

Documentos CEDE

ISSN 1657-5334

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

Jorge Andrés Perdomo Calvo
Hasbleidy Castañeda
Juan Carlos Mendieta López

11

ABRIL DE 2010

Serie Documentos Cede, 2010-11
ISSN 1657-5334

Abril de 2010

© 2010, Universidad de los Andes–Facultad de Economía–Cede
Calle 19A No. 1 – 37, Bloque W.
Bogotá, D. C., Colombia
Teléfonos: 3394949- 3394999, extensiones 2400, 2049, 3233
infocede@uniandes.edu.co
<http://economia.uniandes.edu.co>

Ediciones Uniandes
Carrera 1ª Este No. 19 – 27, edificio Aulas 6, A. A. 4976
Bogotá, D. C., Colombia
Teléfonos: 3394949- 3394999, extensión 2133, Fax: extensión 2158
infeduni@uniandes.edu.co

Edición, diseño de cubierta, pre prensa y prensa digital:
Proceditor Ltda.
Calle 1ª C No. 27 A – 01
Bogotá, D. C., Colombia
Teléfonos: 2204275, 220 4276, Fax: extensión 102
proceditor@etb.net.co

Impreso en Colombia – *Printed in Colombia*

El contenido de la presente publicación se encuentra protegido por las normas internacionales y nacionales vigentes sobre propiedad intelectual, por tanto su utilización, reproducción, comunicación pública, transformación, distribución, alquiler, préstamo público e importación, total o parcial, en todo o en parte, en formato impreso, digital o en cualquier formato conocido o por conocer, se encuentran prohibidos, y sólo serán lícitos en la medida en que se cuente con la autorización previa y expresa por escrito del autor o titular. Las limitaciones y excepciones al Derecho de Autor, sólo serán aplicables en la medida en que se den dentro de los denominados Usos Honrados (Fair use), estén previa y expresamente establecidas; no causen un grave e injustificado perjuicio a los intereses legítimos del autor o titular, y no atenten contra la normal explotación de la obra.

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

Jorge Andrés Perdomo Calvo* †,
jor-perd@uniandes.edu.co

Hasbleidy Castañeda†
h.castaneda61@uniandes.edu.co

Juan Carlos Mendieta López‡,
jmendiet@uniandes.edu.co

Resumen

El transporte público de Bogotá, durante décadas, ha representado uno de los grandes problemas por resolver en la ciudad. Con el fin de mejorar su eficiencia, fue implementado el sistema de transporte masivo TransMilenio (TM); cuyo objetivo principal, consiste en disminuir el tiempo total de viaje (acceso, espera y desplazamiento dentro del vehículo) para los usuarios. Por consiguiente, el presente trabajo busca evidenciar esta premisa empleando la metodología no paramétrica Propensity Score Matching (PSM, *nombre y sigla en inglés*); a partir de los datos compilados en la encuesta de movilidad bogotana, realizada durante 2005. Esta técnica, permitió comparar el promedio del tiempo total de viaje en dos grupos de individuos con características socioeconómicas homogéneas, diferenciados por el modo de transporte utilizado.

El soporte común de ambas muestras, manejado en PSM, se estableció bajo el criterio que tiene cada individuo para acceder al sistema TransMilenio o transporte público colectivo (TPC), dado que la decisión de realizar el viaje es mutuamente excluyente y gozan con el privilegio de los dos servicios simultáneamente o misma probabilidad de consumirlos. De esta forma, el grupo de tratamiento es representado por las personas encuestadas que se transportan en TM y a su vez tienen la misma oportunidad de tomar TPC para desplazarse; y el grupo de control, se constituyó de aquellos entrevistados trasladados en TPC y cuentan con la alternativa de realizar su viaje en TM.

Entre los principales resultados, se destaca que el sistema TransMilenio ha reducido el promedio del tiempo total de viaje entre 11,92 y 13,89 minutos, para un usuario de TM; estos valores, equivalen a una disminución del 19% aproximadamente. El mayor impacto, fue observado sobre los individuos de estratos uno y dos, quienes obtuvieron una reducción de 24,5%; dado que realizan sus desplazamientos en TM.

Palabras clave: Evaluación de Impacto, TransMilenio, transporte público colectivo, tiempo total de viaje, tiempo de espera, tiempo de acceso, soporte común, grupo de tratamiento y control, Propensity Score Matching.

Clasificación JEL: C14, L92, C25, C52, R41, R48.

* Corresponde a los autores: agradecemos la valiosa colaboración del profesor de la Facultad de Economía de la Universidad de la Salle Ricardo Moncada.

† Facultad de Economía, Universidad de los Andes, Colombia, e-mail: jor-perd@uniandes.edu.co

† Facultad de Economía, Universidad de los Andes, Colombia, e-mail: h.castaneda61@uniandes.edu.co

‡ Profesor investigador (jmendiet@uniandes.edu.co), facultad de Economía, Universidad de los Andes, Colombia, Centro de Estudios sobre Desarrollo Económico (CEDE); A.A. 4976, Bogotá, D.C.; Colombia. URL: <http://economia.uniandes.edu.co>

IMPACT EVALUATION OF THE PHASES I AND II OF THE TRANSMILEMIO MASS PROJECT ON THE TOTAL TRAVEL TIME OF THE USERS OF THE TRADITIONAL PUBLIC TRANSPORT IN BOGOTÁ

Abstract

For decades, public transport has been one of the major problems faced by Bogota city. TransMilenio, the massive transport system, was introduced seeking for an improvement in public transport's efficiency and productivity, and its main purpose is to achieve a reduction in the passenger's total travel time. This paper contributes to the study of TransMilenio's impact over the passenger's total travel time. Using the "Propensity Score Matching" model and the data available in the Mobility Survey (2005), the total travel time of two groups with similar socioeconomic characteristics but different type of transportation will be compared. Every individual in the sample has access to TransMilenio system and traditional public transport; this generates a common support which makes it possible to evaluate de impact. The main conclusion is that travel time decreases between 11.92 and 13.86 minutes, values that correspond to a reduction of approximately 19% in the passenger's total travel time. The major impact observed, takes place in the individuals of 1st and 2nd strata, who present a reduction of 24.5%.

Key words: Impact Evaluation, TransMilenio, traditional public transport, total travel time, waiting time, walking time, common support, Propensity Score Matching.

JEL Classification: C14, L92, C25, C52, R41, R48.

Introducción

Según el Ministerio de Transporte (2008), la actividad es reconocida como un sector estratégico que contribuye al desarrollo económico y social. De esta manera, un sistema de transporte capaz de proveer movilidad y accesibilidad eficiente para todos los habitantes en una sociedad, promueve el crecimiento, alivia pobreza y genera integración social; propiciando condiciones de desarrollo. Sin embargo, factores como aumentos demográficos en zonas urbanas, falta de planificación en el crecimiento de las grandes ciudades e incrementos en los índices de motorización, han causado grandes impactos y retos dentro del sector.

De igual manera, las actividades económicas más productivas o representativas de Bogotá están ubicadas en centros urbanos, concentrando la generación de riqueza y fomentando nuevas necesidades de suministrar servicios públicos, transporte y facilidades de movilidad. Es así, como actualmente se presenta una alta demanda por transporte público y privado, que promueve fuertes presiones para mejorar la cobertura y eficiencia del servicio.

Ante esto, durante décadas el sistema de transporte público en Bogotá se caracterizó por "la presencia de fallas de mercado que se tradujeron en ineficiencias en la provisión del servicio, congestión, altas tasas de accidentalidad, contaminación y prolongados tiempos de viaje"¹. Circunstancia, que ha llevado a realizar diversos estudios en el tema y donde se han obtenido resultados desalentadores con respecto a la eficiencia del sistema de transporte público. Comprobando la poca contribución del sector en el bienestar de los ciudadanos, Chaparro (2002).

Razón por la cual, el diseño de TransMilenio (TM) responde a las fallas de mercado descritas y su funcionamiento debe propender a mejorar la productividad del transporte, como instrumento para aumentar la sostenibilidad y eficiencia de Bogotá. Así, su objetivo principal consiste en disminuir el tiempo total de viaje (acceso, espera y desplazamiento dentro del vehículo) de los usuarios; que conlleve a reducir niveles de inequidad entre los individuos con y sin vehículo privado para transportarse.

De acuerdo con lo anterior y según Echeverry et al. (2005), "el tiempo de viaje es uno de los elementos más valorados por los usuarios del transporte, y los ahorros que se pueden lograr en éste, son a menudo la justificación primaria para mejorar la infraestructura de transporte"². Igualmente, menores lapsos de viaje se traducen en una mejor asignación del tiempo destinado a labores productivas como: estudiar, trabajar u ocio.

Por lo expuesto y dada la importancia del tiempo de viaje en economía de transporte y del servicio en el desarrollo social y económico, este trabajo tiene como objetivo principal evaluar el impacto de TM sobre el tiempo total de desplazamiento de los usuarios del transporte público tradicional en Bogotá; mediante la metodología no paramétrica Propensity Score Matching (PSM, nombre y sigla en inglés), a partir de la encuesta de movilidad realizada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) durante 2005.

Específicamente, se determinará si existe diferencia significativa entre el tiempo de viaje de los individuos usuarios de TM y otros que utilizan el sistema de transporte público colectivo (TPC); ambos grupos tienen características socioeconómicas y ubicaciones geográficas similares. No obstante, cuentan con igual oportunidad de acceder a los dos medios de transporte; así, se comprobará si el impacto de TM disminuyó el tiempo total de desplazamiento.

Sin embargo, se han realizado estudios sobre el impacto de TransMilenio en la reducción del tiempo de viaje, atribuyendo los efectos positivos al aumento de la velocidad operativa del sistema. Pero, estos trabajos fueron utilizados con datos de campo limitados a ciertos sectores y fuentes de información no comparables, lo que posiblemente causa sesgos en la estimación. A partir de la

¹ Echeverry, Juan C. Ibáñez, Ana M. y Moya Andrés (2005).

² Victoria Transport policy Institute. Transportation cost and benefit analysis-Travel time and costs. Disponible en www.vtppi.org.

encuesta de Movilidad (2005), este artículo expone la evaluación que permite obtener evidencia de los impactos de TM sobre el tiempo total de viaje de los usuarios.

Con el fin de cumplir el objetivo del estudio, el documento se encuentra dividido en nueve secciones. Donde, la sección I corresponde a la introducción; en la segunda se plantean los antecedentes, presentando una breve descripción del sistema de transporte público colectivo y masivo TransMilenio. La sección III, contiene una revisión bibliográfica de los estudios realizados sobre los impactos socioeconómicos de TransMilenio. En la sección IV y V se especifican el marco teórico y metodológico. La descripción de los datos se encuentra en la sección VI; la sección VII, corresponde a un análisis gráfico del soporte común. Los resultados y sus respectivos análisis se exponen en la sección VIII. Finalmente, la sección IX exhibe las conclusiones y recomendaciones.

I. Breve descripción del sistema de transporte público colectivo y TransMilenio

El sistema de transporte público tradicional de pasajeros en Bogotá ofrece diferentes alternativas a los usuarios como bus, buseta, microbús y TransMilenio. Cada uno de estos modos, tiene características particulares que determinan la operación y funcionamiento del sistema. A continuación se realiza una breve descripción del sistema de transporte público colectivo (TPC) y TransMilenio (TM).

Sistema de transporte público colectivo³

Según el Ministerio de Transporte (2008), el sistema de transporte público colectivo (TPC) en Bogotá se ha caracterizado por presentar bajas velocidades de operación, altos índices de congestión, inseguridad, accidentalidad y contaminación. Igualmente, esta ineficiente operación del TPC genera externalidades negativas sobre la calidad de vida y productividad urbana. Este sistema, es operado y apropiado privadamente por buses en el tráfico mixto (distintos vehículos particulares y públicos), generando a su vez un problema de agente principal; propiciado de la divergencia de incentivos que deben enfrentar dueños de buses y conductores. Esto, se traduce en la denominada guerra del centavo, que consiste en prácticas de conducción agresiva entre conductores de buses, sobre las rutas, con el fin de recoger la mayor cantidad de pasajeros posibles⁴.

El TPC es amplio, disperso y tiene impactos contradictorios en los niveles de servicio; por un lado, dada la oferta generada existente y rutas compartiendo similares recorridos, la cobertura y frecuencia son buenos atributos del servicio. De igual manera, el sistema permite a los usuarios tomar el bus en cualquier lugar de la vía, lo que disminuye tiempos de acceso con respecto al sistema de transporte masivo TransMilenio. Sin embargo, este sistema representa bajos niveles de confiabilidad, seguridad y comodidad para sus usuarios⁵.

Sistema de Transporte Masivo TransMilenio

TransMilenio constituye un sistema de transporte masivo que opera en forma privada buses articulados de alta capacidad. Su infraestructura, consta de carriles exclusivos conocidos como rutas troncales que son segregados del tráfico, estaciones exclusivas, terminales al final de las troncales, zonas de mantenimiento y parqueo, y un sistema central de monitoreo de la operación. Cada lugar de parada del bus, se encuentran serado aproximadamente en un promedio de 700 metros y tienen un largo alrededor de 50 a 200 metros (IDU y TransMilenio S.A., 2003).

Adicionalmente al sistema troncal, se encuentran las rutas alimentadores que cubren trayectos en el tráfico mixto y están conectados con las troncales. La localización de los recorridos del sistema,

³ Para efectos del presente trabajo, se entenderá el transporte público colectivo como el sistema comprendido por buses, busetas y microbuses públicos.

⁴ En el sistema de transporte público tradicional, los ingresos de los conductores de los buses dependen directamente del número de pasajeros que recogen, esta es la principal razón por la cual se presenta el problema de principal agente y denominada "guerra del centavo".

⁵Ministerio de Transporte (2008).

fueron diseñados para atender áreas que poseen alta generación y atracción de viajes, comunicando a la mayor parte de los habitantes pertenecientes al estrato uno, dos y tres con los centros de negocios, comerciales, industriales, servicios e institucionales de la ciudad (Chaparro, 2002).

Por su parte, varias estadísticas y estudios han demostrado los beneficios de TransMilenio, incluyendo disminuciones en las externalidades de congestión, contaminación, inseguridad (Moreno, 2004), tasas de accidentalidad en sus corredores y aumento de la velocidad operativa (Echeverry et al. 2005), cambios de uso en el suelo y valorización de propiedades (Mendieta y Perdomo, 2007 y Perdomo et al., 2007).

El sistema empezó a operar en Diciembre del 2000 con las troncales de la Avenida Caracas y Calle 80; a mediados del año 2001 se extendió con la tercera troncal sobre la Autopista Norte y en 2002 finalizó la Fase I del proyecto con la prolongación por la Avenida Jiménez. En Diciembre de 2003, entró en operación la Fase II del sistema con la troncal Calle 13, Avenida de las Américas y corredor vial hacia la localidad de Kennedy; que integró al ramal del Eje Ambiental. El 1 de Julio de 2005, se entregó la línea Norte-Quito-Sur y en Abril de 2006 entró en operación la Avenida Suba. Actualmente, se está iniciando la construcción de la troncal de la Calle 26 y Carrera 10ª; que hacen parte de la Fase III del sistema.

II. Estudios realizados sobre los impactos socioeconómicos de TransMilenio

Actualmente existen estudios con aplicaciones estadísticas y analíticas para evidenciar el impacto socioeconómico de TM. Por esto, a continuación se hace énfasis de trabajos efectuados a nivel nacional, utilizando distintas metodologías. De esta forma, Chaparro (2002) realizó una evaluación del impacto de la Fase I de TransMilenio sobre el tiempo de viaje para los usuarios del sistema, encontrando un ahorro considerable.

El ahorro, contempló el tiempo de recorrido durante el viaje, espera, caminata y transbordo; los resultados surgen de evaluar la diferencia entre una situación con y sin proyecto, basada en las estimaciones realizadas por Steer, Davies & Gleave (1999) e información sobre indicadores de operación del sistema TransMilenio a noviembre de 2001. Chaparro, encontró para todos los pasajeros del sistema en conjunto una reducción de 803.997 horas por día en la duración del recorrido. Sin embargo, el tiempo de espera, caminata y transbordó presentó un aumento de 11.466 horas por día, lo que demuestra que existe beneficios en tiempo de viaje y desmejora en los otros lapsos.

Por su parte, Echeverry et al. (2005) realizaron una evaluación económica del sistema TransMilenio, quienes plantearon un análisis costo beneficio del sistema para justificar los resultados. Concluyeron, que la primera fase del sistema TransMilenio tuvo un impacto sobre los usuarios al mejorar la provisión del servicio mediante la reducción en el tiempo de viaje, aumento de la calidad y eficiencia del servicio, y atenuación de las externalidades (congestión y contaminación) sobre corredores donde opera TM.

Con respecto a los beneficios para usuarios de TM, exponen los efectos encontrados por Hidalgo (2002) sobre la disminución del 32% en tiempo de viaje y el aumento de 16,8 millas a 20 millas por hora en la velocidad promedio de los vehículos. Igualmente, el porcentaje de individuos que gastaban más de una hora viajando desde su casa al trabajo disminuyó de 23% a 17%. Con los resultados, del análisis costo beneficio realizado por Echeverry et al., mostraron que una vez se incorporaban las externalidades de congestión sobre los corredores no cubiertos por TransMilenio, el efecto neto del proyecto es negativo; principalmente por el aumento en el tiempo de viaje de los usuarios del sistema colectivo tradicional.

Por otra parte, Hidalgo (2002) cuantificó algunos de los impactos a nivel agregado de TransMilenio y encontró una reducción del 32% en la duración del trayecto para usuarios del nuevo sistema. Igualmente en los resultados del estudio, el 83% de los encuestados declararon que la principal razón por la cual usaban TM eran los ahorros en el tiempo de viaje.

Lleras (2003), también analizó el efecto de TransMilenio sobre el comportamiento del valor subjetivo del tiempo de viaje, aplicando dos metodologías. La primera, fue una modelación estructural de ecuaciones y la segunda modelos de elección discreta. De igual manera, utiliza dos bases de datos que difieren en tamaño, objetivos y métodos; por tanto la comparación no puede ser directa. Lo anterior, permite presumir que los resultados posiblemente son sesgados.

Los datos utilizados por Lleras, en la situación inicial, corresponden a la encuesta de hogares realizada para el Plan Maestro de transporte en Bogotá (Japan International Cooperation Agency, JICA, 1996, nombre y sigla en inglés). En la segunda, situación con proyecto, los datos fueron obtenidos a partir de encuestas de preferencias reveladas; realizadas por TransMilenio S.A (Mayo, 2002). Lleras, concluye que TransMilenio ha reducido el tiempo de viaje de sus usuarios; pero estos beneficios, no han sido distribuidos equitativamente dentro de la población que se transporta en el medio público colectivo.

Para los usuarios que empiezan su viaje en las vecindades de los corredores exclusivos de TransMilenio, el sistema ofrece en promedio un ahorro del tiempo de 11,6 minutos por viaje. Atribuidos a las disminuciones en los tiempos de viaje al interior del vehículo, porque el de espera es aproximadamente el mismo y la compra del tiquete en TM implica siete minutos adicionales, contando desde la entrada hasta la salida de la estación.

Sin embargo, el tiempo de viaje para aquellos que deben acceder al sistema TM a través de los alimentadores, se prolonga en dos minutos; a favor del transporte público colectivo. La principal razón, es que las ganancias por reducción en la duración del recorrido al interior del vehículo de TM, son opacadas por las pérdidas en tiempos de espera y transbordo. De igual manera, Lleras estimó el valor subjetivo del tiempo para los usuarios del TPC y TM; concluyendo, que las personas movilizadas en TM incurrir en costos más bajos comparado con el valor del tiempo en el transporte público colectivo.

Como es evidente, existen una serie de estudios que han mostrado los impactos de TransMilenio sobre el tiempo de viaje de los usuarios del sistema. Sin embargo, los datos utilizados en el proceso de obtención de los resultados, posiblemente causan problemas de sesgo en las estimaciones realizadas debido a los errores de muestreo; porque, al emplear bases con información de diferentes tamaños y objetivos, la comparación directa de esta información no es posible.

Adicionalmente, los autores no emplearon ningún filtro para constatar la calidad de la información y evitar así heterogeneidad socioeconómica y geográfica (que pueden tener los encuestados), y poder conocer con certeza la posibilidad que tienen los individuos de acceder a los dos sistemas con la misma probabilidad; soporte común, el cual no fue comprobado y esto hace que las personas en la muestra no puedan ser comparadas directamente.

No obstante, estos trabajos son importantes como referentes iniciales en metodologías empleadas y resultados hallados en el tema. Aunque, esta investigación se diferencia de las realizadas por aprovechar métodos de evaluación de impacto (PSM, sigla en inglés) desarrollados, ejecutados y avalados internacionalmente; que pretenden conocer, si la ejecución de un proyecto ha sido favorable o desfavorable para la sociedad beneficiaria del mismo. Además, de contar con la información de la encuesta sobre movilidad realizada en el 2005 para Bogotá; ampliando la muestra y superando las dificultades de los datos utilizados en los estudios de Chaparro, Hidalgo y Lleras.

De este modo, la mayoría de estudios fueron realizados en 2002, cuando el sistema llevaba sólo dos años de operación; implicando evaluar solamente el impacto de la fase I de TransMilenio, mientras el presente estudio abarca cinco años de funcionamiento para TM en las dos fases iniciales del proyecto. Asimismo, los trabajos expuestos en esta sección han demostrado un aumento en la velocidad operativa del sistema y por consiguiente una disminución en el tiempo de viaje; sin embargo, los autores mencionan que el lapso de espera y acceso se han incrementado. Por esto, la evidencia con Propensity Score Matching (PSM, nombre y sigla en inglés) busca ampliar el

conocimiento de los efectos de TransMilenio sobre el tiempo total de desplazamiento para los usuarios, a partir de la encuesta sobre movilidad realizada durante 2005 en la ciudad.

Por otra parte, en el plano internacional se han realizado estudios sobre TM estimando beneficios ocasionados por el sistema como la valorización de predios cercanos al mismo, aplicando PSM y modelos hedónicos espaciales (Rodríguez y Mojica, 2008; Perdomo et al., 2007; Mendieta y Perdomo, 2007; y Rodríguez y Targa, 2004). Igualmente, el beneficio de otros sistema de transporte como el metro en Estados Unidos (Washington D.C. y Chicago; Vinha, 2005; y McMillen y McDonald, 2002; respectivamente) empleando PSM.

Estos trabajos, son importantes en el presente documento por la técnica PSM utilizada; pero a diferencia, es calculada la reducción en el tiempo de viaje por TM con PSM que no fueron efectuados en los estudios mencionados. No obstante, hasta el momento internacionalmente se han realizado cientos de trabajo calculando el valor subjetivo del tiempo, por un determinado medio de transporte, pero no la cuantificación del ahorro en la duración (minutos) del trayecto. Aunque, Walle y Cratty (2002) trabajaron en este tema aplicando PSM; cuando se mejoran el estado de la vías rurales en Vietnam.

El estudio de Walle y Cratty, es relevante para este trabajo dado que con PSM estiman un ahorro en tiempo de viaje equivalente a 46 minutos, por reformar el estado de las vías rurales en hogares (vietnamitas) beneficiarios del proyecto. Diferenciándolo del presente estudio, en los resultados de la misma variable por un adelanto en transporte masivo (TM) con una mejora en infraestructura (los carriles y estaciones del sistema).

III. Economía de transporte y ahorros en tiempo de viaje

La teoría microeconómica y de economía del transporte han abarcado el tema relacionado con demanda de transporte, definiéndolo como un bien de consumo intermedio para desarrollar otras actividades económicas y no como uno final, Pollack y Wales (1992). Es así, como el servicio surge de la necesidad que tienen los individuos de desplazarse para cumplir con sus actividades diarias, y de ahí derivar su demanda por transporte.

El consumo de transporte, tiene definidas otras variables determinantes diferentes al precio generalizado e ingreso. Es el caso de la velocidad, calidad, frecuencia, comodidad, confiabilidad y seguridad del servicio, (Mendieta et al., 2007). Un menor tiempo requerido para realizar el servicio de traslado, incentivará un mayor uso del sistema. De igual manera, la calidad motiva a los usuarios a incrementar la demanda de transporte.

En cuanto a la frecuencia, la planeación del transporte tiene que programar adecuadamente los tiempos de salida y llegada para asegurar la eficiencia del servicio. Si, se cuenta con pocos viajes y no se conoce con anticipación el horario origen destino, los usuarios pueden experimentar mayores tiempos de espera. El estándar del servicio, comodidad, seguridad y otros aspectos, relacionados con el diseño de rutas o instalaciones para acceder y esperar los vehículos, resultan relevantes en la determinación del viaje. Las variables descritas, son parámetros importantes para los usuarios de transporte y por tanto afectan la demanda del servicio.

Igualmente, el tiempo es una variable relevante en el análisis de economía del transporte; los individuos enfrentan una restricción temporal diaria de 24 horas y por consiguiente deben realizar una asignación de su dotación entre actividades productivas y ocio. Con el fin, de obtener la máxima utilidad posible; el viajero invierte un recurso escaso y no transferible en la producción del servicio de transporte, su propio tiempo es gastado sin posibilidad de una utilización alternativa (De Rus et al. 2003).

De esta manera, el tiempo del usuario es un factor importante en la producción de transporte que influye en la valoración del servicio, resultando determinante para su demanda. Equivalentemente, el costo de oportunidad del usuario lo refleja la multiplicación entre el tiempo de viaje y valor unitario monetario representativo para el consumidor. Permitiendo, establecer una relación directa entre este y la demanda de transporte.

Según De Rus et al. (2003), el tiempo total de viaje (t) invertido en cualquier desplazamiento se encuentra desagregado de acuerdo con las diferentes fases o etapas del trayecto. Suelen distinguirse, en tres componentes: el tiempo de viaje en el vehículo (t_v), tiempo de espera (t_e) y tiempos de acceso (t_a , t_a'), de manera que:

$$T = t_v + t_e + t_a + t_a' \quad (1)$$

El tiempo de viaje en el vehículo incluye el periodo transcurrido desde que el pasajero sube a TransMilenio hasta su abandono. Este componente, es determinado por la velocidad de TM y distancia entre origen y destino. Simultáneamente, la velocidad está afectada por las características técnicas del vehículo, razones económicas (relación gasto combustible y velocidad), limitaciones que impone la regulación y congestión.

El tiempo de espera, incluye el lapso transcurrido desde que el viajero está en una estación de TM dispuesto a abordar el vehículo, hasta cuando lo hace. Se encuentra determinado, principalmente por factores aleatorios, como el caso de adelantos o retrasos en las frecuencias de TM, o por la configuración de la red del sistema. Por último, los tiempos de acceso incluyen lo que tarda un individuo desde su punto de origen hasta el inicio del tiempo de espera (acceso a la estación de TM), y desde que culmina su tiempo de viaje hasta el destino final.

IV. Metodología analítica

Con el objetivo de evaluar el impacto de TransMilenio sobre la duración total de desplazamiento, para usuarios del transporte público tradicional en Bogotá, se empleará la técnica Propensity Score Matching (PSM, nombre y siglas en inglés). Según Cameron y Trivedi (2005), PSM es una metodología persuasiva y atractiva cuando se puede controlar por un amplio conjunto de variables independientes.

Esta metodología, consiste en un procedimiento de comparación no paramétrico, clasificado como un método de evaluación experimental que hace posible comparar los efectos generados por un proyecto sobre un grupo de individuos (grupo tratamiento); contrastado, con otro conjunto de personas (grupo de control) que tienen características socioeconómicas homogéneas y no han sido afectadas directamente por el proyecto, pero tuvieron la probabilidad de ser acogidas por el mismo (Aedo & Gonzalez 2002).

Así, partiendo de los datos obtenidos en la encuesta de movilidad realizada en 2005, es como se estimará el efecto causado por la construcción del sistema TransMilenio sobre el tiempo de desplazamiento de los individuos que hacen uso del mismo. La descripción metodológica, se realizará a partir de la propuesta de Heckman et al. (1997), planteada en la evaluación de impacto efectuada por Perdomo et al. (2007)⁶; bajo los siguientes supuestos:

1. Se asume ausencia de los resultados de equilibrio general, significa que los efectos de tratamiento son pequeños y no perturban el estado de otras variables tratadas como exógenas. (Cameron & Trivedi, 2005).
2. Supuesto de independencia condicional: la participación en el programa de tratamiento (acceder a TM) no depende del efecto, una vez controladas variaciones en los resultados inducidos por diferencias en características socioeconómicas y del viaje.
3. Todos los individuos de la muestra tienen la posibilidad de acceder a los dos medios de transporte⁷. De esta manera, existe un soporte común que hace posible la evaluación de impacto.
4. Existe un grupo de tratamiento y control, el primero corresponde a los individuos que hacen uso de TransMilenio ($D=1$), teniendo la posibilidad de acceder a los dos sistemas. El segundo,

⁶ Perdomo et al. (2007) realizaron un estudio del efecto del sistema de transporte masivo TransMilenio sobre el valor de las propiedades en Bogotá, haciendo uso de la metodología de Propensity Score Matching.

⁷ TransMilenio y el sistema de transporte público colectivo.

está determinado por las personas que pueden usar ambos modos, pero viajan en transporte público colectivo (D=0).

De esta forma, acorde con PSM y la teoría desarrollada sobre demanda de transporte, el acceso a TM depende de una serie de atributos del individuo y viaje; como la distancia recorrida. Así, cuando la persona cumple con ciertas características tendrá una mayor o menor probabilidad de hacer uso del sistema⁸. Por consiguiente, los modelos probabilísticos Probit y Logit deben estimarse previamente para estimar la probabilidad de tomar TM; teniendo en cuenta, que estos resultados son el punto de partida para usar Propensity Score Matching.

Los modelos Probit y Logit, se caracterizan por tener variable dependiente (y) binaria; entonces, cuando un individuo toma TM, a la variable se asigna el valor de uno (1), y cero (0) para el caso contrario (realiza el viaje en TPC). Como se mencionó, esta elección (TM, Prob(y=1)) depende de variables independientes (X) que describen las características socioeconómicas del individuo y viaje (véase ecuación dos).

$$Prob(y = 1) = F(X, \hat{a}), Prob(y = 0) = 1 - F(X, \hat{a}) \quad (2)$$

En la ecuación (2), el vector de coeficientes \hat{a} refleja el impacto de las variables independientes (X) sobre la probabilidad de hacer uso de TransMilenio (Prob(y=1)). Una vez estimada la probabilidad de que cada individuo tenga acceso a TM, mediante los modelos Probit o Logit, se continua el análisis de PSM, propuesta por Heckman et al. (1997). A partir de esta aproximación, el tiempo total de viaje de los individuos que efectivamente acceden a TransMilenio, es contrastado con el de las personas usuarias del transporte público tradicional. El criterio de comparación, es dado por la similar probabilidad (vecino más cercano) de acceder a TM que tienen los sujetos muestreados; deducida, a partir de las características socioeconómicas y localización geográfica de los individuos.

Si, mediante PSM son encontradas diferencias estadísticamente significativas, entre el tiempo total promedio de viaje de los individuos usuarios de TM y TPC, es posible concluir que el sistema tiene un efecto, en los beneficiarios del proyecto, sobre la duración del trayecto origen destino. La dirección del impacto, estará determinada por el signo obtenido de las diferencias de media en los tiempos de viaje de cada grupo; emparejadas por las probabilidades similares.

De esta manera, se calcula el promedio del tiempo total de viaje para los usuarios de TM (Y_i^1) y TPC (Y_i^0); designado a los de TM con D=1 y TPC D=0, la diferencia (Δ) en la variable de contraste (tiempo de viaje) puede especificarse como $\Delta = Y_i^1 - Y_i^0$. Donde Δ no es conocido, ante la imposibilidad de observar las dos situaciones simultáneamente para el mismo individuo (Y_i^1 y Y_i^0 con y sin TM). El lapso total del trayecto (Y_i^1 y Y_i^0), puede expresarse en función de características observables (X_{1i} y X_{0i}) y no observables (e_i^1, e_i^0) del individuo; representadas en la ecuación (3) y (4).

$$Y_i^1 = X_{1i} B^1 + e_i^1 \quad (3)$$

$$Y_i^0 = X_{0i} B^0 + e_i^0 \quad (4)$$

En la ecuación (4), Y_i^0 representa el tiempo total de viaje del individuo i usuario de TPC (D=0, situación sin proyecto), B^0 el vector de los coeficientes asociados a características observables X_{0i} , y e_i^0 al término de error. Los elementos de la ecuación (3) corresponden a los mismos en la ecuación (4), pero para las personas que hacen uso de TransMilenio (D=1). Ahora, para evaluar el impacto de TransMilenio sobre la duración total del recorrido, PSM emplea los promedios estadísticos denominado Average Treatment on the Treated⁹ (ATT, nombre y sigla en inglés). Este parámetro, puede representarse como lo expresa la ecuación (5):

⁸ Para el propósito de este estudio, los individuos con acceso a TransMilenio son aquellos que habitan en la Unidad de Planeamiento Zonal (UPZ) donde existe presencia del sistema; puede ser, mediante sus servicios troncales, o a través de los alimentadores.

⁹ Esta medida es relevante cuando se quiere considerar la ganancia del tratamiento en los tratados, en otras palabras los ahorros en tiempo de viaje para usuarios de TM.

$$ATT = E(Y_i^1 - Y_i^0 | X_i, D = 1) = E(Y_i^1 | X_i, D = 1) - E(Y_i^0 | X_i, D = 0) \quad (5)$$

En la ecuación (5), E representa el valor esperado (promedio aritmético) en el cambio $(Y_i^1 - Y_i^0)$ del tiempo total de viaje dada la características socioeconómicas y geográficas (X_i) de los individuos transportados en TM ($D = 1$). Equivalente, a la diferencia entre el valor esperado de la duración del trayecto $[E(Y_i^1 | X_{1i}, D = 1) - E(Y_i^0 | X_{0i}, D = 0)]$ de los usuarios de TM ($D = 1$) y TPC ($D = 0$), sujeto a sus particularidades socioeconómicas y geográficas (X_{1i}, X_{0i}) de cada grupo. En otras palabras, ATT aprovecha la información de los sujetos del grupo de control (personas usuarias del TPC), como un esfuerzo para compararlos con los individuos tratados (aquellos transportados en TM). Asimismo, PSM hace posible obtener la diferencia en el tiempo total de viaje usando información del grupo de control de acuerdo a las características X_1 de los individuos; si el cambio en esta variable es independiente a la influencia de TransMilenio, puede ser expresada en la ecuación (6), como la definió Rosenbaum y Rubin (1983).

$$(Y_i^1, Y_i^0) \perp D | X_i \Rightarrow E(Y_i^0 | X_i, D = 1) = E(Y_i^0 | X_i, D = 0) \quad (6)$$

Si se verifica la condición en la ecuación (6), el cambio en el tiempo de viaje obtenido por los individuos es atribuido al uso del sistema TransMilenio. Igualmente, debe cumplirse que la probabilidad de utilizar TM se encuentra entre cero y uno ($0 < \Pr(D = 1 | X_i) < 1$), para asegurar que existe un soporte común en el grupo de individuos comparados. Finalmente, la metodología PSM¹⁰ puede ser efectuada de la siguiente manera:

- I. Se estiman los modelos Logit o Probit, con el propósito de calcular la probabilidad que tiene un individuo de hacer uso de TransMilenio, de acuerdo a unas características socioeconómicas, geográficas y del viaje; como la distancia recorrida.
- II. Dados los resultados, se obtiene la probabilidad que tiene un individuo de hacer uso de TransMilenio, restringiendo la muestra a un soporte común. En otras palabras, únicamente los individuos que cumplan con $0 < \Pr(D = 1 | X_i) < 1$, son incluidos en la muestra. De esta manera, se garantiza que la distribución de probabilidad del grupo de control se encuentre en los límites de probabilidad del grupo de tratamiento (véase sección seis, análisis gráfico del soporte común).
- III. Para cada individuo usuario de TM, se asigna otro en el grupo de control que tenga la misma probabilidad de acceder al sistema, con el fin de poder comparar los valores promedios de los tiempos totales de viaje de cada uno de los sujetos emparejados. Para realizar el emparejamiento de los individuos, pueden utilizarse los métodos vecinos cercanos o próximos (The Nearest-Neighbors, nombre en inglés) y Kernel.
 - El método vecinos cercanos, es usado para emparejar las probabilidades (obtenidas mediante Probit o Logit, de cada individuo) similares de utilizar o no TransMilenio. Calculando las diferencias de probabilidades entre las personas que actualmente hacen uso TM y aquellas usuarias de TPC. Con esta diferencia, se construye el vector distancias de probabilidades, que deben organizarse de modo ascendente. Subsecuentemente, se comparan los promedios en el tiempo de viaje de los consumidores de TM, con la misma variable para los N individuos del grupo de control (usuarios de TPC) que tienen probabilidad más cercana a los del grupo de tratamiento (individuos que hacen uso de TM). En la práctica, el caso de múltiples vecinos debe ser muy raro; en particular, cuando el conjunto de atributos (X_i) contiene variables independientes continuas. Por tal razón, en el presente trabajo se aplicará este método de emparejamiento con 1, 5 y 10 vecinos más próximos.
 - El método de Kernel, es similar al de vecinos cercanos, pero difiere en el peso que se le da al grupo de control con el factor $w(i) = \frac{1}{n1}$. En el cual $n1$ es igual al número de observaciones ponderadas con $w(i) \neq 0$.
- IV. Una vez emparejadas y ordenadas la distancia de probabilidades, se realiza una prueba de significancia estadística mediante el resultado del estadístico t-student; para diferencia de medias. Igualmente, puede contratarse mediante el método bootstrapping (nombre en inglés), que consiste en generar aleatoriamente K muestras; para cada una de ellas, se

¹⁰ Perdomo Calvo Jorge Andrés et al. (2007).

obtiene la diferencia de los tiempos de viaje, mediante los métodos de emparejamiento planteados en el numeral III. Calculando la predicción del error de la diferencia en los tiempos de viaje en cada muestra y promedio de todos los errores estándar de la predicción.

Una vez expuesta la metodología PSM, a continuación se presenta una descripción de la información a emplear para determinar, con esta técnica, si el tiempo de viaje de los usuarios del sistema TransMilenio ha disminuido, con respecto al de los usuarios del transporte público colectivo.

V. Proceso de recolección de los datos

Con el fin de evaluar el impacto del sistema de transporte masivo TransMilenio sobre el tiempo total de desplazamiento de sus usuarios, fueron empleados los datos registrados en la encuesta de movilidad; realizada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) en el 2005. Realizada, dando cumplimiento al Decreto 90 de 2004, con el objetivo de obtener información primaria sobre movilidad en la ciudad de Bogotá y 17 municipios vecinos; para realizar su planeación estratégica. Los resultados, se encuentran presentados como información de corte transversal, donde cada hogar entrevistado corresponde a la unidad de muestra.

La encuesta de movilidad se divide en cuatro módulos de acuerdo a los temas recogidos. Para el presente trabajo, se utilizaron los datos disponibles en las unidades A, C y D. Debido, a que estos contienen la información necesaria, descrita a continuación, para estimar el impacto de TransMilenio sobre el tiempo total de viaje sus usuarios, comparando la misma variable sobre los individuos que realizan el trayecto en TPC.

- **Módulo A, identificación y control de la entrevista:** en este módulo se especifican datos de ubicación de la residencia, como sector, sección, manzana y UPZ¹¹. Igualmente, se encuentran datos socioeconómicos como estrato, número de hogares por vivienda y cantidad de personas en el hogar. Este módulo, contiene un total de 20.686 registros, correspondientes al número de encuestas completas realizadas.
- **Módulo B, vehículos de transporte disponibles en el hogar:** en este módulo se encuentra la información sobre los vehículos disponibles en el hogar, motorizados como no motorizados, y contiene un total de 21.517 registros.
- **Módulo C, características de los miembros del hogar:** esta unidad tiene información relacionada con características socioeconómicas de las personas en el hogar, entre las que se destacan: edad, sexo, limitaciones físicas permanentes, último nivel educativo aprobado, actividad principal y actividad secundaria de los individuos entrevistados; contiene un total de 71.509 registros.
- **Módulo D, desplazamientos realizados por las personas del hogar:** en este módulo, se indagó a las personas sobre los desplazamientos realizados el día anterior o jueves (en caso de ser entre el sábado y lunes). En esta sección, se encuentra información sobre la ubicación origen y destino del viaje, hora de salida y llegada, distancia recorrida, motivo del viaje, medio de transporte utilizado, minutos que camina antes de tomar y espera antes de abordar el transporte. También, se preguntó las razones por las cuales no utilizó el automóvil para realizar el viaje; contiene un total de 90.637 registros, que representan los viajes realizados por las personas encuestadas.

Con el fin de aplicar la metodología de PSM, la base de datos de la encuesta de movilidad fue filtrada de la siguiente forma: en el primero, únicamente se tuvieron en cuenta registros para las personas que utilizan TM o TPC. Una vez se filtró la muestra por medio de transporte utilizado, es importante incluir individuos que pueden acceder a los dos sistemas; de esta manera, se incluyeron

¹¹ UPZ: Unidades de planeamiento zonal. Son áreas urbanas más pequeñas que las localidades y más grandes que el barrio. La función de las UPZ es servir de unidades territoriales o sectores para planificar el desarrollo urbano en el nivel zonal. (Secretaría Distrital de Planeación, 2008)

los registros cuyo origen y destino de viaje se encuentran en las UPZ donde existe incidencia de TransMilenio¹² y TPC.

Para el 2005, año en que se realizó la encuesta de Movilidad, operaban en su totalidad la fase uno y troncal Avenida de las Américas. Razón por la cual, para determinar las UPZ donde había presencia de TransMilenio y TPC, se tuvo en cuenta la información de TransMilenio S.A. (2008) sobre rutas troncales y alimentadores en funcionamiento para el 2005, y de la Secretaría Distrital de Planeación (2009) y Departamento Administrativo de Planeación Distrital (DAPD) para la ubicación y delimitación de las UPZ; esta lista, se encuentra en el Anexo I.

Bajo estos criterios, se obtuvo una base de datos con un total de 21.934 registros. De los cuales, un 70,81% corresponde a usuarios de TPC y el 29,19% restante son beneficiarios de TransMilenio. Así, en el cuadro uno, son presentadas las principales estadísticas descriptivas de la información utilizada para estratos uno y dos. La distancia recorrida, por estos individuos, son estadísticamente mayores en usuarios de TPC. De igual manera, el tiempo de viaje, caminata y espera es significativamente menor para las personas que se desplazan en TM. El promedio de edad es 33 años y cuatro el número de personas que conforman el hogar, aproximadamente.

Cuadro 1. Estadísticas descriptivas de la muestra para estratos uno y dos.

Estadísticas descriptivas estratos 1 y 2					
Variable	N. de Obs TM	N. de Obs TPC	Media TM	Media TPC	Diferencia
Edad	7531	9127	33,48307	33,6472	(0,16413)
No. Personas /hogar	7558	9155	4,315957	4,408192	(0,092235)***
Distancia (Km)	7070	8549	10,04039	10,60566	(0,56527)***
Tiempo de viaje	7558	9155	56,93583	60,10748	(3,17165)***
Tiempo de acceso	7016	8531	5,517389	5,684445	(0,167056)***
Tiempo de espera	7355	8899	9,538001	9,822227	(0,284226)***
Diferencia estadísticamente significativa al (*) 10%, (**) 5% y (***) 1%.					
TM: TransMilenio/TPC: Transporte público colectivo					

Fuente: cálculo de los autores, encuesta de movilidad (2005).

En los estratos tres y cuatro los individuos que hacen uso de TransMilenio, presentan una media del tiempo de viaje menor a la reportada por los usuarios de TPC (véase cuadro dos). Sin embargo, el tiempo de acceso es mayor para los usuarios de TM y el de espera menor, comparados con los de TPC. El promedio de edad es 35 años y cuatro el número de personas que conforman el hogar, aproximadamente. Igualmente, puede observarse en los cuadros uno y dos, las personas en estratos más bajos tienden recorrer mayores distancias que los individuos de estratos medios.

¹² La incidencia de TransMilenio en las UPZ puede ser debido a la presencia de servicios troncales o las rutas alimentadoras en la zona determinada.

Cuadro 2. Estadísticas descriptivas de la muestra para estratos tres y cuatro.

Estadísticas descriptivas estratos 3 y 4					
Variable	N. de Obs TM	N. de Obs TPC	Media TM	Media TPC	Diferencia
Edad	4915	8520	34,38433	35,28298	(0,89865)***
No. Personas /hogar	4924	8542	3,807067	3,984313	(0,177246)***
Distancia (Km)	4648	8128	8,106915	8,19337	(0,086455)***
Tiempo de viaje	4924	8542	42,02762	51,57516	(9,54754)***
Tiempo de acceso	4581	8078	5,913774	5,669473	0,244301***
Tiempo de espera	4740	8228	7,579958	8,517987	(0,938029)***

Diferencia estadísticamente significativa al (*) 10%, (**) 5% y (***) 1%.
 TM: TransMilenio/TPC: Transporte público colectivo

Fuente: cálculo de los autores, encuesta de movilidad (2005).

Ahora, para los estratos cinco y seis, la distancia promedio recorrida por los usuarios de TM supera a la de los individuos transportados en TPC. Por otra parte, el tiempo de viaje es menor en los trasladados por TM y la media de caminata se prolonga más para consumidores de TM; comparados con los de TPC. El promedio de edad es 36 años y cuatro el número de personas que conforman el hogar, aproximadamente (véase cuadro tres).

Cuadro 3. Estadísticas descriptivas de la muestra para estratos cinco y seis.

Estadísticas descriptivas estratos 5 y 6					
Variable	N. de Obs TM	N. de Obs TPC	Media TM	Media TPC	Diferencia
Edad	169	136	36,10651	36,60294	(0,496430)
No. Personas /hogar	170	142	3,711765	3,647887	0,063878
Distancia (Km)	163	130	9,360675	8,810231	0,550444
Tiempo de viaje	170	142	50,98824	58	(7,01176)***
Tiempo de acceso	161	137	6,913043	5,635036	1,278007***
Tiempo de espera	164	139	8,335366	10,61871	-2,283344

Diferencia estadísticamente significativa al (*) 10%, (**) 5% y (***) 1%.
 TM: TransMilenio/TPC: Transporte público colectivo

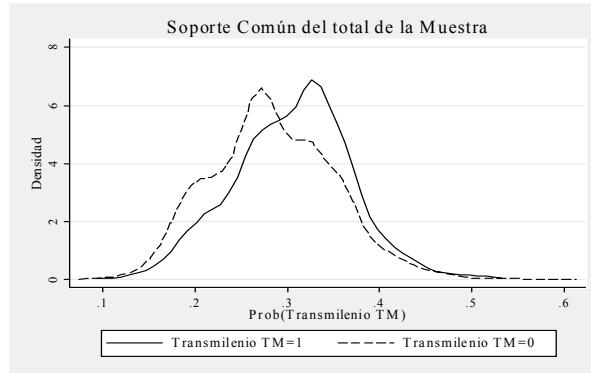
Fuente: cálculo de los autores, encuesta de movilidad (2005).

De este modo, se cuenta con la información necesaria para evidenciar, mediante PSM, el componente teórico expuesto en economía de transporte y ahorros en tiempo de viaje. Por consiguiente, la diferencia de medias estimadas con PSM permitirá encontrar si el tiempo de viaje de los usuarios del sistema TransMilenio ha disminuido. A continuación, es expuesto el análisis gráfico del soporte común del presente trabajo.

VI. Análisis gráfico del soporte común

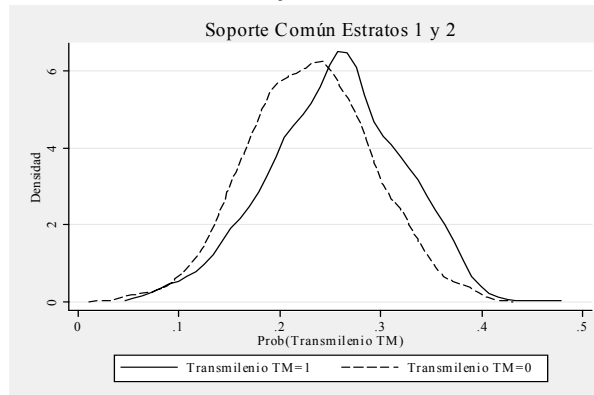
Acorde con lo expuesto en el análisis metodológico, es necesario contener dentro del grupo de control usuarios de TPC, que sean estadísticamente comparables con aquellos en el conjunto de tratamiento (individuos trasladados en TM); para implementar el análisis PSM. A partir de lo mencionado en la sección V, la elección de las observaciones utilizadas en el presente documento garantizan únicamente registros de individuos que hacen uso de TM o TPC; cuyo origen-destino del viaje, se encuentran en zonas con presencia de los dos medios de transporte. Es así, como debe existir una región de soporte común en las distribuciones de probabilidad o zona de emparejamiento. En los gráficos uno, dos, tres y cuatro puede observarse la distribución de la probabilidad de hacer uso de TransMilenio para cada segmento de la muestra analizado en el estudio.

Gráfico 1. Distribución de las probabilidades del total de la muestra.



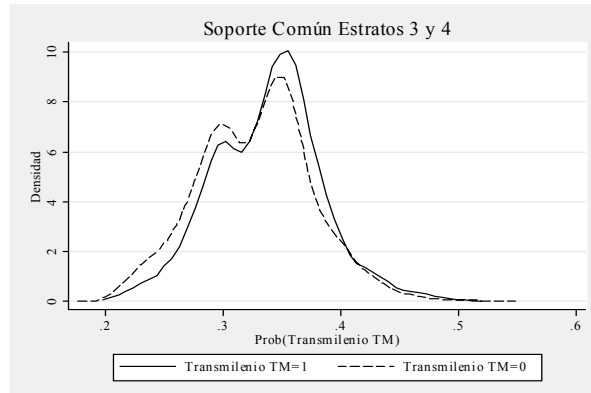
Fuente: cálculo de los autores.

Gráfico 2. Distribución de las probabilidades estratos uno y dos.



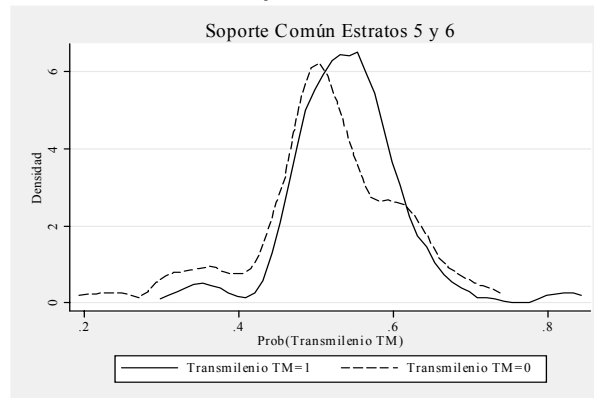
Fuente: cálculo de los autores.

Gráfico 3. Distribución de las probabilidades estratos tres y cuatro.



Fuente: cálculo de los autores.

Gráfico4. Distribución de las probabilidades estratos cinco y seis.



Fuente: cálculo de los autores.

De esta manera, los resultados en la gráficas muestran distribuciones de probabilidades (probabilidad de hacer uso de TransMilenio, TM=1) muy similares entre el grupo de control y tratamiento; para cada caso. Igualmente, puede observarse la zona de emparejamiento o existencia del soporte común que permite aplicar PSM en este estudio.

VII. Resultados obtenidos mediante la aplicación de PSM

Con el fin de cuantificar el impacto de TransMilenio sobre el tiempo total de viaje de los usuarios del sistema de transporte público tradicional, se realizará el análisis para el total de la muestra y sobre los diferentes estratos socioeconómicos de la ciudad. Para tal fin, se divide la muestra en tres grupos: el primero contiene individuos de estratos 1 y 2, el segundo los de estratos 3 y 4 y el tercero tiene los de estratos 5 y 6. En el cuadro cuatro, se describen las variables utilizadas en el estudio.

Cuadro 4. Variables del estudio.

Tipo	Variable	Descripción
Características socioeconómicas	Educación	Años de estudio
	Edad	Edad en años cumplidos
	Género	Género de la persona encuestada 1:Hombre 0:Mujer
	Estudiante	1: La principal actividad del individuo es estudiar 0: de lo contrario
	Trabajador	1: La principal actividad del individuo es trabajar 0: de lo contrario
	Oficios del hogar	1: La principal actividad del individuo son los oficios del hogar. 0: de lo contrario
	Jubilado	1: La principal actividad del individuo es ser jubilado 0: de lo contrario
	Rentista	1: La principal actividad del individuo es ser rentista 0: de lo contrario
	Busca trabajo	1: La principal actividad del individuo es buscar trabajo 0: de lo contrario
	Incapacitado	1: El individuo esta incapacitado permanentemente para trabajar. 0: de lo contrario
	Otra actividad	1: El individuo se dedica a otra actividad no especificada 0: de lo contrario
	Ingreso	Ingreso promedio del hogar según el estrato socioeconómico.
Características del viaje	Restricción vehicular	1: El individuo no utilizó su automóvil para realizar el viaje debido a la restricción vehicular. 0: De lo contrario
	Costos	1: El individuo no utilizó su automóvil para realizar el viaje debido a los costos. 0: De lo contrario
	Distancia	Distancia recorrida en el viaje en Kilómetros
Dependiente	Modo	1: El individuo hace uso de TransMilenio 0: El individuo hace uso del transporte tradicional.
Comparación	Tiempo viaje	Duración del tiempo de viaje dentro del vehículo en minutos
	Tiempo acceso	Duración del tiempo de acceso en minutos
	Tiempo espera	Duración del tiempo de espera en minutos
	T.T de desplazamiento	Duración del tiempo total del viaje en minutos

Fuente: autores de la encuesta de movilidad (2005).

Como se mencionó en la sección V, previo a la metodología PSM debe estimarse un modelo probabilístico tipo Probit o Logit; para determinar la probabilidad que tiene un individuo en la muestra de ser usuario de TM. En el caso particular, del presente estudio, fue considerada una función Probit; donde la variable dependiente (modo) toma valor de uno cuando el individuo hace uso de TransMilenio (TM=1) y cero (TM=0) caso contrario o realiza el viaje en TPC, sujeto a las características socioeconómicas de los individuos y del viaje (véase ecuación siete).

$$Prob(TM = 1) = f(\text{características socioeconómicas, características del viaje}) \quad (7)$$

Ahora, con el fin de evitar sesgo y pérdida de eficiencia en los coeficientes, por endogeneidad y colinealidad respectivamente, el modelo Probit fue concebido mediante mínimos cuadrado en dos etapas. Estimando previamente el ingreso en función de las variables independientes socioeconómicas educación, edad, género y principal actividad a la cual se dedica el individuo, (véase cuadro cinco); las mismas, son determinantes del salario y modo de transporte utilizado.

Cuadro 5. Estimación del ingreso.

Variable Dependiente	Ingreso
VARIABLES INDEPENDIENTES	COEFICIENTES
Años de educación	85654,12***
Edad en años cumplidos	(3.043,827)
Género del individuo	7.896,052
(Edad en años cumplidos)^2	152,6082***
Principal actividad: Estudiante	886288,2***
Principal actividad: Trabajador	463606,4***
Principal actividad: Oficios del hogar	511063,8***
Principal actividad: Jubilado	686245,6***
Principal actividad: Rentista	611239,4***
Principal actividad: Buscar trabajo	474919,7***
El individuo presenta incapacidad	447206,2***
Principal actividad: Otra no especificada	692522,6***
No. Observaciones	21767
F(12, 21755)	8059,33
Prob >F	0,0000
Coeficiente de determinación R-Cuadrado	0,7941
Variable estadísticamente significativa al (*) 10%, (**) 5% y (***) 1%, respectivamente; estimaciones realizadas en Stata.	

Fuente: cálculo de los autores.

En el cuadro cinco, puede apreciarse qué edad y género no son estadísticamente significativas, sin embargo los parámetros presentan los signos esperados. Mientras educación, edad al cuadrado y diferentes tipos de actividades principales son estadísticamente significativas, con signo positivo; que determina la relación directa de cada una de ellas con el ingreso.

A. PSM de toda la muestra

Los resultados estimados, efectos marginales y elasticidades del modelo Probit para toda la muestra se observan en el cuadro seis. En el mismo, la probabilidad promedio, de que un individuo haga uso del sistema TransMilenio dadas las variables seleccionadas, equivale a 28,6%. La elasticidad, de cada variable independiente con respecto a la dependiente, se interpreta parcialmente dependiendo del signo del coeficiente dejando constantes los otros efectos. De esta manera, un incremento del 1% en el ingreso estimado, hace que la probabilidad (28,6%) de ser usuario de TransMilenio aumente en 0,89%.

Cuadro 6. Modelo Probit, efectos marginales y elasticidad para el total de la muestra.

Variable Dependiente	Modo	Probabilidad	0,28630734
Variables Independientes	Coefficientes	Efectos Marginales	Elasticidad
Ingreso Estimado	0,000000478***	1,63E-07	0,8904865
Individuo no utiliza el carro por la restricción vehicular	0,1413511**	0,0498344	0,0028596
Individuo no utiliza el carro por los costos	0,1052596**	0,0367626	0,0042079
Distancia recorrida en el viaje en Kilómetros	(0,0130708)***	-0,0044472	(0,1437254)
Constante	(1,19854)***	-	-
Razón de Verosimilitud	426,83***	Seudo R-Cuadrado	0,0181
No. Observaciones		19620	
Variable estadísticamente significativa al (*) 10%, (**) 5% y (***) 1%, respectivamente; estimaciones realizadas en Stata.			

Fuente: cálculo de los autores.

Asimismo, puede inferirse que si la distancia recorrida en el viaje aumenta en 1% la probabilidad (28,6%) de usar TransMilenio disminuye en 0,143%. Si por la restricción de pico y placa el individuo no hace uso de su carro particular o los costos, la probabilidad (28,6%) de trasladarse en TM crece en 0,0028% y 0,0042% respectivamente. Basados en estos resultados, se realiza el emparejamiento de las probabilidades, utilizando la metodología de PSM, (véase cuadro siete).

Cuadro 7. PSM de toda la muestra.

Variable	Método	Individuos	Muestra	Grupo de tratamiento	Grupo de control	Diferencia
Tiempo de viaje	Nearest Neighbors	1	Sin emparejar	43,06288420	57,97228410	(14,9093998)***
			ATT	43,06288420	54,17407340	(11,1111892)***
		5	Sin emparejar	43,06288420	57,97228410	(14,9093998)***
	Kernel	10	Sin emparejar	43,06288420	57,97228410	(14,9093998)***
			ATT	43,06288420	55,23200420	(12,16912)***
		Bandwith 0,06	Sin emparejar	43,06288420	57,97228410	(14,9093998)***
Tiempo de acceso	Nearest Neighbors	1	Sin emparejar	5,41823292	5,33302219	0,085210730
			ATT	5,41823292	5,11645881	0,301774109***
		5	Sin emparejar	5,41823292	5,33302219	0,085210730
	Kernel	10	Sin emparejar	5,41823292	5,33302219	0,085210730
			ATT	5,41823292	5,21324434	0,204988582***
		Bandwith 0,06	Sin emparejar	5,41823292	5,33302219	0,085210730
Tiempo de espera	Nearest Neighbors	1	Sin emparejar	7,62813982	9,06577152	(1,4376317)***
			ATT	7,62813982	8,74565256	(1,11751273)***
		5	Sin emparejar	7,62813982	9,06577152	(1,4376317)***
	Kernel	10	Sin emparejar	7,62813982	9,06577152	(1,4376317)***
			ATT	7,62813982	8,86444757	(1,23630775)***
		Bandwith 0,06	Sin emparejar	7,62813982	9,06577152	(1,4376317)***
Tiempo total de desplazamiento	Nearest Neighbors	1	Sin emparejar	56,10925700	72,37107780	(16,2618208)***
			ATT	56,10925700	68,03618480	(11,9269278)***
		5	Sin emparejar	56,10925700	72,37107780	(16,2618208)***
	Kernel	10	Sin emparejar	56,10925700	72,37107780	(16,2618208)***
			ATT	56,10925700	69,40952050	(13,3002635)***
		Bandwith 0,06	Sin emparejar	56,10925700	72,37107780	(16,2618208)***
Diferencia de promedios estadísticamente significativa al (*) 10%, (**) 5% y (***) 1%, respectivamente; estimaciones realizadas en Stata.						

Fuente: cálculo de los autores.

En el cuadro siete puede observarse, que la diferencia en tiempo de viaje dentro del vehículo indica una reducción promedio entre 11,11 y 12,43 minutos para los usuarios de TM; dependiendo del método de emparejamiento utilizado. Esta disminución, resultó estadísticamente significativa al 1% y coincide con lo encontrado en los estudios realizados anteriormente sobre los impactos en la variable descrita, ocasionados por el sistema TransMilenio.

Con respecto al tiempo de acceso, la diferencia de medias es positiva en un intervalo de 0,30 y 0,17 minutos. Lo anterior, implica que TM ha generado un leve aumento en el lapso de caminata para entrar al sistema, explicados por su infraestructura y forma como opera el transporte público colectivo. No obstante, esta diferencia no es estadísticamente significativa cuando las muestras no son emparejadas.

El tiempo de espera presenta una reducción promedio, estadísticamente significativa, entre 1,11 y 1,23 minutos. Este resultado, es relevante porque los estudios realizados por Chaparro (2002) y Lleras (2003) encontraron respectivamente un aumento y efecto nulo en la duración de espera, de los usuarios del sistema TransMilenio. Finalmente, el tiempo total de desplazamiento disminuyó entre 11,92 y 13,89 minutos para los individuos transportados en TM, equivalente a una reducción del 19% en el tiempo total de su viaje, aproximadamente. Una vez calculados los diferenciales en tiempos de viaje, se verificaron los resultados a través de la técnica de Bootstrapping con el fin de conocer si son estadísticamente significativos (véase cuadro ocho).

La prueba Bootstrapping se realizó para los resultados obtenidos mediante un vecino cercano (Nearest Neighbors, nombre en inglés); generando 50 réplicas para cada variable independiente. En general, los intervalos de confianza del 95% no pasan por cero, comprobando la relevancia del impacto (disminución) de TransMilenio sobre los tiempos de viaje de sus usuarios. Por otra parte, el intervalo de confianza en percentil, para el tiempo de caminata, no resulta significativo; sin embargo, cuando se corrige el sesgo el efecto es estadísticamente significativo. De igual manera, el signo de los intervalos refleja la dirección del impacto; dado que los intervalos son negativos están relacionados con una disminución en los tiempos de viaje o viceversa (véase cuadro ocho).

Cuadro 8. Prueba de significancia estadística Bootstrapping para el total de la muestra.

Variable	Réplicas	Coeficiente	Error Estándar	Intervalo de confianza (95%)		
Tiempo de viaje	50	(11,111190)	0,809972	(12,738890)	(9,483490)	(N)
				(14,110240)	(11,236130)	(P)
				(11,103710)	(11,103710)	(SC)
Tiempo de acceso	50	0,301774	0,118322	0,066676	0,536872	(N)
				(0,023074)	0,407091	(P)
				0,243850	0,444641	(SC)
Tiempo de espera	50	(1,117513)	0,211409	(1,542356)	(0,692670)	(N)
				(1,572627)	(0,729403)	(P)
				(1,368779)	(0,616370)	(SC)
Tiempo total de desplazamiento	50	(11,926930)	0,848125	(13,631300)	(10,222560)	(N)
				(14,626090)	(11,451780)	(P)
				(12,378310)	(11,092140)	(SC)
Número de observaciones		19620	N (Normal), P (Percentil), SC (Sesgo Corregido)			

Fuente: cálculo de los autores.

Por otro lado y con el fin de confirmar el impacto de TransMilenio sobre los tiempos de viaje, se estimó, mediante mínimos cuadrados ordinarios (MCO), una regresión utilizando como variables dependientes el tiempo de viajes, espera, acceso y desplazamiento en cada modelo (véase cuadro nueve); en función de las independientes modo de transporte¹³ (binaria que toma valor de uno si realizó el trayecto en TM y cero utilizando TPC), ingreso estimado y distancia recorrida (Km).

¹³ Es equivalente a la variable dependiente del modelo Probit, exhibido en el cuadro seis.

En el cuadro nueve, puede observarse que los coeficientes de la variable independiente modo son estadísticamente significativos, en cada modelo. Confirmando que existe una reducción del tiempo de viaje dentro del vehículo, espera y total de desplazamiento para los usuarios de TransMilenio. Incluso el valor y signo de los estimadores están relacionados con los encontrados en la metodología PSM. En otras palabras 13, 0,1 y 1,24 minutos respectivamente que no difieren drásticamente a los de PSM. En cuanto al tiempo de acceso, el coeficiente del modo de transporte utilizado es positivo pero no es estadísticamente significativo.

Cuadro 9. Resultados de los modelos MCO.

Variable independiente	Variable dependiente			
	T. de viaje	T. de acceso	T. de espera	T.T de desplazamiento
Modo	(13,09315)***	0,1024752	(1,245753)***	(14,236429)***
Ingreso Estimado	(2,19E-06)***	4,69E-08	(8,16E-07)***	(2,69E-06)***
Distancia (Km)	2,455926***	0,05892***	0,1197***	2,634581***
Intercepto	38,19741***	4,69669***	9,179824***	52,07394***
No. de observaciones			20539	
Variable estadísticamente significativa al (*) 10%, (**) 5% y (***) 1%, respectivamente; estimaciones realizadas en Stata.				

Fuente: cálculo de los autores.

De esta manera, puede afirmarse que existe una reducción significativa en el tiempo de viaje debido a la disminución en el lapso dentro del vehículo y duración de espera. Teniendo en cuenta, que este resultado contiene el total de la muestra e incluye a los individuos con acceso a TransMilenio mediante troncales y alimentadores; esta cifra, muestra mayor impacto sobre los tiempos totales de desplazamiento, con respecto a lo planteado por Lleras (2003). No obstante, comparado con la reducción del 32% planteada por Hidalgo (2002), se encontró un menor impacto sobre los tiempos de viaje.

B. PSM estratos uno y dos

En el cuadro 10, se observan los resultados estimados, efectos marginales y elasticidades del modelo Probit para estratos uno y dos. La probabilidad de que un individuo de este grupo socioeconómico haga uso de TransMilenio es de 23%, dadas las variables independientes seleccionadas estadísticamente. Los resultados indican que un aumento del ingreso estimado del 1%, incrementa la probabilidad (23%) de tomar TM en 0,59%. Por el contrario, un aumento de 1% en la distancia recorrida durante el viaje disminuye la probabilidad (23%) de utilizar TM en 0,43%.

Cuadro 10. Modelo Probit, efectos marginales y elasticidad para estratos uno y dos.

Variable Dependiente	Medio	Probabilidad	0,23006718
Variables Independientes	Coefficientes	Efectos Marginales	Elasticidad
Ingreso Estimado	0,000000326***	9,89E-08	5,95E-01
Distancia recorrida en el viaje en Kilómetros	(0,0311573)***	(0,009462)	(0,435774)
Constante	(0,8592281)***	-	-
Razón de Verosimilitud	216,28***	Seudo R-Cuadrado	0,0222
No. Observaciones		8935	
Variable estadísticamente significativa al (*) 10%, (**) 5% y (***) 1%, respectivamente; estimaciones realizadas en Stata.			

Fuente: cálculo de los autores.

Cuadro 11. PSM estratos uno y dos.

Variable	Método	Individuos	Muestra	Grupo de tratamiento	Grupo de control	Diferencia
Tiempo de viaje	Nearest Neighbors	1	Sin emparejar	43,66571560	64,56045080	(20,8947352)***
			ATT	43,66571560	60,29148830	(16,6257727)***
		5	Sin emparejar	43,66571560	64,56045080	(20,8947352)***
			ATT	43,66571560	60,88578220	(17,2200666)***
		10	Sin emparejar	43,66571560	64,56045080	(20,8947352)***
			ATT	43,66571560	60,54465050	(16,8789349)***
Kernel	Bandwith 0,06	Sin emparejar	43,66571560	64,56045080	(20,8947352)***	
		ATT	43,66571560	60,39864470	(16,732929)***	
Tiempo de acceso	Nearest Neighbors	1	Sin emparejar	4,92344270	5,39197892	(0,468536222)***
			ATT	4,92344270	5,05040418	(0,126961484)
		5	Sin emparejar	4,92344270	5,39197892	(0,468536222)***
			ATT	4,92344270	5,27598669	(0,352543985)***
		10	Sin emparejar	4,92344270	5,39197892	(0,468536222)***
			ATT	4,92344270	5,28949120	(0,366048502)***
Kernel	Bandwith 0,06	Sin emparejar	4,92344270	5,39197892	(0,468536222)***	
		ATT	4,92344270	5,28196676	(0,358524059)***	
Tiempo de espera	Nearest Neighbors	1	Sin emparejar	8,33238231	9,92681499	(1,59443268)***
			ATT	8,33238231	9,61626248	(1,28388017)***
		5	Sin emparejar	8,33238231	9,92681499	(1,59443268)***
			ATT	8,33238231	9,72667618	(1,39429387)***
		10	Sin emparejar	8,33238231	9,92681499	(1,59443268)***
			ATT	8,33238231	9,70114123	(1,36875892)***
Kernel	Bandwith 0,06	Sin emparejar	8,33238231	9,92681499	(1,59443268)***	
		ATT	8,33238231	9,68984261	(1,3574603)***	
Tiempo total de desplazamiento	Nearest Neighbors	1	Sin emparejar	56,92154070	79,87924470	(22,9577041)***
			ATT	56,92154070	74,95815500	(18,0366144)***
		5	Sin emparejar	56,92154070	79,87924470	(22,9577041)***
			ATT	56,92154070	75,88844510	(18,9669044)***
		10	Sin emparejar	56,92154070	79,87924470	(22,9577041)***
			ATT	56,92154070	75,53528290	(18,6137423)***
Kernel	Bandwith 0,06	Sin emparejar	56,92154070	79,8792447	(22,9577041)***	
		ATT	56,92154070	75,3704541	(18,4489134)***	

Diferencia de promedios estadísticamente significativa al (*) 10%, (**) 5% y (***) 1%, respectivamente; estimaciones realizadas en Stata.

Fuente: cálculo de los autores.

Cuadro 12. Prueba de significancia estadística Bootstrapping para estratos uno y dos.

Variable	Replicas	Coeficiente	Error Estándar	Intervalo de confianza (95%)		
Tiempo de viaje	50	(16,625770)	1,497376	(19,634860)	(13,616680)	(N)
				(19,448920)	(13,633680)	(P)
				(19,651390)	(13,633680)	(SC)
Tiempo de acceso	50	(0,126962)	0,194326	(0,517474)	0,263551	(N)
				(0,634867)	0,131668	(P)
				(0,351003)	0,132447	(SC)
Tiempo de espera	50	(1,283880)	0,311775	(1,910416)	(0,657345)	(N)
				(1,840237)	(0,694107)	(P)
				(1,789128)	(0,674441)	(SC)
Tiempo total de desplazamiento	50	(18,036610)	1,432165	(20,914660)	(15,158570)	(N)
				(19,830820)	(15,327180)	(P)
				(21,090280)	(15,632170)	(SC)
Número de observaciones		8935		N (Normal), P (Percentil), SC (Sesgo Corregido)		

Fuente: cálculo de los autores.

Los resultados del modelo PSM estimado para estratos uno y dos se encuentran en el cuadro 11, de acuerdo con las diferencias de medias obtenidas, puede afirmarse que el impacto de TransMilenio sobre los tiempos de viaje es considerablemente mayor sobre este grupo socioeconómico. Presentando una reducción entre 18,036 y 18,96 minutos en el tiempo total de desplazamiento, equivalente al 24,5% aproximadamente; de la duración total del viaje.

Los impactos evidenciados son estadísticamente significativos para todos los tiempos analizados, en el caso del lapso de viaje se encontró una reducción entre 16,62 y 17,22 minutos; en el de acceso, entre 0,35 y 0,366 minutos y de espera 1,28 y 1,39 minutos. Sin embargo, mediante Bootstrapping con un vecino cercano se encuentra que la reducción en el tiempo de acceso no es estadísticamente significativa (véase cuadro 12). En cuanto a los impactos sobre el tiempo de viaje dentro del vehículo, espera y desplazamiento, sus intervalos de confianza no pasan por cero y comprobando la relevancia estadística del impacto.

C. PSM estratos tres y cuatro

Con el modelo Probit estimado, para los estratos tres y cuatro, se encontró una probabilidad del 32% de llevar a cabo el desplazamiento en TM. Un valor mayor al correspondiente de los estratos uno y dos. En el cuadro 13, puede observar que las variables independientes ingreso estimado y distancia recorrida son estadísticamente significativas al 1%. Del mismo modo, la variable que refleja el impacto de la restricción vehicular sobre la probabilidad de utilizar TM, es estadísticamente significativa al 10% y refleja una relación directa con la dependiente.

Cuadro 13. Modelo Probit, efectos marginales y elasticidad para estratos tres y cuatro.

Variable Dependiente	Medio	Probabilidad	0,32937055
Variables Independientes	Coefficientes	Efectos Marginales	Elasticidad
Ingreso Estimado	0,000000384***	1,39E-07	7,19E-01
Individuo no utiliza el carro por la restricción vehicular	0,1385954*	0,0514871	0,0037536
Distancia recorrida en el viaje en Kilómetros	0,0086776***	0,0031402	0,0784128
Constante	(1,1710189)***	-	-
Razón de Verosimilitud	112,71***	Seudo R-Cuadrado	0,0082
No. Observaciones		10872	
Variable estadísticamente significativa al (*) 10%, (**) 5% y (***) 1%, respectivamente; estimaciones realizadas en Stata.			

Fuente: cálculo de los autores.

Las elasticidades calculadas permiten afirmar que un aumento en el ingreso estimado del 1%, incrementa la probabilidad de tomar TransMilenio en 0,719%, mientras que un aumento en la distancia en 1%, incentiva la probabilidad de usar TM en 0,0784%. Con respecto a la diferencia de media en los tiempos de viajes para los estratos tres y cuatro, el cuadro 14 muestra que estas son significativas al 1% para todas las partes del viaje.

La disminución en el tiempo de viaje dentro del vehículo varía entre 9,99 y 10,81 minutos. De igual manera, lapso de espera presenta una reducción entre 1,038 y 1,116 minutos y acceso un aumento entre 0,339 y 0,57 minutos. Estos resultados, son consistentes con los obtenidos en el modelo PSM para el total de la muestra. Explicado principalmente por el número de observaciones, debido a que aproximadamente el 55% de los individuos encuestados pertenecen a los estratos tres y cuatro. Finalmente, el tiempo total de desplazamiento presenta una disminución entre 10,51 y 11,49 minutos, el cual representa una reducción de 16,7% aproximadamente; en el tiempo total de viaje.

Cuadro 14. PSM estratos tres y cuatro.

Variable	Método	Individuos	Muestra	Grupo de tratamiento	Grupo de control	Diferencia	
Tiempo de viaje	Nearest Neighbors	1	Sin emparejar	42,39671950	52,1285223	(9,73180285)***	
			ATT	42,39671950	52,3922713	(9,99555185)***	
		5	Sin emparejar	42,39671950	52,1285223	(9,73180285)***	
			ATT	42,39671950	53,2134001	10,81668069)**	
		10	Sin emparejar	42,39671950	52,1285223	(9,73180285)***	
			ATT	42,39671950	53,0857381	(10,6890186)***	
	Kernel	Bandwith 0,06	Sin emparejar	42,3967195	52,1285223	(9,73180285)***	
			ATT	42,3967195	52,7231956	(10,3264761)***	
	Tiempo de acceso	Nearest Neighbors	1	Sin emparejar	5,62468724	5,26941581	0,355271432***
				ATT	5,62468724	5,04837364	0,576313595***
5			Sin emparejar	5,62468724	5,26941581	0,355271432***	
			ATT	5,62468724	5,23564081	0,389046428***	
10			Sin emparejar	5,62468724	5,26941581	0,355271432***	
			ATT	5,62468724	5,28526550	0,33942174***	
Kernel		Bandwith 0,06	Sin emparejar	5,6246872	5,26941581	0,355271432***	
			ATT	5,6246872	5,28389627	0,340790967***	
Tiempo de espera		Nearest Neighbors	1	Sin emparejar	7,24075619	8,23917526	0,998419072)**
				ATT	7,24075619	8,33555741	(1,09480122)***
	5		Sin emparejar	7,24075619	8,23917526	0,998419072)**	
			ATT	7,24075619	8,30252989	(1,0617737)***	
	10		Sin emparejar	7,24075619	8,23917526	0,998419072)**	
			ATT	7,24075619	8,35137615	(1,11061996)***	
	Kernel	Bandwith 0,06	Sin emparejar	7,2407562	8,23917526	0,998419072)**	
			ATT	7,2407562	8,27885112	(1,03809494)***	
	Tiempo total de desplazamiento	Nearest Neighbors	1	Sin emparejar	55,2621629	65,6371134	(10,3749505)***
				ATT	55,2621629	65,7762024	(10,5140395)***
5			Sin emparejar	55,2621629	65,6371134	(10,3749505)***	
			ATT	55,2621629	66,7515708	(11,4894078)***	
10			Sin emparejar	55,2621629	65,6371134	(10,3749505)***	
			ATT	55,2621629	66,7223798	(11,4602168)***	
Kernel		Bandwith 0,06	Sin emparejar	55,2621629	65,6371134	(10,3749505)***	
			ATT	55,2621629	66,2859430	11,02378019)**	

Diferencia de promedios estadísticamente significativa al (*) 10%, (**) 5% y (***) 1%, respectivamente; estimaciones realizadas en Stata.

Fuente: cálculo de los autores.

Cuadro 15. Prueba de significancia estadística Bootstrapping para estratos tres y cuatro.

Variable	Réplicas	Coefficiente	Error Estándar	Intervalo de confianza (95%)		
Tiempo de viaje	50	(9,995552)	0,847004	(11,697670)	(8,2934340)	(N)
				(11,798280)	(8,4798450)	(P)
				(11,377980)	(8,4099940)	(SC)
Tiempo de acceso	50	0,576310	0,180670	0,213239	0,9393879	(N)
				0,022638	0,6867071	(P)
				0,343200	0,6995465	(SC)
Tiempo de espera	50	(1,094800)	0,256900	(1,611073)	(0,5785292)	(N)
				(1,462378)	(0,5749722)	(P)
				(1,723533)	(0,5922627)	(SC)
Tiempo total de desplazamiento	50	(10,514000)	0,768300	(12,058000)	(8,9700810)	(N)
				(12,352100)	(9,1458440)	(P)
				(12,033230)	(8,8794800)	(SC)
Número de observaciones		10872	N (Normal), P (Percentil), SC (Sesgo Corregido)			

Fuente: cálculo de los autores.

Una vez calculados los diferenciales en los tiempos de viaje, se verifica si los resultados obtenidos para un vecino son estadísticamente significativos a través de la prueba Bootstrapping. En el cuadro 15, puede observarse que los intervalos de confianza al 95% no pasan por cero, confirmando el impacto de TransMilenio sobre los tiempos de viaje para los usuarios de los estratos tres y cuatro del sistema.

D. PSM estratos cinco y seis

Los resultados del modelo Probit, efectos marginales y elasticidades para los estratos cinco y seis se encuentran en el cuadro 16. Donde, se encontró una probabilidad del 52% de hacer uso de TransMilenio. Esto, permite afirmar que los individuos de estratos más altos tienen mayor probabilidad de ser usuarios de TM. Del mismo modo, un aumento de 1% en el ingreso estimado aumenta la probabilidad (52%) de utilizar este sistema en 1,027%. Por otra parte, la variable distancia no resultó estadísticamente significativa, pero presenta una relación directa con la variable dependiente (TM=1).

Cuadro 16. Modelo Probit, efectos marginales y elasticidad para estratos cinco y seis.

Variable Dependiente	Medio	Probabilidad	0,52712804
Variables Independientes	Coefficientes	Efectos Marginales	Elasticidad
Ingreso Estimado	0,000000709**	2,82E-07	1,027771
Distancia recorrida en el viaje en Kilómetros	0,022902	0,0091154	0,1611681
Constante	(1,506552)**	-	-
Razón de Verosimilitud	7,29***	Seudo R-Cuadrado	0,0206
No. Observaciones		256	
Variable estadísticamente significativa al (*) 10%, (**) 5% y (***) 1%, respectivamente; estimaciones realizadas en Stata.			

Fuente: cálculo de los autores.

Cuadro 17. PSM estratos cinco y seis.

Variable	Método	Individuos	Muestra	Grupo de tratamiento	Grupo de control	Diferencia
Tiempo de viaje	Nearest Neighbors	1	Sin emparejar	52,35555560	58,33057850	(5,97502296)*
			ATT	52,35555560	59,05925930	(6,703703700)
		5	Sin emparejar	52,35555560	58,33057850	(5,97502296)*
			ATT	52,35555560	66,57185190	(14,2162963)***
		10	Sin emparejar	52,35555560	58,33057850	(5,97502296)*
			ATT	52,35555560	62,89851850	(10,5429639)***
	Kernel	Bandwith 0,06	Sin emparejar	52,3555556	58,3305785	(5,97502296)*
			ATT	52,3157895	59,8479013	(7,53211182)**
Tiempo de acceso	Nearest Neighbors	1	Sin emparejar	6,92592593	5,31404959	1,61187634***
			ATT	6,92592593	5,40740741	1,51851852**
		5	Sin emparejar	6,92592593	5,31404959	1,61187634***
			ATT	6,92592593	5,35555556	1,57037037***
		10	Sin emparejar	6,92592593	5,31404959	1,61187634***
			ATT	6,92592593	5,39555556	1,53037037***
	Kernel	Bandwith 0,06	Sin emparejar	6,9259259	5,3140496	1,61187634***
			ATT	6,9548872	5,3625930	1,59229424***
Tiempo de espera	Nearest Neighbors	1	Sin emparejar	8,14074074	10,34710740	(2,206366700)
			ATT	8,14074074	11,30370370	(3,162962960)
		5	Sin emparejar	8,14074074	10,34710740	(2,206366700)
			ATT	8,14074074	10,42814810	(2,287407410)
		10	Sin emparejar	8,14074074	10,34710740	(2,206366700)
			ATT	8,14074074	9,92444444	(1,783703700)
	Kernel	Bandwith 0,06	Sin emparejar	8,1407407	10,3471074	(2,206366700)
			ATT	8,2406015	10,1392193	(1,898617830)
Tiempo total de desplazamiento	Nearest Neighbors	1	Sin emparejar	67,42222220	73,99173550	(6,569513310)
			ATT	67,42222220	75,77037040	(8,348148150)
		5	Sin emparejar	67,42222220	73,99173550	(6,569513310)
			ATT	67,42222220	82,35555560	(14,9333333)***
		10	Sin emparejar	67,42222220	73,99173550	(6,569513310)
			ATT	67,42222220	78,21851850	(10,7962963)***
	Kernel	Bandwith 0,06	Sin emparejar	67,4222222	73,9917355	(6,569513310)
			ATT	67,5112782	75,3497136	(7,83843541)*

Diferencia de promedios estadísticamente significativa al (*) 10%, (**) 5% y (***) 1%, respectivamente; estimaciones realizadas en Stata.

Fuente: cálculo de los autores.

La diferencia de medias mediante PSM para estratos cinco y seis se observa en el cuadro 17. Observando resultados nulos de TM sobre el tiempo de viaje y tiempo total de desplazamiento, dado que no son relevantes cuando fue realizado el emparejamiento con un vecino cercano. No obstante, con cinco y diez vecinos son estadísticamente significativos el diferencial de tiempo de viaje; presentando gran variabilidad (entre 7,53 y 14,21 minutos).

El tiempo de acceso con TM aumento entre 1,52 y 1,57 minutos, mientras el impacto sobre el lapso de espera fue nulo (no es estadísticamente significativo); reflejando una disminución entre 1,78 y 3,16 minutos. Finalmente, el tiempo total de desplazamiento presenta una reducción que varía entre 7,84 y 14,94 minutos. De esta manera, las disminuciones en el tiempo total de viaje que son estadísticamente significativas al 10% y 5%, oscilan entre 13,8% y 18%.

Cuadro 18. Prueba de significancia estadística Bootstrapping para estratos cinco y seis.

Variable	Réplicas	Coeficiente	Error Estándar	Intervalo de confianza (95%)		
Tiempo de viaje	50	(6,703704)	6,566537	(19,899650)	6,4922470	(N)
				(17,884890)	6,3622050	(P)
				(29,781690)	2,8195490	(SC)
Tiempo de acceso	50	1,518519	0,772800	(0,034481)	3,0715180	(N)
				(0,236641)	2,6805560	(P)
				0,516667	2,9729730	(SC)
Tiempo de espera	50	(3,162963)	2,481510	(8,149745)	1,8238190	(N)
				(8,354838)	0,9140625	(P)
				(9,208955)	(0,0234375)	(SC)
Tiempo total de desplazamiento	50	(8,348148)	6,254259	(20,916550)	4,2202560	(N)
				(24,298390)	2,2318840	(P)
				(24,451850)	(0,1785714)	(SC)
Número de observaciones	256			N (Normal), P (Percentil), SC (Sesgo Corregido)		

Fuente: cálculo de los autores.

Finalmente, la prueba Bootstrapping confirma la irrelevancia estadística de los resultados obtenidos con un vecino cercano en los estratos cinco y seis (véase cuadro 18). El impacto sobre el tiempo de viaje dentro del vehículo, el tiempo de acceso, el tiempo de espera y el tiempo total de viaje no son estadísticamente significativos; dado que el intervalo de confianza contiene el cero. No obstante, las deducciones obtenidas para toda la muestra y discriminada por estratos socioeconómicos, evidenciaron el impacto que tuvo TM en la reducción de la duración total del trayecto origen destino para los usuarios del sistema; comparados con los individuos transportados por TPC.

VIII. Conclusiones

Partiendo del propósito principal, revisión literaria y resultados obtenidos, anteriormente con la metodología Propensity Score Matching, indican que el tiempo total de desplazamiento disminuyó entre 11,92 y 13,89 minutos, correspondiente a un 19% aproximadamente en la duración total del viaje, para toda la muestra; a partir del funcionamiento de la fase I y II de TM. Esta cifra, señala mayor impacto sobre esta variable con respecto a lo planteado por Lleras (2003). Sin embargo, se encuentra un menor impacto de TM en tiempos de viaje; comparado con la reducción del 32% planteada por Hidalgo (2002).

Asimismo, el tiempo de espera y dentro del vehículo presenta una reducción estadísticamente significativa; mientras el de acceso tuvo un leve aumento. No obstante, este resultado no es relevante estadísticamente. De esta manera, se puede evidenciar el impacto de TransMilenio sobre el tiempo total de desplazamiento y que esta reducción fue originada debido a la disminución en el lapso de viaje al interior del vehículo y de espera. El efecto significativo sobre el tiempo de espera en este estudio se contrapone con los resultados de Chaparro (2002) y Lleras (2003), quienes encontraron un aumento y efecto nulo de TM sobre esta variable.

Al analizar la distribución de los impactos de TransMilenio en los diferentes estratos socioeconómicos de la ciudad, se encontró que los efectos no son iguales sobre la población. Las mayores reducciones en los tiempos totales de desplazamiento fueron observadas en los estratos bajos (uno y dos), quienes presentan una reducción del 24,5%, gracias a TM. En estrato medio (tres y cuatro), los impactos representan una disminución del 16,7% en el tiempo total de desplazamiento.

Los resultados encontrados para estratos altos (cinco y seis) no son estadísticamente significativos. Una posible hipótesis de esto, es porque TransMilenio fue diseñado para comunicar e integrar con los principales mercados (núcleos de actividad económica de la ciudad) a los habitantes de estratos uno, dos y tres, Chaparro (2002). De esta manera, la mayor incidencia del sistema TM es para estratos bajos y por tanto su efecto en los altos no es relevante.

Es así, como la evidencia empírica permite afirmar que se ha cumplido el principal objetivo de TransMilenio de disminuir los tiempos de viaje para los usuarios. Asimismo, la liberación del tiempo de viaje que ha causado TransMilenio permite destinar este tiempo a actividades más productivas como el trabajo, estudio, pasar más tiempo con la familia u ocio, lo cual reduce los niveles de inequidad¹⁴ entre los individuos con y sin vehículo privado.

Por último, teniendo en cuenta los resultados del modelo Probit estimado para el total de la muestra, vale la pena abrir la discusión de los efectos de las restricciones vehiculares sobre la demanda de TransMilenio. Igualmente, las medidas destinadas a aumentar los costos relacionadas con el uso del carro particular, como los precios de los parqueaderos y gasolina, tienen un impacto positivo sobre la demanda de TransMilenio. Lo que a su vez representa una disminución en los tiempos de viaje con respecto al transporte público colectivo.

¹⁴ Se reduce la inequidad causada por las grandes diferencias en los tiempos totales de desplazamiento.

IX. Referencias

Aedo, C. y González P. (2002), "Una evaluación paramétrica y no paramétrica del fondo de tierras y aguas indígenas", *Programa de Economía ILADES/ Georgetown University*.

Cameron, A. Colin y Pravin K. Trivedi. (2005), *Microeconometrics. Methods and applications*. New York: Cambridge University Press.

Chaparro, Irma. (2002), Evaluación del impacto socioeconómico del transporte urbano en la ciudad de Bogotá. El caso del sistema de transporte masivo, TransMilenio. Serie CEPAL: Recursos naturales e infraestructura.

De Rus Ginés, Campos Javier, Gustavo Nombela. (2003), *Economía del transporte*. Barcelona . Edición: Antoni Bosch, editor S.A.

Departamento Administrativo de Planeación Distrital (DAPD) [Página principal de DAPD] [En línea]. 2009. Disponible en: <http://www.dapd.gov.co/www/section-2056.jsp> [Marzo 11 de 2009].

Echeverry, Juan C., Ana María Ibañez y Andrés Moya. (2005), "Una evaluación económica del sistema TransMilenio", *Revista de ingeniería*, **21**, Facultad de ingeniería de la Universidad de los Andes.

Greene, W. (2000), *Econometric analysis*, Fourth Edition, New York: Prentice Hall.

Heckman, J.J., Ichimura, H., Todd, P.E. (1997), "Matching as an econometric evaluation estimator: Evidence for evaluating a job training programme", *The Review of Economics Studies*, **64**, 4, pp. 605 - 654.

Lleras, Germán C. 2005. "TransMilenio y el transporte colectivo tradicional, una relación incierta", *Revista de ingeniería* **21**, Facultad de ingeniería de la Universidad de los Andes.

Lleras, Germán Camilo (2003). "Bus Rapid Transit, Impacts on Travel Behavior in Bogotá", tesis de maestría en Urbanismo y Transporte, MIT.

McMillen, D.P. y McDonald, J.F. (2002), "Land values in newly zoned city", *The Review of Economics and Statistics*, **84**, **1**, 62-72.

Mendieta, J. C. y Perdomo, J. A. (2007). "Especificación y estimación de un modelo de precios hedónico espacial para evaluar el impacto de Transmilenio sobre el valor de la propiedad en Bogotá", *Documento CEDE*, Centro de Estudios sobre Desarrollo Económico, **22**, ISSN 1657-5334.

Mendieta, Juan Carlos y Jorge Andrés Perdomo. (2008), *Fundamentos de Economía de Transporte: teoría, metodología y análisis de política*. Bogotá: Ediciones Uniandes, Facultad de Economía, CEDE.

Moreno, Alvaro, J. (2004), "Impacto de Transmilenio en el Crimen de la Avenida Caracas y sus Vecindades". Tesis de Magíster en Economía. Facultad de Economía, Universidad de Los Andes.

Perdomo, Jorge, A. Mendoza, Camilo, A. Mendieta, Juan, C. y Baquero, Andrés, F. (2007), "Study of the effect of the TransMilenio mass transit Project on the value of properties in Bogotá, Colombia". Lincoln Institute of Land Policy, Working Paper 2007.

Rajeev H. Dehejia, Sadek Wahba. (2002), "Propensity Score Matching Methods for non experimental causal studies". *The Review of Economics and Statistics*, 84(1): 151–161.

Rodríguez, D.A. y Mojica, C. (2008), "Land Value Impacts of Bus Rapid Transit System", Lincoln Institute of Land Policy, Working Paper 2008.

Rodríguez, D.A. y Targa, F. (2004), "Value of Accessibility to Bogotá's Bus: The Case of Bogotá's TransMilenio", *Transport Reviews*, 24, **5**, 587-610.

Rosenbaum, P. & Rubin, D. (1983), "The central role of the propensity score in observational studies for causal effects", *Biometrika*, **70**, 41-45.

Secretaría distrital de planeación (SDP) [Página principal de SDP] [En línea]. 2009. Disponible en: <http://www.sdp.gov.co/www/section-2051.jsp> [Marzo 11 de 2009].

TransMilenio S.A. [Página principal] [En línea]. 2009. Disponible en: http://www.transmilenio.gov.co/WebSite/Contenido.aspx?ID_REDIRECT=RutasAlimentadoras_Horarios [Marzo 11 de 2009].

Transmilenio S.A., & Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), 2003, Plan marco sistema Transmilenio, Transmilenio S.A. – IDU, Bogotá.

Victoria Transport policy Institute. 2008. Transportation cost and benefit analysis-Travel time and costs. Recuperado el 17 de Diciembre de 2008 en: www.vtpi.org.

Vinha, K. (2005), "The impact of the Washington Metro on development patterns", unpublished doctoral dissertation, University of Maryland, College Park.

Walle, Dominique, V. y Cratty, D. (2002), "Impact Evaluation of a Rural Road Rehabilitation Project", World Bank, Working Paper.

X. Anexos

Anexo I

UPZ con acceso a TransMilenio y al Transporte Público Tradicional			
LOCALIDAD	UPZ	LOCALIDAD	UPZ
1, USAQUEN	9. VERBENAL 10. LA URIBE	11, SUBA	3, GUAYMARAL 17, SAN JOSE DE BAVARIA 18, BRITALIA 19, EL PRADO 20, LA ALHAMBRA 25, LA FLORESTA 28, EL RINCON 71, TIBABUYES
2, CHAPINERO	97. CHICO LAGO 99. CHAPINERO		
3, SANTAFE	91, SAGRADO CORAZON 93. LAS NIEVES 95, LAS CRUCES		
5, USME	56, DANUBIO 57, GRAN YOMASA 58, COMUNEROS 59, ALFONSO LOPEZ 61. CIUDAD USME		
6. TUNJUELITO	42, VENECIA 62, TUNJUELITO	12, BARRIOS UNIDOS	21, LOS ANDES 22, DOCE DE OCTUBRE 98, LOS ALCAZARES
7. BOSA	86, EL PORVENIR	13, TEUSAQUILLO	100, GALERIAS 101, TEUSAQUILLO 107, QUINTA PAREDES 109, CIUDAD SALITRE ORIENTAL
8, KENNEDY	44. AMERICAS 46. CASTILLA 47, KENNEDY CENTRAL 78, TINTAL NORTE 45, CARVAJAL 79, CALANDAIMA 80, CORABASTOS 82, PATIO BONITO 113, BAVARIA	14, MARTIRES	37, SANTA ISABEL 102, LA SABANA
		15, ANTONIO NARIÑO	35, CIUDAD JARDIN 38, RESTREPO
		16, PUENTE ARANDA	43. SAN RAFAEL 108, ZONA INDUSTRIAL 111, PUENTE ARANDA
		17, LA CANDELARIA	94, LA CANDELARIA
		18, RAFAEL URIBE	36, SAN JOSE 39, QUIROGA 53, MARCO FIDEL SUAREZ
		19, CIUDAD BOLIVAR	63, EL MOCHUELO 64, MONTEBLANCO 65, ARBORIZADORA 66, SAN FRANCISCO 67, LUCERO 68, EL TESORO 69, ISMAEL PERDOMO 70, JERUSALEN
10, ENGATIVA	26, LAS FERIAS 29, MINUTO DE DIOS 30, BOYACA REAL 72, BOLIVIA 73, GARCES NAVAS 116, ALAMOS		

Fuente: El Autor, en base a TransMilenio S.A, Secretaría Distrital de Planeación (2009)