Datos Abiertos Bogotá. <https://datosabiertos.bogota.gov.co/dataset/corredores-troncales-de-transmilenio>.
2. Bocarejo, J. P., y Oviedo, D. R. (2012). Transport accessibility and social inequities: A tool for identification of mobility needs and evaluation of transport investments. *Journal of Transport Geography*, 24, 142–154. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2011.12.004>
3. Chaparro, I. (2002). *Evaluación del impacto socioeconómico del transporte urbano en la ciudad de Bogotá: el caso del sistema de transporte masivo Transmilenio* (Serie Recursos Naturales e Infraestructura). Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). <https://hdl.handle.net/11362/6408>
4. Chavarro, N. (2024). *Transmilenio y ciudadanos sostenibles: tejiendo un futuro de movilidad consciente y comprometida con el corazón de la ciudad* [Tesis de Especialización, Universidad EAN]. <http://hdl.handle.net/10882/13710>

Sara Rocío Rojas Gómez
 María Paula Álvarez Herrera
 Lina María Álvarez Ardila

5. Fajardo Vergel, J. S. (2024). *Implementación de indicadores energéticos al sistema de transporte público masivo de Bogotá – TransMilenio* [Tesis de Grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <http://hdl.handle.net/11349/42217>
6. Guirao, B., García-Pastor, A., & López-Lambas, M. E. (2016). The importance of service quality attributes in public transportation: Narrowing the gap between scientific research and practitioners' needs. *Transport Policy*, 49, 68–77. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2016.04.003>
7. Heredia, J. (2015). *Modelo de satisfacción de los usuarios de transporte público tipo bus integrando variables latentes* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. https://www.researchgate.net/publication/368273593_Modelo_de_satisfaccion_de_los_usuarios_de_transporte_publico_tipo_bus_integrando_variables_latentes
8. Hidalgo, D., Pereira, L., Estupiñán, N., y Jiménez, P. L. (2013). TransMilenio BRT system in Bogota, high performance and positive impact – Main results of an ex-post evaluation. *Research in Transportation Economics*, 39(1), 133–138. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2012.06.005>
9. Perdomo, J., Castañeda, H., Mendieta, J. y Hueth, D. (2010). *Evaluación de impacto de las fases I y II del sistema de transporte masivo TransMilenio sobre el tiempo total de desplazamiento de los usuarios del transporte público tradicional en Bogotá*. (Documento CEDE). Universidad de los Andes, Facultad de Economía, CEDE. <https://hdl.handle.net/1992/8157>
10. Perdomo, J. y Moreno, R. (2010). *Una propuesta metodológica para estimar los cambios sobre el valor de la propiedad: estudio de caso para Bogotá aplicando propensity score matching y precios hedónicos espaciales*. (Documento CEDE). Universidad de los Andes, Facultad de Economía, CEDE. <https://hdl.handle.net/1992/8189>
11. Rosenbaum, P. R., y Rubin, D. B. (1983). The central role of the propensity score in observational studies for causal effects. *Biometrika*, 70(1), 41–55. <https://www.jstor.org/stable/2335942>
12. Riaño, J. (2025, 14 de marzo). *TransMilenio tendrá botón de pánico para denunciar acoso: conozca dónde se encuentra*. Tropicana Colombia. <https://www.tropicanafm.com>

com/2025/transmilenio-tendra-boton-de-panico-para-denunciar-4coso-conozca-donde-se-encuentra-430890.html

13. Tafur, D. (2020). *Influencia de la implementación de un sistema BRT en la calidad del aire: caso de estudio Bogotá*. Universidad de los Andes. <https://hdl.handle.net/1992/51414>
14. Tyrinopoulos, Y., & Antoniou, C. (2008). Public transit user satisfaction: Variability and policy implications. *Transport Policy*, 15(4), 260–272. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2008.06.002>

Anexos

Anexo 1. Estadísticas descriptivas para el grupo total

Tabla A1. Elaboración propia. Datos tomados de la Encuesta de Percepción de la Movilidad y Entornos Urbanos (Cámara de Comercio de Bogotá, 2024), junto a bases de datos que georreferencian las troncales de Transmilenio (Alcaldía Mayor de Bogotá., s.f.).

Edad Promedio	Edad DS	Edad Mediana	Dist. Promedio (Km)	Dist. DS	Dist. Mediana	y. Promedio	y. DS	y. Mediana	Género	Nivel Educativo	Ocupación
44.79	16.82	43	0.96	0.90	0.65	3.16	1.02	3	Hombre (49.28%) Mujer (50.72%)	Bachillerato (47.07%) Ninguno (1.33%) Posgrado (1.36%) Primaria (14.97%) Profesional (18.55%) Técnico/Tecnólogo (21.82%)	Amo de casa (10.77%) Desempleado (4.04%) Estudiante (3.33%) Independiente (37.64%) Otro (0.58%) Pensionado (4.29%) Trabajador Asalariado (29.33%)

Figura A1. Elaboración propia. Estadística descriptiva del grupo total después de discriminación por tipo de medio de transporte.



