

**Beneficios económicos de Transmetro  
sobre la reducción de la accidentalidad vial en el área  
metropolitana de Barranquilla, Colombia**

---

**Jorge Perdomo y María Arzuza**

Jorge Perdomo y María Arzuza

## **Beneficios económicos de Transmetro sobre la reducción de la accidentalidad vial en el área metropolitana de Barranquilla, Colombia**

**Resumen:** *El principal objetivo de este documento es examinar la reducción de la accidentalidad vial en el área metropolitana de Barranquilla (AMBAQ), Colombia, a partir de la implementación del bus de tránsito rápido (BTR) Transmetro, y estimar económicamente los beneficios sociales debidos a la disminución de muertes y heridos por accidentes de tránsito en esta área entre 2010 y 2011. Con este propósito, se emplearon los lineamientos teóricos sobre externalidades en economía del transporte y un análisis cuantitativo, mediante información secundaria, a través de modelos de series de tiempo ARIMAX con cambio estructural y el valor estadístico de la vida por accidentalidad vial en Colombia. De este modo, se determinó que el beneficio agregado anual por disminución de muertes en accidentes de tránsito en el AMBAQ en 2011 fue de \$3.553'216.056, y para heridos graves fue de \$13.732'882.320 aproximadamente.*

**Palabras clave:** *reducción de accidentalidad vial, beneficios sociales, BTR-Transmetro, Área Metropolitana de Barranquilla, ARIMAX.*

**Clasificación JEL:** *R4, R41, D62.*

## **Economic benefits of Transmetro on the reduction of road accidents in the metropolitan area of Barranquilla, Colombia**

**Abstract:** *The main objective of this study is to examine the reduction in the number of road accidents in the metropolitan area of Barranquilla (AMBAQ), Colombia, due to the operation of the Rapid Transit Bus (BRT) Transmetro, and to economically estimate the social benefits of the reduction in road fatalities and injuries in the AMBAQ between 2010 and 2011. To this end, we use the theoretical framework of externalities in transportation economics and a quantitative analysis, with secondary sources of information, by means of an ARIMAX time series model with structural changes and the value of statistical life for Colombian road safety. That way, we find that the annual aggregate benefit of decreasing traffic fatalities in AMBAQ was US\$ 1'776.608 in 2011, and the benefit of decreasing serious injuries was US\$ 6'866.441 approximately.*

**Keywords:** *reduction of road accidents, social benefits, BRT-Transmetro, metropolitan area of Barranquilla, ARIMAX.*

**JEL Classification:** *R4, R41, D62.*

## **Les avantages du Transmetro sur la réduction des accidents de la route dans la région métropolitaine de Barranquilla, Colombie**

**Résumé:** *L'objectif principal de cet article est d'examiner la réduction des accidents de la route dans la région métropolitaine de Barranquilla (AMBAQ)-Colombie, due à la mise en œuvre du service de transport en commun par bus (BRT) appelé Transmetro. Pour ce faire, nous estimons les avantages sociaux en raison à la diminution du nombre de décès et de blessés dus aux accidents de la route entre 2010 et 2011. Nous avons adopté l'approche des externalités dans l'économie des transports, tout en faisant une analyse quantitative. Nous utilisons informations secondaire afin d'estimer des modèles des séries temporelles du type ARIMAX, dans lesquels nous tenons compte aussi bien du changement structurel que la valeur statistique de la vie par des accidents de la route en Colombie. Nous avons conclu que l'avantage supplémentaire de réduire les décès annuels dans des accidents de la circulation dans la région métropolitaine de Barranquilla en 2011 était 3.553'216.056 pesos colombiens, tandis que les avantages concernant les réductions des blessés étaient environ de 13.732'882.320 pesos colombiens.*

**Mots-clés:** *réduction des accidents de la route, BTR-Transmetro, avantages sociaux, région métropolitaine de Barranquilla, ARIMAX.*

**Classification JEL:** *R4, R41, D62.*

## **Beneficio económico de Transmetro sobre la reducción de la accidentalidad vial en el área metropolitana de Barranquilla, Colombia**

Jorge Perdomo y Maria Arzuza \*

**–Introducción. –I. Literatura relacionada. –II. Externalidades del transporte y metodología analítica. –III. Datos y análisis empírico. –Conclusiones y sugerencias. –Referencias.**

**doi: 10.17533/udea.le.n82a7**

*Primera versión recibida el 7 de mayo de 2014; versión final aceptada el 11 de agosto de 2014*

### **Introducción**

El principal impacto que pretende generar un sistema integrado de transporte masivo (SITM), en una ciudad con más de 600 mil habitantes, es disminuir los tiempos de viaje de sus usuarios y cambiar los viejos modelos de

---

\* *José Andrés Perdomo Calvo*: Director General y Subdirector de Análisis Cuantitativo en Teknidata Consultores. Profesor en las áreas de econometría, economía del transporte y Microeconomía aplicada a proyectos en la Facultad de Economía de la Universidad de los Andes y del Rosario, Colombia. Dirección postal: Carrera 18 No. 86A-14. Dirección electrónica: e-mail: [jperdomo@teknidataconsultores.com](mailto:jperdomo@teknidataconsultores.com).

*María Cristina Arzuza Picon*: Economista de la Facultad de Economía de la Universidad de Los Andes. Dirección postal: Calle 64 No. 5-22. Dirección electrónica: [macriarpi.91@gmail.com](mailto:macriarpi.91@gmail.com).

Corresponde a los autores: agradecemos a José Guillermo Ariza Estévez de Teknidata Consultores y a la Dirección de Seguimiento y Evaluación de Políticas Públicas del Departamento Nacional de Planeación (DNP), especialmente a su director Orlando Gracia y a su equipo Julian Daniel Muñoz Cifuentes y Johnny Alexander López Martín por la retroalimentación a este trabajo. Igualmente a Jorge Armando Rueda, profesor de econometría de la Facultad de Economía de la Universidad de los Andes, por sus aportes a este trabajo.

transporte (Halcrow Fox, 2000; 2004). Sin embargo, con la implementación de los SITM han sido identificados y estimados otros beneficios de índole ambiental, urbano, social y económico, entre los que pueden destacarse los siguientes: cambios en el uso y precios del suelo, desarrollo y urbanismo, disminución de la polución del aire, menor accidentalidad, mejor movilidad, incremento en la seguridad ciudadana (menos criminalidad), mejor estatus de salud, reducción de costos de operación, planeación del ordenamiento territorial y accesibilidad (Rodríguez y Vergel, 2013; Perdomo, 2011 y 2010; Perdomo, Castañeda y Mendieta, 2010; Cosme y Oliveira, 2010; Silva, 2010; Flores, 2010; Lefevre, 2008; Rodríguez y Mojica, 2008; Perdomo et al., 2007; Mendieta y Perdomo 2007; Vinha, 2005; Banco Mundial, 2004; Rodríguez y Targa, 2004; Moreno, 2004; Ardila, 2004; Lleras, 2003; Levinson et al., 2002; McMillen y McDonald, 2000 y 2002).

Por consiguiente, el objetivo principal de este trabajo consiste en estimar monetariamente el beneficio económico del impacto del proyecto SITM–Transmetro sobre la disminución de la accidentalidad vial en el área metropolitana de Barranquilla (AMBAQ), partiendo de los principales aspectos teóricos de externalidades en economía del transporte. Para esto se empleará información secundaria, modelos de series de tiempo ARIMAX (Autorregresivo Integrado de Media Móvil con variables exógenas) con cambio estructural y el valor estadístico de la vida por accidentalidad vial en Colombia (proporcionada por el Fondo de Prevención Vial colombiano), desde el inicio de la operación del bus de tránsito rápido (BTR) Transmetro en el AMBAQ en abril de 2010.

De esta manera, y con el fin de alcanzar el objetivo expuesto de manera teórica, estadística, econométrica y matemática, el documento se encuentra dividido de la siguiente manera: la sección I comprende el estado del arte mediante una revisión literaria nacional e internacional en el tema; la sección II presenta el marco teórico y metodológico con los aspectos más destacados sobre la teoría de externalidades en economía del transporte; la sección III contiene la caracterización de los datos y los resultados empíricos; finalmente se exponen las conclusiones y sugerencias derivadas del trabajo.

## I. Literatura relacionada

Hasta el momento, en Colombia y en el ámbito internacional no existen estudios ni literatura que empleen análisis de series de tiempo con cambio estructural y modelos ARIMAX para estimar monetariamente los beneficios sociales de la reducción de accidentalidad vial dada la implementación de un SITM en una determinada ciudad. No obstante, en el ámbito nacional y mundial se encuentran varios documentos que destacan la estimación de los beneficios sociales ocasionados por la disminución de accidentalidad vial a partir de la implementación del sistema BTR, utilizando otras técnicas diferentes a los modelos ARIMAX, entre los que se destacan los siguientes:

Bocarejo et al. (2012) hicieron un estudio detallado sobre el impacto de la segunda fase del sistema Transmilenio en la seguridad vial sin hacer medición económica del beneficio social asociado al BTR en Bogotá. Los autores utilizaron un sistema de información geográfica (SIG) sobre los corredores Av. Caracas y Av. Norte Quito Sur, y el método de Kernel para analizar la situación de la accidentalidad vial antes y después de la implementación del sistema en la ciudad. Adicionalmente, caracterizaron las vías y detallaron específicamente los lugares con las mayores reducciones y aumentos de accidentalidad vial en Bogotá.

El Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2011a; 2011b) publicó dos evaluaciones económicas ex post de los BTR de Pereira (Megabus) y Cali (Masivo Integrado Organizado –MIO–), donde valoraron económicamente los beneficios sociales por reducción de muertes y heridos en accidentes de tránsito, comparando estadísticamente su ocurrencia con y sin BTR. Los resultados concluyeron que hubo una disminución de éstos (cuantificado monetariamente con el valor estadístico de la vida en México), lo que se traduce en beneficio, al igual lo hicieron Echeverry, Ibáñez y Moya (2005). De esta forma, para Cali la disminución anual fue de 23 muertes, 673 heridos y 12 choques, mientras que en Pereira la reducción por muertes llegó a cinco por año.

Echeverry et al. (2005) efectuaron una evaluación económica de la primera fase del BTR Transmilenio en la ciudad de Bogotá, destacando entre

los beneficios sociales la reducción de muertes y heridos por accidentalidad vial en la ciudad, ocasionado por la implementación del sistema. No obstante, su aproximación la realizan comparando el comportamiento de la tendencia en el tiempo de la accidentalidad vial en Bogotá antes y después del sistema, cuantificando la diferencia como la ganancia social a través del “valor de una vida estadística (VSL) calculado para Chile (Bowland y Beghin, 1998) y utilizando el PIB per cápita de Colombia y Chile” (p. 75).

Medrano (2003) también realizó un análisis del impacto de la primera fase del BTR Transmilenio sobre la reducción de los accidentes de tránsito en la ciudad de Bogotá. Mediante tendencias, histogramas y análisis de distribución espacial de las principales estaciones del sistema muestra cómo, a partir del año en el que empezó a funcionar el sistema, el número de accidentes se ha reducido, basado en información del Fondo de Prevención Vial sobre factores humanos, vehiculares, viales y ambientales.

Adicionalmente, en su trabajo Medrano detalla los factores asociados a la accidentalidad vial en general, entre los cuales destaca los humanos (errores asociados a desacato de normas de tránsito y consumo de alcohol), vehiculares (fallas mecánicas), ambientales (clima desfavorable) y viales (mal estado de la malla vial). No obstante, no efectúa ningún modelo o técnica cuantitativa para evidenciar el fenómeno con los factores mencionados, y tampoco estima el beneficio económico social del mismo.

Por su lado, Chaparro (2002) llevó a cabo una evaluación del impacto socioeconómico del transporte urbano en la ciudad de Bogotá asociado a la primera fase del BTR Transmilenio, similar al realizado por Echeverry et al. (2005). En esta evaluación,

se contempló la seguridad del servicio y se estimó el número de accidentes en la ciudad, teniendo en cuenta el nivel de gravedad y un valor ponderado por accidente. Su monetización, surgió del producto del número de accidentes en condición sin proyecto por el valor asignado a cada categoría, aplicando una tasa de reducción de 9,15%, por la introducción del sistema. Se obtuvo un ahorro en accidentalidad, de US\$ 27,4 millones anuales (p. 33).

La autora estimó los beneficios por reducción de accidentalidad en US\$ 3,22 millones para los diez años de proyección que representó el 0,22% de los demás beneficios.

La metodología de cálculo, surge de una valoración en la reducción de accidentes por la introducción de Transmilenio de acuerdo a la gravedad del accidente. Cuando el accidente es por choque, se asignó un valor que corresponde a 10 salarios mínimos diarios cuando es por heridos 180 y cuando es por muerte, 600. (p. 47).

Asimismo, en la simulación del escenario, con y sin proyecto, concluyó que hubo una disminución en 23 choques, 13 heridos y una muerte por semana, según datos reportados por Transmilenio, que anualmente corresponden a 1.196, 676 y 52, respectivamente. Sin embargo, no efectúa ningún tipo de análisis cuantitativo para determinar los impactos evaluados donde involucre los determinantes de la accidentalidad con y sin sistema Transmilenio en Bogotá.

No obstante, Márquez (2010) implementó la metodología para valorar los costos externos de la accidentalidad en proyectos de transporte y efectuó una crítica a los trabajos mencionados por no implementar un método cuantitativo adecuado y efectivo que permita medir el impacto de los proyectos de transporte sobre la reducción de accidentes de tránsito.

Con este fin, Márquez propone técnicas de series de tiempo con modelos ARIMAX controlando por el crecimiento del parque automotor, como la implementada en el presente estudio, pero hasta el momento no han sido concebidas en las evaluaciones económicas de los BTR en Colombia ni en el ámbito internacional. Aunque el interés de Márquez es “formular una metodología general para mejorar la valoración de los costos externos de la accidentalidad en la evaluación económica de proyectos de transporte” (p. 165), no efectúa la implementación de la técnica propuesta, como sí se hace en este documento.

Adicional a los estudios nacionales anteriormente expuestos, en el ámbito internacional existen varias publicaciones que analizan la reducción de accidentalidad vial como uno de los beneficios sociales asociados a la implementación

de los sistemas BTR en distintas ciudades del mundo, incluida Bogotá. A continuación se mencionan algunos de estos estudios.

EMBARQ (2012) y Cervero (2013) consideraron los benéficos sociales y ambientales generados por los sistemas de BTR a nivel mundial en 115 ciudades desde 2002 hasta 2013. Entre ellos, destacó la reducción de accidentalidad vial por muertes (entre -21% y -64 %), heridos (entre -39% y -46%) y choques (entre -29% y -36%) durante los años que ha operado el proyecto de los BTR en India y Latinoamérica.

Tiwari y Jain (2012) estimaron indicadores de seguridad vial, los cuales evaluaron desde 2001 hasta 2009 en el BTR de Nueva Delhi. A partir de este estudio, concluyeron que el número de accidentes en el corredor de 5,8 km variaron entre 2001 y 2006, con un promedio de nueve siniestros por año. Sin embargo, esta cifra se incrementó a 10 muertes durante la construcción, entre noviembre de 2006 y abril de 2008.

No obstante, evidenciaron que en los primeros ocho meses de operación del SITM se redujo a cuatro, y luego de la intervención en el control de velocidades en los buses no hubo reporte alguno para 2009 en las vías. Esto significa que la accidentalidad vial se redujo el 40% después de la implementación del BTR.

Por su lado, Human Impact Partners (2012) evaluó la eventual ejecución del BTR en East Bay (San Francisco), detallando el impacto del sistema sobre la seguridad vial en los corredores del sistema y rutas aledañas, comparando el escenario con y sin proyecto. Sus resultados evidencian las mismas conclusiones de los trabajos anteriores: los peatones y ciclistas son los usuarios más vulnerables de las vías y, por tanto, al implementar el sistema BTR se mejora su seguridad.

Por otra parte, y adicional al análisis descrito sobre el impacto social económico de los sistemas BTR en la disminución de muertes, heridos y choques asociados a la accidentalidad vial en el ámbito nacional e internacional, resulta importante hacer referencia a otros trabajos sobre accidentalidad vial para conocer los principales determinantes de los accidentes de tránsito. Destacamos algunos de los más relevantes a continuación.

Moncada (2005) analizó la accidentalidad vial en Bogotá recolectando información a nivel mundial, nacional y local sobre las posibles variables que influyen en los accidentes de tránsito. Utilizando distribuciones Poisson, Binomial Negativo y modelos autorregresivos, el autor evaluó el impacto del consumo de alcohol, comportamientos humanos y crecimiento del parque automotor sobre el nivel de accidentalidad en Bogotá.

Odero, Khayesi y Heda (2003) realizaron un análisis estadístico muy descriptivo de los accidentes de tránsito en Kenya, donde hallaron que el 80% de las muertes son causadas por el servicio público de transporte.

Blaeijs et al. (2003) llevaron a cabo un meta-análisis para determinar las variables que explican los cambios del valor estadístico de la vida por seguridad vial con el fin de conocer los costos monetarios relacionados con accidentes fatales. Para esto, toman como referencia el resultado de este valor en diversos países, calculados mediante valoración contingente, y así llevan a cabo ejercicios de transferencia de beneficios relacionados con la reducción de accidentalidad vial.

Kopits y Cropper (2003) examinaron, para 88 países, el impacto del crecimiento económico sobre la cantidad de accidentes de tránsito, debido a la relación directa entre el ingreso per cápita y la cantidad de automóviles por habitante. Mediante un modelo de datos panel con efectos fijos, explicaron que el número de lesiones per cápita en accidentes de tránsito es función del ingreso per cápita y de la tendencia a través de funciones doblemente logarítmicas y una forma cuadrática en el ingreso, concluyendo que los países de mayores ingresos tienen menores tasas de accidentes de tránsito.

Brüde (1995) efectuó pronósticos de las lesiones ocasionadas por accidentes de tránsito entre 1977 y 1991 en Estados Unidos, utilizando datos de series tiempo. Así mismo, relacionó las lesiones con el tráfico vehicular (tomado como referencia el crecimiento del parque automotor) y la tendencia, para lo cual estimó un modelo simple (doble logarítmico), y pronosticó la reducción de accidentes para el año 2000.

Griffith (1994) comparó las diferentes opciones de iluminación de las autopistas urbanas en Estados Unidos con el fin de establecer los impactos de

éstas sobre la seguridad vial. Mediante la comparación de medias estadísticas de los heridos graves por accidentes vehiculares en vías con y sin iluminación, encontró una reducción del 29% en las lesiones sobre las autopistas que cuentan con buena iluminación nocturna. Asimismo, con los valores monetarios de los accidentes, estableció el ahorro (beneficio) dada la implementación del proyecto de iluminación de vías.

Luego de este repaso por la literatura que ha estudiado el tema, podemos concluir que la mayor parte de los estudios señalados emplearon metodologías de análisis de datos, estadísticas descriptivas, formulación matemática y recreación de escenarios por medio de diseños técnicos y de ingeniería para determinar la importancia e impacto de los BTR en el aumento de la seguridad vial. En aras de evidenciar y precisar mejor los beneficios económicos de este impacto social positivo, el presente documento se diferencia de los presentados por llevar a cabo la implementación de un modelo ARIMAX para evidenciarlo.

Con estos resultados, podemos valorar monetariamente el ahorro del costo social mediante los gastos promedios por muertes y lesiones graves de accidentes de tránsito en el AMBAQ, dado que hasta el momento los estudios de evaluación económica realizados para estimar económicamente los beneficios sociales por disminución de accidentalidad vial como resultado de implementar el sistema BRT en una determinada ciudad, no han empleado técnicas cuantitativas para estimar de forma precisa la reducción de muertes, heridos y choques por accidentalidad vial.

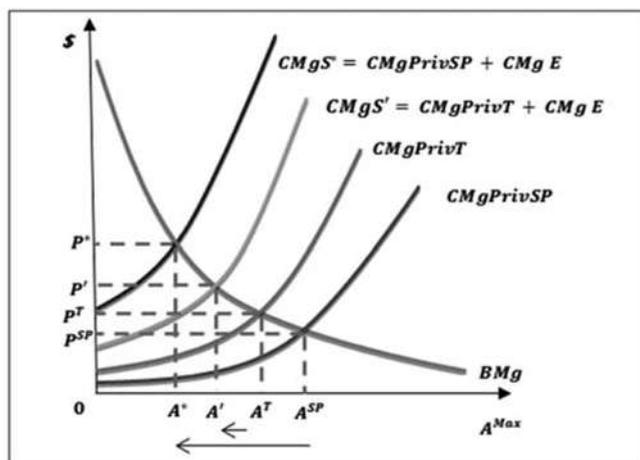
## **II. Externalidades del transporte y metodología analítica**

El concepto económico de externalidad es el marco teórico implícito, hasta el momento, en todas las investigaciones realizadas sobre los impactos positivos y negativos de los SITM en la sociedad. Dado que durante el transporte de pasajeros y mercancías entre un lugar origen a otro destino se originan efectos no controlables o indirectos (contaminación del aire, congestión y accidentalidad, entre otros), los cuales no están internalizados en el precio de mercado del servicio, y los costos derivados de éstos deben ser asumidos

por la sociedad (Mendieta y Perdomo, 2008; Campos, De Rus y Nombela, 2003; McCarthy, 2001).

Teniendo en cuenta lo anterior, el Gráfico 1 exhibe el comportamiento de los costos sociales para analizar la disminución de la externalidad asociada a la accidentalidad en el área metropolitana de Barranquilla (AMBAQ), donde puede apreciarse la reducción de los costos sociales como un beneficio generado por el BTR–Transmetro cuando se compara con el sistema de transporte público colectivo en la ciudad.

**Gráfico 1.** Comportamiento de los costos sociales por la reducción de la accidentalidad vial en el AMBAQ



Fuente: elaboración de los autores a partir de Nicholson (2002), Pindyck y Rubinfeld (2009).

En este sentido, el eje horizontal del Gráfico 1 representa la accidentalidad  $A$ , que se expresa como el número de accidentes (muertes o heridos) en las vías del AMBAQ;  $A^T$  es la cantidad de accidentes a partir de la implementación del SITM–Transmetro,  $A^{SP}$  la cantidad de accidentes sin el BTR bajo el esquema del sistema de transporte público colectivo en el AMBAQ,  $A'$  el óptimo social de accidentes operando Transmetro y  $A^*$  el óptimo social de accidentes utilizando el sistema de transporte público colectivo.

En el eje vertical del Gráfico 1 se expresan los costos y beneficios marginales en términos monetarios (\$) o precios unitarios ( $P$ ); los primeros tienen pendiente positiva ( $CMgS$ ), mientras que este último mantiene pendiente negativa ( $BMg$ ). Igualmente, las curvas de costo marginal privado y social se presentan de la siguiente forma:

- i. **Curva de costo marginal del servicio del transporte público ( $CMgPrivSP$ ):** expresa el incremento del costo total para la sociedad del AMBAQ por un pasajero adicional movilizado en el transporte público colectivo, relacionado con su respectivo precio de mercado ( $P^{SP}$ ).
- ii. **Curva de costo marginal del Transmetro ( $CMgPrivT$ ):** muestra el aumento del costo total para la sociedad del AMBAQ por un pasajero adicional movilizado por Transmetro, relacionado con su precio de mercado ( $P^T$ ). Esta curva está graficada por encima de la anterior debido a los costos monetarios adicionales (tarjetas de embarque para los usuarios, nuevos y diferentes buses, entre otros).
- iii. **Curva de costo marginal social de Transmetro ( $CMgS'$ ):** esta curva representa la suma del costo privado de Transmetro y los costos marginales sociales asociados a la externalidad ( $CMgE$ ) que este genera:

$$CMgS' = CMgPrivT + CMgE \quad (1)$$

- iv. **Curva de costo marginal social de Servicio público ( $CMgS^*$ ):** similar a la curva anterior, esta curva está expresada como la suma del costo marginal privado del servicio de transporte público colectivo y los costos de la externalidad generados:

$$CMgS^* = CMgPrivSP + CMgE \quad (2)$$

- v. **Curva de beneficio marginal ( $BMg$ ):** representa la utilidad de los individuos por llegar a su destino. Ésta es igual tanto para el uso del Transmetro como para el uso de servicio de transporte público colectivo.

Asimismo, en el Gráfico 1 puede apreciarse que, aunque la cantidad de accidentes  $A^T$  originados por el SITM es mayor al óptimo social ( $A'$ ), esta distancia es inferior a la cantidad  $A^*$  del servicio de transporte público colectivo y su óptimo social  $A^{SP}$ , es decir:

$$A^T - A' < A^{SP} - A^* \quad (3)$$

Por consiguiente, la implementación del SITM–Transmetro reduciría la cantidad de accidentes de tránsito y se acercaría al óptimo socialmente aceptado en el AMBAQ. En este sentido, han sido implementadas distintas estrategias cuantitativas para conocer los costos o beneficios sociales y evaluar los cambios en bienestar de una población afectada por la implementación de un nuevo tipo de transporte urbano. Razón por la cual este trabajo evidenciará los resultados del Gráfico 1 mediante un análisis de series de tiempo, estimando un modelo ARIMAX con pruebas de cambio estructural, como se detalla a continuación.

#### ***A. Modelo Autorregresivo Integrado de Media Móvil con variables exógenas (ARIMAX)***

El modelo ARIMAX es una extensión del modelo ARIMA<sup>1</sup>, el cual involucra el efecto de variables exógenas ( $x_{t1}, x_{t2}, \dots, x_{tk}$ ) para explicar el comportamiento de la variable endógena ( $y_t$ ) y, de esta forma, evitar regresión espuria, ocasionada generalmente por realizar estimaciones con series de tiempo que no son estacionarias y que tampoco están cointegradas. Por consiguiente, el modelo general está conformado con valores rezagados de las variables dependiente y explicativas:<sup>2</sup>

$$\phi(L)(1-L)^d y_t = \delta + \gamma(L)(1-L)^d x_{t1} + \dots + \beta(L)(1-L)^d x_{tk} + \theta(L)(1-L)^d \varepsilon_t \quad (4)$$

donde  $\phi(L)$ ,  $\gamma(L)$ ,  $\beta(L)$  y  $\theta(L)$  son los polinomios de rezagos de la variable

1 Ver más detalles en Enders (1995), Guerrero (2003), Hamilton (1994), Rosales et al. (2013) y Scott, Fred y Yokum (2005).

2 Ver más detalles en Greene (2003).

dependiente ( $y_t$ ), las independientes ( $x_{t1}, \dots, x_{tk}$ ) y del error ( $\varepsilon_t$ ). Asimismo,  $y_t$  se refiere a los accidentes de tránsito anuales (1950-2011) con heridos graves o muertes, ocurridos en el AMBAQ, explicado por su propio pasado ( $y_{t-1}, \dots, y_{t-p}$ ), por los rezagos de las exógenas ( $x_{t1-1}, \dots, x_{t1-p}; \dots; x_{tk-1}, \dots, x_{tk-p}$ ) y por el error ( $\varepsilon_{t-1}, \dots, \varepsilon_{t-p}$ ). Igualmente  $\phi, \gamma, \beta$  y  $\Theta$  hacen referencia a los parámetros que acompañan a cada variable en su respectivo rezago ( $p$ ),  $\delta$  es el intercepto del modelo y  $(1-L)^d$  identifica el orden de integración ( $d$ ) de las variables en el modelo.

$$\phi(L)(1-L)^d AccHeridos_t = \delta + \gamma(L)(1-L)^d parqauto_t + \beta(L)(1-L)^d consalcohol_t + \alpha D_t + \Theta(L)(1-L)^d \varepsilon_t \quad (5)$$

$$\varphi(L)(1-L)^d AccHeridos_t = \mu + \Gamma(L)(1-L)^d parqauto_t + B(L)(1-L)^d consalcohol_t + AD_t + \Psi(L)(1-L)^d \xi_t \quad (6)$$

De acuerdo con lo anterior, las ecuaciones 5 y 6 describen los modelos ARIMAX para los accidentes de tránsito con herido graves ( $AccHeridos_t$ ) y muertes ( $AccMuertes_t$ ), explicado por el comportamiento del parque automotor ( $parqauto_t$ ) y el consumo de alcohol per cápita ( $consalcohol_t$ ) en el AMBAQ. Adicionalmente se involucra una variable cualitativa binaria ( $D_t$ ) con el fin de identificar y explicar el cambio estructural ocasionado por la operación del servicio de Transmetro en el AMBAQ, a la cual se le designará un valor de cero (0) antes de la implementación del BTR y un valor de uno (1) después del año 2010, cuando Transmetro inicia su servicio en esta área.

### III. Datos y análisis empírico

Los datos sobre la accidentalidad (muertes y heridos), consumo de alcohol y parque automotor fueron obtenidos a partir de fuentes secundarias y compilados desde el año 1950 hasta el 2011 para el AMBAQ. La recolección de la información comenzó con la recopilación de accidentes viales reportados por los agentes de la Policía Metropolitana y la Secretaría de Movilidad de la ciudad de Barranquilla, el Fondo de Prevención Vial y el Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses.

Los datos sobre el consumo de alcohol fueron tomados de la tesis realizada por Moncada (2005), y la información sobre el parque automotor del área metropolitana se obtuvo de la Secretaría de Movilidad de Barranquilla y del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Adicionalmente, estas variables fueron transformadas empleando primera diferencia logarítmica ( $\Delta \ln$ ),<sup>3</sup> dado que las mismas son integradas de orden uno  $-I(1)-$ , lo cual garantiza el correcto análisis para su media y varianza entre 1951 y 2011 (estacionarias o estables en estos periodos). En la Tabla 1 se presentan las estadísticas descriptivas de los cambios porcentuales de la información recolectada.

**Tabla 1.** Estadísticas descriptivas 1950–2011

Nombre de la variable	N.º de observaciones	Promedio	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo
Cambio porcentual de las muertes	61	4,4	12,2	-30,2	41,5
Cambio porcentual de los heridos	61	4,8	8,4	20,5	38,8
Cambio porcentual del parque automotor Barranquilla	61	10,5	10,3	1,3	51,3
Cambio porcentual del consumo de alcohol per cápita	61	1,6	6,1	15,9	26,9

Fuente: elaboración de los autores.

De acuerdo con esta información, un total de 61 observaciones para cada variable ( $n=61$ ), y que el promedio anual del cambio porcentual para las muertes por accidentalidad vial en el AMBAQ ascendió a 4,4%, mientras que

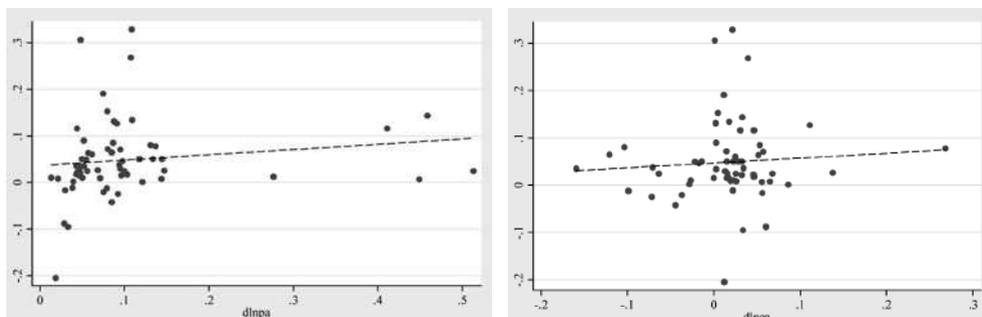
3  $\Delta \ln \text{muertes}_t = \ln \text{muertes}_t - \ln \text{muertes}_{t-1}$ ;  $\Delta \ln \text{heridos}_t = \ln \text{heridos}_t - \ln \text{heridos}_{t-1}$ ;  $\Delta \ln \text{parqauto}_t = \ln \text{parqauto}_t - \ln \text{parqauto}_{t-1}$ ;  $\Delta \ln \text{consalcohol}_t = \ln \text{consalcohol}_t - \ln \text{consalcohol}_{t-1}$ . Lo anterior, dado que las variables sin diferenciar no son estacionarias, así se garantiza que los resultados del modelo ARIMAX no son espurios.

la de heridos graves fue de 4,8% por año. Asimismo, se aprecian los valores mínimos, máximos y desviación estándar de estas variables.

Continuando con el análisis de datos, el Gráfico 2 muestra la relación directa entre el cambio porcentual de los heridos por accidentalidad vial en el AMBAQ con la evolución porcentual del parque automotor y el consumo de alcohol per cápita. Esto sugiere una relación positiva y, por tanto, puede argumentarse que los valores de la variable del eje Y ( $\Delta\%$ heridos) aumentan cuando los valores de la variable X ( $\Delta\%$ parque automotor o  $\Delta\%$ consumo de alcohol) también lo hace.

**Gráfico 2.** Diagrama de dispersión (Heridos)

$\Delta\%$ Heridos Vs.  $\Delta\%$ Parque automotor     $\Delta\%$ Heridos Vs.  $\Delta\%$ Consumo de alcohol



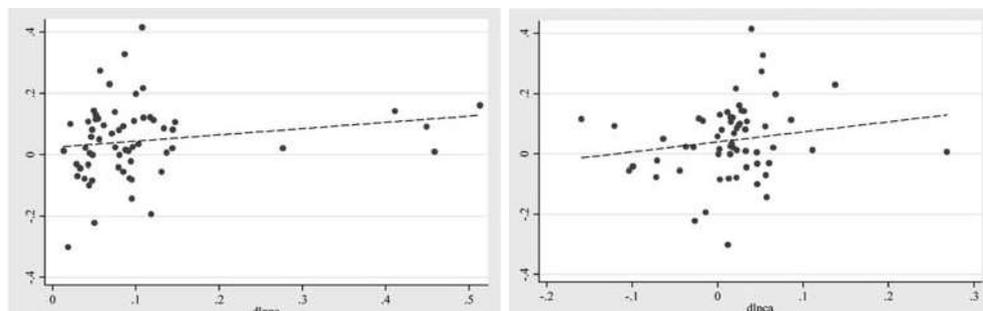
Fuente: elaboración de los autores.

Del mismo modo, el Gráfico 3 muestra la relación directa entre el cambio porcentual de muertos por accidentalidad vial en el AMBAQ con la evolución porcentual del parque automotor y el consumo de alcohol per cápita. Igualmente, sugiere una relación positiva y, por tanto, puede argumentarse que los valores de la variable del eje Y ( $\Delta\%$ muertes) aumentan cuando los valores de la variable X ( $\Delta\%$ parque automotor o  $\Delta\%$ consumo de alcohol) también lo hace. No obstante, son estimados<sup>4</sup>, mediante máxima verosimilitud y mínimos cuadrados no lineales, los modelos ARIMAX expuestos en el inciso anterior en las ecuaciones 5 y 6 (véase Tablas 2 y 3, respectivamente).

4 Funciones estimadas en Eviews 7 y Stata 12.

**Gráfico 3.** Diagrama de dispersión (Muertes)

$\Delta\%$ Muertes Vs.  $\Delta\%$ Parque automotor     $\Delta\%$ Muertes Vs.  $\Delta\%$ Consumo de alcohol



Fuente: elaboración de los autores.

De este modo, en la Tabla 2 puede observarse el signo negativo esperado sobre el coeficiente estimado que acompaña a la variable cualitativa binaria, indicando que el BTR-Transmetro ha contribuido en la reducción de las muertes por accidentalidad vial en el AMBAQ, dada su relevancia estadística al 1% de significancia. En otras palabras, desde que inició operaciones el sistema, anualmente, en promedio y de forma relativa, han disminuido un 0,29% (aproximadamente 24 por año) las defunciones asociadas a los siniestros viales en Barranquilla.

**Tabla 2.** Resultados del modelo ARIMAX para muertes por accidentes de tránsito en el AMBAQ

Variables independientes	Variable dependiente: Cambio porcentual de las muertes en la ciudad de Barranquilla (cuantitativa)
	Coefficientes estimados
Cambio porcentual de las muertes (segundo rezago, AR 1)	0,613948***
Cambio porcentual del término del error (segundo rezago, MA 2)	-0,958205***
Cambio porcentual del consumo de alcohol	0,146390
Cambio porcentual del parque automotor Barranquilla	0,665577***
Transmetro (variable cualitativa binaria, momento de inicio del sistema (2010)=1 y periodo anterior=0)	-0,289658***
Número de observaciones	59

Nota: variable estadísticamente significativa a (\*) 10%, (\*\*) 5% y (\*\*\*) 1%.

Fuente: elaboración de los autores.

Adicionalmente, las variables de control variación porcentual del parque automotor y consumo per cápita de bebidas alcohólicas mantienen el signo esperado (relación directa con los fallecimientos), pese a que esta segunda no es estadísticamente significativa. A su vez, existe un componente friccional en el primer rezago de las muertes por accidentalidad alrededor del 0,62%, y otro del -0,96% correspondiente a choques aleatorios (incluidos los observables y los no cuantificables), los cuales no son fácilmente controlables y tardan alrededor de dos años para afectar la serie.

Así mismo, en la Tabla 3 puede observarse el signo negativo esperado sobre el coeficiente estimado que acompaña la variable cualitativa binaria, indicando que el BTR-Transmetro ha contribuido en la reducción de los heridos graves por accidentalidad vial en el AMBAQ, dada su relevancia estadística al 1% de significancia. En otras palabras, desde que inició operaciones el sistema, anualmente, en promedio y de manera relativa, se ha disminuido un 0,35% (aproximadamente 529 por año) los lesionados por siniestros viales en Barranquilla.

Adicionalmente, las variables de control variación porcentual del parque automotor y consumo per cápita de bebidas alcohólicas rezagado un periodo mantienen el signo esperado (relación directa con los fallecimientos) y son estadísticamente significativas. Así mismo, existe un componente friccional en el primer rezago de los heridos por accidentalidad alrededor del 0,56%, y otro del -0,51% por choques aleatorios (incluidos los observables y los no cuantificables) que no son fácilmente controlables y tardan alrededor de dos años para afectar la serie.

Una vez obtenido el menor porcentaje anual de lesiones y muertes por accidentes de tránsito en el AMBAQ como resultado de la operación de Transmetro, el valor monetario de los mismos será cuantificado mediante el valor estadístico de la vida para el caso de las muertes, y costos materiales y de salud evitados por lesiones. Para el primer caso se toma como referencia el valor del costo por muerte reportado en el anuario estadístico del Fondo de Prevención Vial (2010) para Barranquilla en 2004, el cual ascendió a \$108'798.319, y cuyo valor deflactado a precios constantes de 2004 corresponde en 2011 a \$148'050.669.

**Tabla 3.** Resultados del modelo ARIMAX para heridos por accidentes de tránsito en el AMBAQ

Variables independientes	Variable dependiente: Cambio porcentual de los heridos en la ciudad de Barranquilla (cuantitativa)
	Coefficientes estimados
Cambio porcentual de los heridos (primer rezago, AR 1)	0,563781***
Cambio porcentual del término del error (segundo rezago, MA 2)	-0,511436***
Cambio porcentual del consumo de alcohol (primer rezago)	0,229075**
Cambio porcentual del parque automotor Barranquilla (DLOGPA)	0,540330***
Transmetro (variable cualitativa binaria, momento de inicio del sistema (2010)=1 y periodo anterior=0)	-0.348349***
Transmetro*(DLOGPA) (cambio estructural en pendiente)	3,670511***
Número de observaciones	59

*Nota:* variable estadísticamente significativa a (\*) 10%, (\*\*) 5% y (\*\*\*) 1%.

*Fuente:* elaboración de los autores.

Esto significa que el beneficio económico agregado aproximado entre abril de 2010 y abril de 2013 es de \$10.659'648.168 ( $\$148'050.669 \times 24 \times 3$ ) o de \$3.553'216.056 cada año por disminución de muertes en accidentes de tránsito. Asimismo, los costos médicos por heridos graves a precios constantes de 2004 en Barranquilla fueron estimados en \$19'077.341 por el Fondo de Prevención Vial (2010), cuyo valor deflactado a precios constantes de 2004 corresponde en 2011 a \$25'960.080.

Esto significa que el beneficio económico agregado aproximado entre abril de 2010 y abril de 2013 es de \$41.198'646.960 ( $\$25'960.080 \times 529 \times 3$ ) o de \$13.732'882.320 cada año por disminución de heridos graves en accidentes de tránsito. Estos valores representan, respectivamente, el 1% y 3%

del Producto Interno Bruto (PIB) del AMBAQ en 2011, lo cual significa un ahorro del 0,047% del PIB o \$5.868'600.198 en 2011.

### **Conclusiones y sugerencias**

De acuerdo con los resultados de los diferentes estudios señalados en la primera sección, los sistemas integrados de transporte masivo (SITM) han generado un incremento de la seguridad vial urbana en las ciudades donde fueron implementados. No obstante, estos análisis solo se encargaron de cuantificar el suceso en el porcentaje de reducción de la accidentalidad vial mediante distintas técnicas diferentes a la del presente estudio, sin valorar los beneficios económicos del mismo.

Este artículo se diferencia de los presentados por llevar a cabo la implementación de modelos ARIMAX con cambio estructural para evidenciar el impacto. De este modo fue posible estimar monetariamente el ahorro del costo social mediante los gastos promedios por muertes y lesiones graves en accidentes de tránsito en Colombia.

En este sentido, con la información secundaria disponible entre 1950 y 2011 y el modelo ARIMAX estimado, se evidenció que el SITM-Transmetro tuvo un efecto positivo y significativo sobre la reducción del número de muertes y heridos graves por accidentes de tránsito en el área metropolitana de Barranquilla. En cuanto al número de muertes se logró establecer una reducción del 0,29% aproximadamente (lo que representa unas 24 muertes menos cada año), y en cuanto a los heridos graves por accidentes de tránsito se estimó en un 0,35% aproximadamente (lo que representa unos 529 heridos graves menos cada año) durante 2010 y 2011 (periodos que corresponden al inicio de operaciones de Transmetro en el AMBAQ).

Lo anterior contrasta con lo establecido en el Gráfico 1 sobre el comportamiento de los costos sociales de acuerdo a la teoría de las externalidades negativas en economía del transporte. Ante este hecho, el bus de tránsito rápido (BTR) en el AMBAQ ha contribuido en la disminución de la accidentalidad vial urbana a nivel nacional, siendo el sexto concebido en Colombia.

Una vez obtenida la disminución promedio anual de las lesiones y muertes ocasionadas por accidentes de tránsito en el AMBAQ como resultado de la operación de Transmetro, el valor monetario de este beneficio se cuantificó mediante el valor estadístico de la vida para determinar el ahorro por el caso de las muertes y costos evitados en cuanto a materiales y gastos en salud por lesiones de accidentes de tránsito.

Se determinó que el beneficio agregado anual por disminución de muertes en accidentes de tránsito en el AMBAQ en 2011 fue de \$3.553'216.056 y para heridos graves de \$13.732'882.320, aproximadamente. Lo cual significa un ahorro del 3% del PIB del AMBAQ o \$17.286'098.376, aproximadamente, para el 2011. Finalmente, los resultados obtenidos mediante la metodología analítica planteada sugieren una contribución como un mecanismo adicional a los planteados en otros estudios para evidenciar el impacto de un SITM sobre el comportamiento de la accidentalidad en una ciudad.

Igualmente, se buscó estimar de forma objetiva la cuantía monetaria de la reducción o el incremento (beneficio o costo) del número de accidentes de tránsito, con el fin de determinar la viabilidad económica de estos proyectos y, de esta forma, considerar si se continúa o no con su ejecución en otras ciudades de Colombia o del mundo (que tengan más de 600 mil habitantes) para determinar los cambios en bienestar económico en una sociedad.

### Referencias

- AMSTRONG, Scott; COLLOPY, Fred and THOMAS, Yokum (2005). "Decomposition by Causal Forces: A Procedure for Forecasting Complex Time Series", *International Journal of Forecasting*, Vol. 21, Issue 1, pp.25-36.
- ARDILA, Arturo (2004). *Transit Planning in Curitiba and Bogotá: Roles in Interaction, Risk and Change*. Thesis for the degree of Ph. D. in Urban and Transportation Planning, Department of Urban Studies and Planning, Cambridge MA, Massachusetts Institute of Technology.
- BANCO MUNDIAL (2004). *Project Appraisal Document On A Proposed Loan In the Amount of US\$250.0 Million to the Republic of Colombia for the*

*Integrated Mass Transit Systems Project*. Recuperado de: <http://documents.worldbank.org/curated/en/2004/05/3659918/colombia-integrated-mass-transit-systems-project> (marzo de 2013).

- BLAEIJ, Arianne; FLORAX, Raymond; RIETVELD, Piet and VERHOEF, Eric (2003). “The value of statistical life in road safety: a meta-analysis”, *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 35, Issue 6, pp. 973-986.
- BOCAREJO, Juan Pablo; VELASQUEZ, Juan Miguel; TAFUR, Luis Eduardo and DIAZ, Claudia (2012). “Impact of BRT Systems on Road Safety: Lessons from Bogota, Colombia”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2317, pp. 1-7.
- BOWLAND, Brad and BEGHIN, John. (1998). “Robust Estimates of Value of a Statistical Life for Developing Economies: An Application to Pollution and Mortality in Santiago”. *Staff General Research Papers* No. 4046. Department of Economics, Iowa State University.
- BRÜDE, Ulf (1995). “What is Happening to the Number of Fatalities in Road Accidents? A Model For Forecasts and Continuous Monitoring of Development Up To The Year 2000”, *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 27, Issue 3, pp. 405-410.
- CAMPOS, Javier; DE RUS, Ginés y NOMBELA, Gustavo, (2003). *Economía del transporte*. Barcelona: Antoni Bosch editor S.A.
- CERVERO, Robert (2013). “Bus Rapid Transit (BRT): An Efficient and Competitive Mode of Public Transport”. *Working Paper* 2013-01. Institute of Urban and Regional Development. Recuperado de: <http://iurd.berkeley.edu/wp/2013-01.pdf> (marzo de 2013).
- CHAPARRO, Irma (2002). “Evaluación del impacto socio-económico del transporte urbano en la ciudad de Bogotá: El caso del sistema de transporte masivo, Transmilenio”, *Serie Recursos Naturales y Infraestructura*, No. 48. CEPAL – Naciones Unidas.

- COSME, S. y OLIVEIRA, P. (2010). *Transport Infrastructure Impact Evaluation*. Recuperado de: <http://intranet.imet.gr/portals/0/usefuldocuments/documents/02673.pdf> (marzo de 2013).
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN (2011a). *Valoración y cuantificación de los resultados alcanzados con la implementación del SITM de Cali, y análisis costo-beneficio del Sistema, comparando los objetivos trazados en el diseño conceptual, los documentos CONPES del SITM de Cali y la situación real actual del Sistema*. Recuperado de: [https://sinergia.dnp.gov.co/Sinergia/Archivos/3134003f-d5a9-441a-9998-7585fbac68c5/Informe\\_Final\\_Sistema\\_Transporte\\_Masivo\\_CALI.pdf](https://sinergia.dnp.gov.co/Sinergia/Archivos/3134003f-d5a9-441a-9998-7585fbac68c5/Informe_Final_Sistema_Transporte_Masivo_CALI.pdf) (marzo de 2013)
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN (2011b). *Valorar y Cuantificar los Resultados Alcanzados con la Implementación del SITM del AMCO y Realizar un Análisis Costo-Beneficio del Sistema, Comparando los Objetivos Trazados en el Diseño Conceptual, los Documentos CONPES del SITM del AMCO y la Situación Real Actual del Sistema*. Recuperado de: <https://sinergia.dnp.gov.co/Sinergia/Archivos/e2cf3c93-54e1-4021-901e-4489f5b72512/Informe%20Final%20Pereira.pdf> (mayo de 2013)
- ECHEVERRY, Juan Carlos; IBAÑEZ, Ana María y MOYA Andrés (2005). “Una evaluación económica del sistema TransMilenio”, *Revista de Ingeniería*, No. 21, pp. 68-77.
- EMBARQ India. (2012). *Road Safety Design Guidelines for Bus Rapid Transit in Indian Cities with consideration for local accessibility and traffic capacity*. Recuperado de: <http://embarqindiahub.org/sites/default/files/RoadSafetyDesignGuidelinesforBusRapidTransitinIndianCitiesDRAFT.pdf> (abril de 2013)
- ENDERS, Walter (1995). *Applied Econometric Time Series* (1ª ed). Nueva York: John Wiley & Sons.
- FLORES, Onesimo (2010). “The Value of a Promise Estimating the Effects of a Promise to Build Mass Transit Infrastructure on Housing Prices in Ecatepec, Mexico”. *Working Paper*. Lincoln Institute of Land Policy.

Perdomo y Arzuza: Beneficio económico de Transmetro sobre la reducción de la accidentalidad...

FONDO DE PREVENCIÓN VIAL (2010). *Accidentalidad vial en Colombia 2004*. Recuperado de: <http://www.fpv.org.co/banner/publicacionesinterna/id/6> (marzo de 2013).

HALCROW FOX (2000). “Mass Rapid Transit in Developing Countries”, *World Bank Urban Transport Strategy Review*. Recuperado de: [http://siteresources.worldbank.org/INTURBANTRANSPORT/Resources/uk\\_mass\\_transit\\_halcrow.pdf](http://siteresources.worldbank.org/INTURBANTRANSPORT/Resources/uk_mass_transit_halcrow.pdf) (marzo de 2013 ).

GREENE, William (2003). *Econometric analysis* (5a Ed.). U.S.A.: Pearson Prentice-Hall.

GRIFFITH, Michael (1994). “Comparison of the safety of lighting options on urban freeways”, *Public Roads*, Vol. 58, No. 2, pp. 8–15.

GUERRERO, Víctor (2003). *Análisis Estadístico de Series de Tiempo Económicas* (2a. Ed.). México D.F: International Thomson Editores.

HAMILTON, James (1994). *Times Series Analysis*. Princeton: Princeton University Press.

HUMAN IMPACT PARTNERS (2012). *A Health Impact Assessment of the East Bay Bus Rapid Transit (BRT) Project*. Recuperado de: [www.humanimpact.org/doc-lib/...transportation.../177-east-bay-brt-hia](http://www.humanimpact.org/doc-lib/...transportation.../177-east-bay-brt-hia)

LEVINSON, Herbert; CLINGER, Jennifer; RUTHERFORD, Scott and ZIMMERMAN, Samuel (2002). “Bus Rapid Transit: An Overview”, *Journal of Public Transportation*, Vol. 5, No. 2, pp. 1-30.

KOPITS, Elizabeth and CROPPER, Maureen (2003). “Traffic Fatalities and Economics Growth”. *Policy Research Working Paper*, No. 3035. The World Bank.

LEFEVRE, Benoit (2008). “Visión a largo plazo e interacciones ‘transporte-urbanismo’, los excluidos en el éxito del SBR TransMilenio de Bogotá”, *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, XL (156).

- LLERAS, Germán (2003). *Bus Rapid Transit, Impacts on Travel Behavior in Bogotá*. Thesis for the degree of Master in City Planning and Master of Science in Transportation. Master in City Planning and Master of Science in Transportation, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, Estados Unidos.
- MÁRQUEZ, Luis Gabriel (2010). “Metodología para valorar los costos externos de la accidentalidad en proyectos de transporte”, *Ingeniería y Universidad*, Vol. 14, No. 1, pp. 161-176.
- MCCARTHY, Patrick (2001). *Transportation Economics. Theory and Practice: A case study approach*. Oxford: Blackwell Publisher Ltd.
- McMILLEN, Daniel and McDONALD, John (2000). “Employment Subcenters and Subsequent Real Estate Development in Suburban Chicago”, *Journal of Urban Economics*, Vol. 48, Issue 1, 135-157.
- McMILLEN, Daniel and McDONALD, John (2002). “Land values in newly zoned city”, *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 84, No. 1, pp. 62-72.
- MEDRANO, Andrés. (2003). *La Accidentalidad de un Medio Masivo de Transporte Público para la Ciudad de Bogotá, Transmilenio*. Proyecto de Grado en Ingeniería Civil Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes.
- MENDIETA, Juan Carlos y PERDOMO, Jorge Andrés (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*, No. 22.
- MENDIETA, Juan Carlos y PERDOMO, Jorge Andrés (2008). *Fundamentos de Economía de Transporte: Teoría, metodología y análisis de política*. Bogotá: Ediciones Uniandes.

Perdomo y Arzuza: Beneficio económico de Transmetro sobre la reducción de la accidentalidad...

- MONCADA Ricardo. (2005). *Análisis de Accidentalidad Vial en Bogotá*. Tesis para optar al título de Magíster en Economía de los Recursos Naturales y Medio Ambiente. Facultad de Economía, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.
- MORENO, Álvaro (2004). *Impacto de Transmilenio en el Crimen de la Avenida Caracas y sus Vecindades*. Tesis para optar al título de Magíster en Economía, Facultad de Economía, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.
- NICHOLSON, Walter (2002). *Microeconomic Theory: Basic Principle and Extensions*. USA: Thomson South-Western.
- ODERO, Wilson; KHAYESI, Meleckidzedek and HEDA, P. H. (2003). "Road Traffic Injuries in Kenya: Magnitude, causes and status of intervention", *Injury Control and Safety Promotion*, Vol. 10, No. 1-2, pp. 53-61.
- PERDOMO, Jorge Andrés (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", *Lectura de Economía*, No. 73, pp. 49-65.
- PERDOMO, Jorge Andrés (2011). "A methodological proposal to estimate changes of residential property value: case study developed in Bogotá", *Applied Economics Letters*, Vol. 18 Issue 16, pp. 1577-1581.
- PERDOMO, Jorge Andrés, CASTAÑEDA, Hasbleidy y MENDIETA, Juan Carlos (2010). "Evaluación de impacto del sistema de transporte masivo TransMilenio sobre el tiempo total de desplazamiento de los usuarios del transporte público tradicional", *Documento CEDE*, No. 11.
- PERDOMO, Jorge Andrés y HUETH, Darrell Lee (2011). "Funciones de producción, análisis de economías a escala y eficiencia técnica en el eje cafetero colombiano: una aproximación con estocástica", *Revista Colombiana de Estadística*, Vol. 34, No. 2, pp. 377-402.
- PERDOMO, Jorge Andrés; MENDOZA, Camilo; MENDIETA, Juan Carlos and BAQUERO, Andrés (2007). "Study of the Effect of the TransMilenio Mass

- Transit Project on the Value of Properties in Bogotá, Colombia”. *Working Paper*, WP07CA1. Lincoln Institute of Land Policy, Cambridge, MA.
- PINDYCK, Robert y RUBINFELD, Daniel (2009). *Microeconomía* (7a. Ed.). Madrid: Pearson Educación.
- RODRÍGUEZ, Daniel y VERGEL, Erik (2013). “Sistemas de transporte público masivo tipo BRT (Bus Rapid Transit) y desarrollo urbano en América Latina”. *Land Lines*, Enero 2013. Lincoln Institute of Land Policy. Recuperado de: [http://www.cleanairinstitute.org/cop\\_suelo/wp-content/uploads/2013/04/BRT-OD-Land-Lines-espanol.pdf](http://www.cleanairinstitute.org/cop_suelo/wp-content/uploads/2013/04/BRT-OD-Land-Lines-espanol.pdf)(diciembrede2013).
- RODRÍGUEZ, Daniel and MOJICA, Carlos (2008). “Land Value Impacts of Bus: The Case of Bogotá’s TransMilenio”. *Land Lines*, Abril 2008. Lincoln Institute of Land Policy. Recuperado de: <http://www.reconnectingamerica.org/assets/Uploads/2008Bus-Bogota.pdf> (abril de 2013).
- RODRÍGUEZ, Daniel and TARGA, Felipe (2004). “Value of accessibility to Bogotá’s Bus Rapid Transit System”, *Transport Reviews*, Vol. 24, Issue 5, pp. 587 - 610.
- ROSALES, Ramón; PERDOMO, Jorge; MORALES Carlos y URREGO Jaime (2013). *Fundamentos de econometría intermedia: teoría y aplicaciones*. Bogotá: Ediciones Uniandes.
- SANDOVAL, Edgar and HIDALGO, Darío (2003). “TransMilenio: a high capacity-low cost bus rapid transit system developed for Bogotá”. [Mimeo] TransMilenio S.A., Bogotá.
- SILVA, Liliana (2010). “El impacto del transporte en el ordenamiento de la ciudad: el caso de Transmilenio en Bogotá”, *Territorios*, No. 22, pp. 33-64.
- TIWARI, Geetam and JAIN, Deepty (2012). “Accessibility and safety indicators for all road users: case study Delhi BRT”, *Journal of Transport Geography*, Vol. 22, pp. 87-95.
- VINHA, K. (2005). *The impact of the Washington Metro on development patterns*. Unpublished doctoral dissertation. University of Maryland.