

Modelo de evaluación de impacto de las estaciones de buses de tránsito rápido (BRT) sobre los precios de los predios y su aplicación en Bogotá

Hernando Arenas Castro 

Resumen

Este estudio presenta un método para determinar el potencial tributario de los ingresos supletorios generados por las externalidades positivas asociadas a nuevos o mejorados bienes públicos locales (BPL). Para establecer ¿hasta dónde? se extienden los beneficios, se desarrolló un modelo de evaluación de impacto; y para establecer ¿cuánto? es la variación evidenciable en los precios del suelo y de los predios (PSyP), se desarrolló un modelo de precios hedónicos. Estos modelos se aplicaron a ocho troncales del sistema de buses de tránsito rápido “Transmilenio” (BRT-TM) en Bogotá. Del primer modelo, se determinó que los beneficios se extienden hasta una distancia $x=0,5$ km a partir de las estaciones BRT-TM. Del segundo modelo, se determinó que los PSyP se incrementan según su distancia a las estaciones BRT-TM: máximo 8,4 % ($x=0$ km) y decrecen continuamente hasta 0 % ($x>0,5$ km); en promedio, los PSyP se incrementan 3 %. Al aplicar estos modelos a las estaciones de la troncal BRT-TM Avenida 68, en etapa de construcción, se determinó que el potencial tributario de la troncal es de USD 520 millones. Estos modelos son aplicables a cualquier BPL, en cualquier ciudad, y constituyen una herramienta para los tomadores de decisiones de política pública urbana.

Palabras clave: desarrollo urbano, distribución espacial, geografía humana, precios del suelo, bus de tránsito rápido.

Ideas destacadas: artículo de investigación. Los modelos que se presentan permiten evaluar el impacto de las estaciones de buses de tránsito rápido en los precios del suelo y de los predios. Estos modelos son aplicables para evaluar cualquier bien público local en cualquier ciudad. Los resultados permitieron determinar el potencial tributario de las estaciones de buses de tránsito rápido en Bogotá.



RECIBIDO: 4 DE AGOSTO DE 2022. | EVALUADO: 2 DE DICIEMBRE DE 2022. | ACEPTADO: 18 DE ABRIL DE 2023.

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO

Arenas Castro, Hernando. 2024. “Modelo de evaluación de impacto de las estaciones de buses de tránsito rápido (BRT) sobre los precios de los predios y su aplicación en Bogotá”. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 34 (1): 118-135. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v34n1.104098>.

.. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá – Colombia. ✉ harenasc@unal.edu.co – ORCID: 0000-0003-3322-3107.
✉ Correspondencia: Hernando Arenas Castro, Transversal 79B #83-03, Colombia.

Impact Evaluation Model of Bus Rapid Transit (BRT) Stations on Property Prices and its Application in Bogota

Abstract

This article aims to provide a method for determining the tributary potential of supplementary incomes generated from positive externalities associated to new or improved local public goods (LPGs). To establish *how far?* benefits are extended, an impact evaluation model was developed; and to establish *how much?* is the evidenced variation in land and property prices (LnPP), a hedonic price model was developed. These models were applied to evaluate 8 BRT trunk lines of “Transmilenio” Rapid Bus Transit System (BRT-TM) in Bogota. From the first model, it was found that benefits extend up to 0.5 km from the BRT-TM stations. From the second model, it was found that LnPP increase according to their distance to the BRT-TM stations, thus: maximum 8.4 % (distance $X=0$ km) and continuously decrease to 0 % (distances $X>0.5$ km); on average LnPP increases 3 %. By applying these models to the stations of the Avenida 68 BRT-TM trunk line, in the construction stage, it was determined that the tax potential of the trunk line is USD 520 million. These models are applicable to any BPL, in any city, and constitute novel financial tools for urban policy-makers.

Keywords: urban development, spatial distribution, urban geography, bus rapid transit.

Highlights: research article. The models presented here allow the impact of bus rapid transit stations on land and property prices to be assessed. These models are applicable to assess any local public good in any city. The results allowed us to determine the tax potential of bus rapid transit stations in Bogotá.

Modelo de avaliação de impacto de estações de bus rapid transit (BRT) nos preços de imóveis e sua aplicação em Bogotá

Resumo

O estudo apresenta um método para determinar o potencial tributário de rendas suplementares geradas a partir de externalidades positivas associadas a Bens Públicos Locais (BPL) novos ou melhorados. Para estabelecer *quão longe?* os benefícios são estendidos, um modelo de avaliação de impacto foi desenvolvido; e para estabelecer *quanto?* é a variação evidenciada nos preços de terrenos e propriedades (PTeP), foi desenvolvido um modelo de preços hedônicos. Esses modelos foram aplicados para avaliar 8 linhas troncais de BRT do Sistema de Transporte Rápido por Ônibus “Transmilenio” (BRT-TM) em Bogotá. A partir do primeiro modelo, constatou-se que os benefícios se estendem até 0,5 km das estações do BRT-TM. A partir do segundo modelo, verificou-se que os PTeP aumentam de acordo com sua distância até as estações do BRT-TM, assim: máximo 8,4 % (distância $X=0$ km) e decresce continuamente até 0 % (distâncias $X>0,5$ km); em média, o PTeP aumenta 3 %. Aplicando esses modelos às estações do troncal Avenida 68 BRT-TM, em fase de construção, determinou-se que o potencial tributário do troncal é de USD 520 milhões. Esses modelos são aplicáveis a qualquer BPL, em qualquer cidade, e constituem novas ferramentas financeiras para formuladores de políticas urbanas.

Palavras-chaves: desenvolvimento urbano, distribuição espacial, geografia humana, preços de terrenos, trânsito rápido de ônibus.

Ideias destacadas: artigo de pesquisa. Os modelos apresentados aqui permitem avaliar o impacto das estações de ônibus de trânsito rápido nos preços de terrenos e propriedades. Esses modelos são aplicáveis para avaliar qualquer bem público local em qualquer cidade. Os resultados nos permitiram determinar o potencial tributário das estações de ônibus de trânsito rápido em Bogotá.

Introducción: el potencial tributario (no captado) de los nuevos bienes públicos locales

La decisión del Estado de mejorar o instalar nuevos bienes públicos locales (BPL) interviene directamente en la estructura de ingresos de los propietarios de los predios en las proximidades de estos bienes. Los nuevos BPL generan externalidades (positivas y negativas) que cambian las condiciones generales de accesibilidad en sus zonas de influencia. Estos cambios en la accesibilidad espacial¹ son evidenciables a través de las variaciones de los precios del suelo y de los predios (PSyP) (Baumol y Oates 1982; Azqueta 1994; Samuelson y Nordhaus 1999; Harvey 2007 [1977]; Zhang et ál. 2020; Yang 2021; Acton, Le y Miller 2022). Los cambios positivos en los PSyP pueden ser considerados como aumento en los ingresos de los propietarios de los predios, aunque estos ingresos no se traduzcan inmediatamente en aumento de la monetización de los propietarios. Sin embargo, este aumento en los ingresos de los individuos, asociado a los nuevos o mejorados BPL, no es producto del esfuerzo de los propietarios del suelo y de los predios con la intención de mejorarlos; sino del resultado del esfuerzo de la totalidad de los individuos que contribuyeron en la financiación de estos BPL por medio de la tributación. Estos ingresos son denominados ingresos supletorios (Harvey 2007 [1977], 50). La captura de estos ingresos supletorios también ha sido llamada recuperación de plusvalía, entendida como “el proceso mediante el cual el total o una parte del aumento en el valor de la tierra [PSyP], atribuible al “esfuerzo comunitario”, es recuperado por el sector público ya sea a través de su conversión en ingresos fiscales mediante impuestos, contribuciones, exacciones u otros mecanismos fiscales, o más directamente a través de mejoras locales para el beneficio de la comunidad” (Smolka y Amborski 2003, 56). Sin embargo, en este estudio se prefiere hablar de ingresos supletorios porque este concepto circunscribe las rentas del suelo a procesos de localización espacial (rentas geográficas) generadas por los nuevos o mejorados BPL y se deja de lado otros hechos generadores de plusvalía como, por ejemplo, los cambios normativos sobre el uso del suelo o sobre las edificabilidades de los predios. Las externalidades positivas que interesan en este estudio son aquellas que generan beneficios supletorios y por ende ingresos supletorios que se pueden evidenciar a través

1 En adelante accesibilidad.

del incremento de los PSyP en la zona de influencia de los nuevos BPL (Arenas 2021).

En general, cuando el Estado destina recursos para financiar los nuevos BPL, define su localización, pero no capta los ingresos supletorios generados por estos, en especial en las zonas con mayor capacidad de pago, disminuye los recursos disponibles para atender la demanda de BPL en el resto de la ciudad. Esta asignación de recursos configura un círculo vicioso o escenario de tributación regresiva, de marcada desigualdad, donde los propietarios de los predios beneficiados no tributan sobre el beneficio recibido. Para corregir este hecho generador de desigualdad, este estudio tiene como objetivo presentar un método para determinar el potencial tributario de los ingresos supletorios de los propietarios del suelo y de los predios beneficiados por las externalidades positivas asociadas a los nuevos BPL. Los mecanismos de captación y posterior redistribución espacial de estos recursos, que configuran un círculo virtuoso o escenario de tributación progresiva, son discutidos en otro estudio (Arenas 2022). Para alcanzar el objetivo de este estudio, el marco metodológico se estructuró en dos momentos: primero se desarrolló un modelo de evaluación de impacto que permitió responder hasta dónde se extienden los beneficios supletorios y establecer las zonas de influencia de los beneficios supletorios generados por los nuevos o mejorados BPL. Segundo se desarrolló un modelo para determinar a cuánto ascienden estos ingresos supletorios. Ambos modelos se estructuraron con base en la adaptación de modelos de precios hedónicos. Estos modelos son genéricos y se pueden utilizar para determinar los ingresos supletorios, y las áreas de influencia, de cualquier tipo de BPL. Dado que los BPL que demandan mayor cantidad de recursos para su construcción o mantenimiento tienden a generar mayores beneficios supletorios, por ende, generan mayores ingresos supletorios (Harvey 2007 [1977]) y dado que estos mayores beneficios e ingresos supletorios se presentan en particular en los BPL asociados a la infraestructura para la movilidad (vías, estaciones de transporte masivo, cables (teleféricos), estaciones de metro o de BRT², entre otros), para la calibración y aplicación de estos modelos

2 Los BRT son sistemas de tránsito con base en buses de alta calidad que brindan un servicio rápido y eficiente que pueden incluir carriles y calzadas exclusivos, prioridad en los semáforos, cobros de tarifas fuera del vehículo, plataformas elevadas y estaciones mejoradas (Federal Transit Administration 2017).

se optó por utilizar las estaciones y terminales de 8 troncales BRT-TM en Bogotá. Adicionalmente, el estudio incluyó la aplicación de los resultados de los dos modelos a la troncal en construcción BRT-TM Avenida 68 con el fin de determinar el potencial tributario de la nueva troncal en etapa de construcción.

El efecto de los BRT en los PSyP ha sido objeto de varios estudios. Zhang y Yen (2020), en un metaanálisis que incluyó 23 estudios empíricos, encontraron que entre los factores que tienen un impacto estadísticamente significativo en los incrementos en los valores del suelo se destacan: la madurez del sistema BRT (consolidación del BRT en el tiempo); la propiedad o terreno (suelo construido versus lotes); el tipo de valor (precio de venta o precio tasado (avalúo)); la distancia a las estaciones de los BRT; el método de investigación; y la ubicación geográfica del sistema BRT. Este estudio comparte metodológicamente con el metaanálisis de Zhang y Yen (2020) que entre los principales factores de impacto en los PSyP asociados a los BRT, se encuentran: la distancia a las estaciones de los BRT, el efecto de las diferentes temporalidades del desarrollo de los BRT (antes, durante y después de la construcción), y el tipo de dato para adelantar las estimaciones en la variación de los PSyP (precio tasado (avalúo)); por el contrario, este estudio no considera tan relevante para estimar las variaciones en los PSyP asociadas a los BRT: la diferenciación entre lotes y predios con construcción, la madurez y ubicación geográfica de los BRT.

Factores que intervienen en la distribución espacial del ingreso

Para discutir el papel de la localización espacial de los nuevos BPL y cómo estos cambian la distribución espacial del ingreso debido a las externalidades positivas asociadas, conviene primero precisar el rol de algunos de los conceptos principales que intervienen en la distribución espacial del ingreso. Estos conceptos son: bienes públicos locales, externalidades, accesibilidad, renta del suelo, precios del suelo y de los predios e ingreso. Para Harvey, la redistribución espacial de los ingresos suplementarios se logra aplicando cambios en: “1. La localización de los trabajos y viviendas. 2. El valor de los derechos de propiedad y 3. El precio de los recursos para el consumidor” (Harvey 2007 [1977], 85). Sin embargo, en este estudio solo se discuten los conceptos asociados al segundo factor señalado por Harvey (el valor de los derechos de propiedad) porque este factor está relacionado directamente con la localización de los BPL.

Bienes públicos locales

En economía, los bienes privados se caracterizan porque sobre ellos existe rivalidad en el consumo; es decir, no pueden ser consumidos de manera simultánea por varias personas. Por el contrario, un bien público es aquel que, una vez producido, puede ser consumido por consumidores adicionales sin costo adicional (Samuelson 1974). Sin embargo, los bienes públicos no son equitativamente accesibles (en términos de cantidad y calidad) porque “son suministrados a través de algún mecanismo de localización” (Harvey 2007 [1977], 87). Debido a su localización, existen ciertos bienes públicos que tienen un grado de exclusión en el consumo que depende de la cercanía (distancia) de los usuarios. Estos bienes públicos generan beneficios en un área geográfica delimitada y, por tanto, se llaman bienes públicos locales (BPL). Los BPL asociados a la movilidad (vías, tranvías, troncales BRT, autopistas, redes de metro, teleférico (cables aéreos), entre otros) usualmente son los que requieren mayores inversiones para su construcción o mantenimiento y, entre mayor sea el monto de las inversiones, mayores serán los efectos positivos y negativos que estos generan (Harvey 2007 [1977]). Lo anterior, hace que este tipo de infraestructuras ocupe un lugar preponderante en las evaluaciones de beneficios asociados a los BPL que la componen.

Externalidades asociadas a los bienes públicos locales

Por externalidad se puede entender aquellos efectos de la actividad de cualquier elemento en un sistema urbano sobre otros elementos de ese sistema, “algunos de los cuales pueden ser efectos sin precio y quizás no monetarios” (Harvey 2007 [1977], 54). El concepto externalidad es central para explicar la concentración de las actividades económicas en el espacio y la distribución espacial del ingreso (Valdivia y Delgadillo 2013). Estas externalidades pueden ser consideradas como costos o como beneficios; es decir, pueden ser positivas o negativas según su naturaleza. En otras palabras, se produce una externalidad cuando un agente económico recibe una utilidad o beneficio, generado por otro agente, sin que medie algún costo (Baumol y Oates 1982; Azqueta 1994; Mankiw 1998; Samuelson y Nordhaus 1999; Nicholson 2001). Las externalidades también se han discutido como fallas en el mercado o en el Estado. Como Butler señala, “Los mercados existen en aquellos lugares donde cierto número de compradores y vendedores se comunican, y el precio ofrecido y pagado por cada uno de ellos es afectado por las decisiones del otro. Un mercado produce también

precios con auto-regulación. Los precios son los mecanismos que conectan las acciones individuales de elección” (Butler 1986, 24). Para Pindyck y Rubinfeld (2009) el mercado se define como el conjunto de compradores y vendedores que, a través de sus interacciones reales o potenciales, determinan el precio de un producto o de un conjunto de productos. No obstante, el mercado presenta fallas las cuales se definen como situaciones en la que el mercado no asigna de forma óptima los recursos; es decir, cuando el sistema de precios establecido por medio del mecanismo de oferta y demanda no logra capturar y asignar correctamente los costos y beneficios que se desprenden de la interacción mercantil a todos los agentes involucrados en ella. En este sentido, las externalidades se pueden considerar como un tipo de falla del mercado en la que los costos y beneficios totales de la producción y consumo de un bien no se reflejan en el precio de mercado de este. El inicio del análisis moderno de las externalidades, o efectos externos, se puede atribuir a Arthur Pigou (1946) quien se interesa en la relación entre los efectos individuales y sociales de las externalidades. Su trabajo se enfoca en los términos de la relación que debía fijarse entre el valor del producto marginal neto privado y el producto neto social, dada la existencia de beneficios sociales inferiores o superiores a los privados, que llevarían a alterar las decisiones de producción de los oferentes en relación con lo socialmente deseable. La búsqueda del equilibrio entre los beneficios sociales y los privados justifica, de acuerdo con Pigou, una intervención estatal en forma de tributos o subsidios, llamados impuestos pigouvianos, con el objetivo de corregir dicha ineficiencia en el mercado.

Accesibilidad y distancia

La accesibilidad se define, de manera simple, como la facilidad para alcanzar un destino (Aoyama, Murphy y Hanson 2011). La accesibilidad también ha sido definida como el principio de competencia espacial entre las actividades económicas para asegurarse las localizaciones más ventajosas. La accesibilidad determina las elecciones de localización de cada agente económico dentro de un contexto de maximización. La conducta de maximización (óptimo económico) permite explicar, por efectos acumulativos o relaciones circulares acumulativas, gran parte de las localizaciones observables en las estructuras de usos del suelo y de los predios (Camagni 2005). A partir de los anteriores enfoques sobre accesibilidad y localización (como facilidad de alcanzar un destino o como principio de competencia espacial), se puede afirmar

que la accesibilidad es una característica importante en el espacio, pero solo puede ser obtenida pagando un precio el cual está relacionado, en general, con el costo de la distancia que hay que recorrer o al tiempo utilizado en el desplazamiento. Resulta importante hacer referencia al concepto de proximidad con el fin de establecer las diferencias con el concepto de accesibilidad aquí discutido. La proximidad geográfica se refiere a la separación en el espacio, a vínculos en términos de distancia, a la noción de espacio geoeconómico o distancia funcional, a la circulación relacionada con la accesibilidad (Gilly y Torre 2000, 268).

En resumen, cada individuo selecciona de su lista de preferencias las características de accesibilidad o de distancia que desea y a las cuales puede acceder mediante su estructura de ingresos. Los individuos o las empresas que no disponen de los ingresos suficientes para alcanzar la satisfacción completa de localización intentarán maximizar esta hasta donde los ingresos disponibles así lo permitan. En este orden de ideas, cuando se observan las diferentes localizaciones de los usos del suelo y de los predios en la ciudad se está evidenciando la disponibilidad que los individuos y las empresas tienen para pagar por el acceso a una determinada localización o por la distancia a la misma; es decir, se puede afirmar que la accesibilidad y la distancia son un buen indicador espacial de los ingresos de cada individuo³. Sin embargo, como afirma Harvey (2007 [1977]), la accesibilidad tiene un precio y la proximidad geográfica tiene un costo. Para este estudio se plantea que, en relación con el tipo de BPL bajo estudio, a menor distancia mayor accesibilidad.

Rentas del suelo y precios del suelo y de los predios

La proximidad geográfica [distancia] se relativiza por las mejoras en la accesibilidad. Sin embargo, cuando no existen cambios en la accesibilidad, se puede afirmar que:

dado que el valor (del suelo urbano) [PSYP], depende de la renta y la renta de la localización, y la localización de la conveniencia [o preferencia], y la conveniencia de la cercanía [distancia], podemos eliminar los pasos intermedios y

3 En la observación de los paisajes económicos es posible evidenciar aglomeraciones y centralidades; sin embargo, el concepto de centro “no indica solo un punto del plano, sino también una posición en el espacio, y adquiere caracteres desvinculados de la geometría y basados en aspectos funcionales, jerárquicos y simbólicos” (Paris 2013, 48).

decir que el valor [PSyP] depende de la cercanía [distancia]. (Hurd 1903 citado por Camagni 2005, 52)

Cuando se introducen cambios en la accesibilidad, el valor depende menos de la distancia. Con el avance en los medios de comunicación esta relación entre valor y distancia se ve alterada. Sin embargo, cuando el Estado toma decisiones de localización de los BPL altera la relación entre accesibilidad, distancia y PSyP (por las rentas de localización). La renta del suelo expresa los beneficios derivados de una unidad de tierra debido a las ventajas que resultan tanto de su localización espacial (renta geográfica) como de las características del suelo (renta económica). Los dos conceptos anteriores, en conjunto, se llaman renta combinada o, simplemente renta del suelo. La renta geográfica está relacionada específicamente con los aspectos espaciales de la actividad mientras que la renta económica está relacionada con los aspectos del suelo o características intrínsecas de cada localización (Butler 1986). Existe un tercer tipo de renta del suelo denominada renta potencial o potenciales de renta, que introduce el concepto de expectativas. Por ejemplo, los cambios en las normas urbanísticas, procesos de gentrificación, procesos de especulación del suelo o el desarrollo de grandes proyectos urbanos generan expectativas de aumentos en los PSyP; sin embargo, si no existe demanda que capture estas expectativas, dichos aumentos en los PSyP no se concretan (Smith 2015). Los PSyP expresan y concretan la capitalización de todas las rentas generadas para una localización espacial específica en un tiempo determinado. Las personas adquieren el suelo o los predios con base en las ventajas que perciben para diferentes tipos de usos del suelo, entre ellas, las características del suelo intrínsecas del sitio y la localización respecto a las otras actividades económicas. Es decir, “Cuando un comprador adquiere tierra, está comprando dos artículos (tierra y ubicación) en una sola transacción, y se hace un solo pago por la combinación” (Alonso 1964, 149).

En resumen, tres factores participan de la explicación de los PSyP. El primer factor reúne las acciones de agentes como las empresas y el Estado en una categoría que se puede denominar: efecto de las aglomeraciones o efectos de localización en los PSyP. Aquí se encuentran aspectos tales como inversiones públicas en infraestructura y servicios sociales, la regulación de uso del suelo y de los predios cuando existe la demanda por estas. El segundo factor, no menos importante, lo constituyen las mejoras hechas por los propietarios del suelo y de los predios como las ampliaciones, renovación de redes,

mejoras locativas. El tercer factor que participa en la explicación de los PSyP lo constituye la accesibilidad y distancia a los BPL. La diferenciación y el reconocimiento de quién es el responsable de cada uno de estos factores resulta importante para decidir quién debe capturar qué ingreso supletorio o plusvalor, porque “el valor del suelo es el resultado de las acciones e inversiones tanto públicas como privadas, y cada entidad tiene derecho sobre alguna porción de este valor” (Ingram y Hong 2012, 4).

Ingreso

De manera sencilla, el ingreso puede ser definido como la suma del valor de mercado de los derechos ejercidos en el consumo y el cambio en el valor de la acumulación de los derechos de propiedad entre el principio y el fin de un periodo de tiempo (Titmuss 1962, citado por Harvey 2007 [1977], 49). Otra definición de ingreso incluye dos componentes: los ingresos por el trabajo y los ingresos por capital (Piketty 2014; 2015). En los ingresos por capital se incluyen los ingresos asociados a la propiedad de bienes inmuebles (por ejemplo: arriendos, valorización inmobiliaria que corresponde con el concepto de ingresos supletorios).

Los conceptos anteriores: BPL, distancia, accesibilidad, externalidades, renta y precio del suelo e ingreso están conectados entre sí. Si se generan cambios en la accesibilidad o en la distancia de los predios a los BPL, o mejoras en los BPL, estos cambios se verán reflejados en los PSyP. Estos cambios en los PSyP generan beneficios e ingresos supletorios para los propietarios de los predios localizados en las zonas de influencia de los nuevos o mejorados BPL y, por tanto, deben ser considerados como parte del ingreso de los individuos (Piketty 2014). Estos ingresos supletorios son una forma de plusvalía, muy específica, referida a las rentas geográficas o de localización que sigue el mismo esquema de no ser generadas por el esfuerzo de los individuos por mejorar sus predios o ser productos de los efectos de las aglomeraciones; por el contrario, surgen del esfuerzo de la sociedad por mejorar la calidad urbana por medio de la provisión o el mejoramiento de los BPL.

Formulación de los modelos

Para estimar los efectos de los nuevos BPL sobre los PSyP se han planteado funciones de demanda mediante el uso de modelos de precios hedónicos para los cuales se utiliza la distancia para establecer si la presencia de nuevos BPL genera efectos en los PSyP (Lin, Wu y De Sousa 2013). Los

modelos para determinar los impactos y los ingresos supletorios se estructuraron con base en la adaptación de modelos de precios hedónicos. Los modelos de precios hedónicos intentan capturar todos los atributos del bien (predio) que participan en la explicación de su precio, ya sean atributos tangibles o intangibles. En otras palabras, un modelo hedónico permite asignarle a cada característica del bien su participación en el precio de estos (Azqueta 1994). En el proceso de formulación y ajuste de los modelos propuestos, el resultado del modelo de evaluación de impacto (del primer momento) se integró en el modelo de determinación de los ingresos supletorios (segundo momento). Utilizar los hallazgos de la evaluación de impacto (distancia hasta donde se extienden los beneficios supletorios) implicó utilizar datos y resultados del caso de estudio de las troncales de BRT-TM en Bogotá, en el diseño metodológico del segundo modelo. Esta decisión se justifica en la necesidad de probar y calibrar los modelos que se presentan en esta sección como modelos válidos para evaluar el impacto de cualquier tipo de BPL.

En este estudio se optó por un diseño cuasiexperimental en el que se definieron un grupo de predios control y un grupo de predios tratamiento con base en la distancia entre los BPL y los predios con sus respectivos PSyP. El modelo de evaluación de impacto permitió establecer la distancia espacial para seleccionar los predios que hicieron parte tanto del grupo de tratamiento (los más cercanos a los BPL bajo estudio) y los predios que hicieron parte del grupo de control (los más lejanos a los BPL bajo estudio). Es un diseño cuasiexperimental porque no se pueden asignar de manera aleatoria los predios a los grupos de tratamiento y de control. En este tipo de modelos, cada variable representa un componente del precio de los predios. Los PSyP se pueden asociar a las características de los predios como el tamaño de estos, el número de habitaciones y baños, el espacio de sala, la existencia de una terraza, los materiales de construcción utilizados en los predios, el lujo de los acabados y, si existen, características específicas que puedan ser valoradas como, por ejemplo, una chimenea o un patio trasero. También los PSyP dependen de la localización de los predios y del tipo de predio que se esté analizando. Se optó por utilizar avalúos puntuales y no avalúos estimados mediante técnicas masivas porque estos últimos incorporan ajustes relacionados con los modelos de estimación; es decir, incorporan ajustes de tipo estadístico, político, de muestreo y ajustes asociados a las técnicas de determinación de zonas homogéneas físicas y geoeconómicas, entre otros.

Modelo de evaluación de impacto de los bienes públicos locales

Los modelos para determinar la distancia de separación entre el grupo de tratamiento y el grupo de control se estructuraron con base en los modelos de precios hedónicos con identificación de efectos espaciales de diferencias en diferencias, esquema de tratamientos y control o selección espacial de sectores factuales y contrafactuales para evaluación (Linden y Rockoff 2008). En estos modelos se definieron como grupo de tratamiento a aquellos predios que se encuentran a poca distancia de los BPL y como grupo de control a aquellos predios que se localizan a mayor distancia de los BPL bajo estudio. La aplicación de este primer modelo se usó para determinar hasta dónde se extienden los beneficios de los nuevos BPL. Para determinar qué cuenta como poca o mucha distancia se realizó una estimación polinómica de los PSyP cercanos a los BPL que construyen una tendencia polinómica de los PSyP (ver ecuaciones 1 y 2). Esta tendencia polinómica se estableció para los predios en las zonas de influencia de los BPL, antes y después de la construcción de estos. De esta manera, se estableció la respuesta a la pregunta: ¿hasta dónde se extienden los beneficios e ingresos supletorios de cada uno de los BPL? (Figura 1).

A este tipo de selección de sectores, que sirven como tratamiento o control, en medio de la heterogeneidad urbana, se le podría objetar que la selección de sectores en la ciudad que sirvan como tratamiento o control no sean perfectamente comparables entre sí. Sin embargo, teniendo en cuenta el diseño del estudio los modelos planteados incorporan mecanismos de corrección para la objeción planteada. Esta objeción se respondió mediante la aproximación gráfica para determinar la distancia a través de la cual existe un efecto en los PSyP en la zona de influencia de los nuevos o mejorados BPL.

De esta forma, los predios son comparables entre sí ya que es la distancia a la cual se presenta las mayores variaciones en los PSyP la que permitió establecer el límite entre la zona de tratamiento y la zona de control. Esta aproximación es producto del modelo que se presenta en la Ecuación 1. A partir de este resultado, se calcula la proyección de los PSyP (Ecuación 2) (elaborado a partir de Azqueta 1994). Esta proyección responde a la pregunta ¿hasta dónde se extienden los beneficios de los BPL bajo estudio? En el modelo de la Ecuación 3 se incluyen como variables de control sectores delimitados de la ciudad (θ) (efectos fijos espaciales) y el área de los predios.

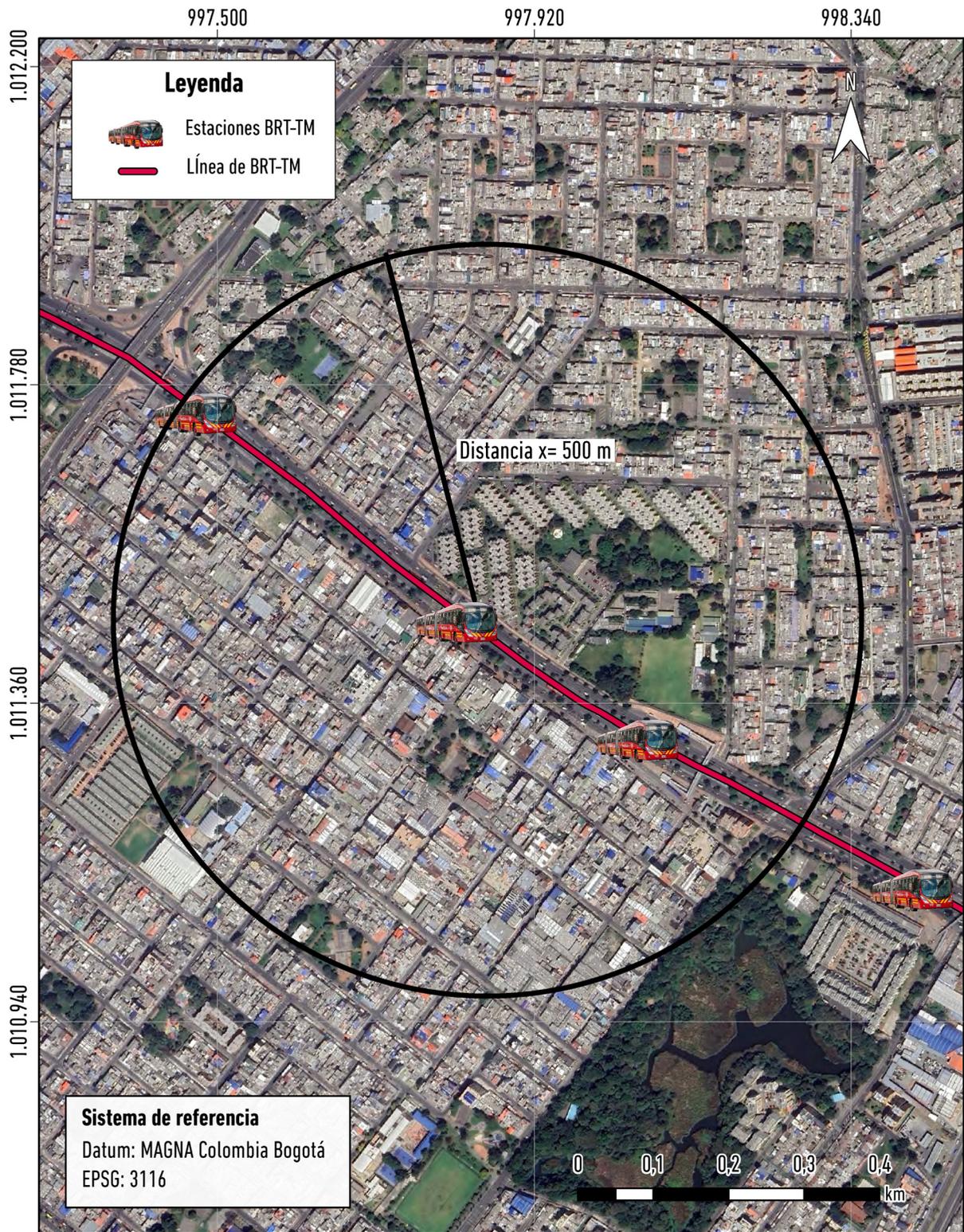


Figura 1. Troncal BRT-TM Calle 80. Cálculo de la zona de tratamiento para una estación (distancia X=500) para evaluación de un BPL tipo infraestructura vial.
 Datos: a partir de UAECB (2018).

$$\text{Log}(P_{hjt}) = \alpha_t + \theta_j + \beta \times X_{hjt} + \epsilon_{hjt}$$

[Ecuación: 1]

Donde:

$\text{Log}(P_{hjt})$ = Logaritmo natural de los PSyP (h : predios, j : sector o UPZ, t : año).

α_t = Variaciones de la tendencia temporal o efectos fijos de tiempo.

θ_j = Predios en el mismo sector o efectos fijos espaciales (En la zona de estudio se utilizará UPZ).

β = Coeficientes estimados para las variables X .

X = Son las características de los predios estudiados (área del predio h).

ϵ_{hjt} = Error o condiciones no capturadas por el modelo.

La variable (P) corresponde al logaritmo natural de los PSyP de cada observación (predio h). A estos predios, se les atribuye las características individuales de los sectores donde están localizados y el año del avalúo. La variable (α_t) captura las variaciones de la tendencia temporal de cada año, esto equivale a los efectos fijos en el tiempo. De esta forma, se controlan los efectos del incremento temporal de los PSyP (por ejemplo, la inflación). La variable (θ_j) establece cuándo los predios se encuentran dentro del mismo sector (unidad de planeamiento zonal (UPZ)) y equivale a los efectos fijos espaciales. La variable (X) corresponde a las características de los predios estudiados para determinar los cambios en los PSyP.

A partir de la (Ecuación 1) se proyectaron los PSyP con el fin de adelantar la estimación polinómica entre los PSyP proyectados y su localización con respecto a un nuevo BPL (estaciones de los BRT-TM) (Ecuación 2) (elaborada a partir de Linden y Rockoff 2008 y Pope 2008). El resultado se presenta gráficamente como el residual del precio proyectado de los avalúos cercanos de acuerdo con la temporalidad de los BPL bajo estudio. Es decir, se analizaron los PSyP antes y después de la construcción de los BPL para evaluar su impacto en las variaciones entre los PSyP y los PSyP proyectados, en función de la distancia. En otras palabras, el modelo evaluó el impacto de los nuevos BPL a través del efecto de las externalidades evidenciable en los PSyP localizados en las zonas de influencia de los BPL bajo estudio.

$$\text{Log}(P_{hjt}) - \text{Log}((P_{hjt})^{\wedge}) = S(D_{hjt}) + \epsilon_{hjt}$$

[Ecuación: 2]

Donde:

$\text{Log}(P_{hjt})$: logaritmo del precio inicial.

$\text{Log}((P_{hjt})^{\wedge})$: proyección del logaritmo natural del precio de los predios en el año (resultado de la estimación de la Ecuación 1).

$S(D_{hjt})$: función polinómica de la distancia de la BPL.

ϵ_{hjt} : error o condiciones no capturadas por el modelo.

La proyección del logaritmo de los PSyP, calculado para todos los PSyP, permite graficar el residuo entre el precio y su proyección, de acuerdo con el año de cada avalúo. Estas gráficas (Figura 2 y Figura 3) se contrastaron con la distancia respecto a los BPL bajo estudio y con las agrupaciones temporales. Es importante mencionar que, en la representación gráfica de la variación de los PSyP se retiraron aquellos predios cercanos a otros BPL ya existentes para que no se capture el beneficio adicional que otro BPL genere en estos predios. Se estimó un modelo de regresión polinómica entre el residuo del precio y la distancia a los BPL para capturar la tendencia en los momentos antes, durante y después de los BPL.

Al comparar las Figuras 2 y 3 se puede establecer que la agrupación temporal “antes y durante” y “después” muestra una proyección mayor de la variación de los PSyP que la agrupación “antes” y “durante y después”. En la Figura 2 se observa que el punto de corte de la proyección de los PSyP se puede establecer a 0,5 kilómetros desde los BPL bajo estudio.

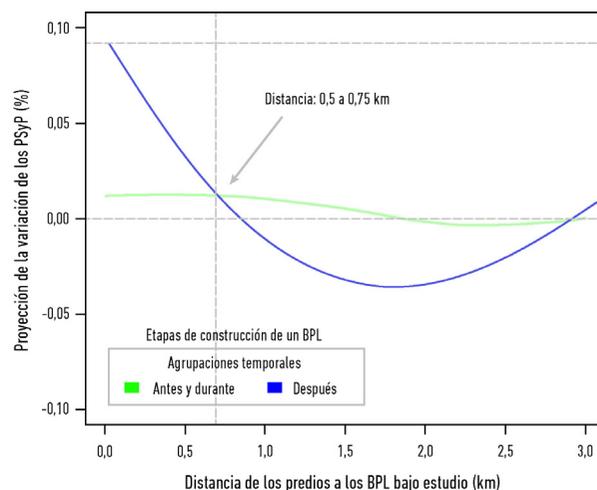


Figura 2. Efectos en los PSyP asociados a la distancia a las troncales BRT-TM en Bogotá bajo estudio. Agrupación temporal 1 (antes y durante - después).

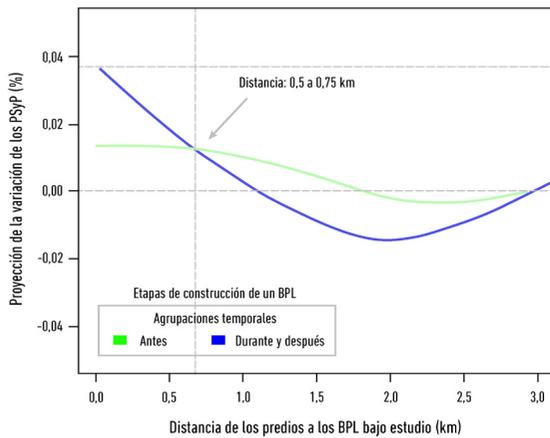


Figura 3. Efectos en los PSyP asociados a la distancia a las troncales BRT-TM en Bogotá bajo estudio. Agrupación temporal 2 (antes - durante y después).

Modelo para determinar los ingresos supletorios

Aquí el modelo de precios hedónicos se ajustó para valorar la accesibilidad, en términos de distancia como ya se mencionó, como atributo de los BPL y sus efectos en los PSyP. La participación de factores no observables en la explicación de las fluctuaciones en los PSyP se expresa en el error del modelo. Es decir, cuando los valores del error son bajos se puede afirmar que estos factores no observables participan poco en la explicación de los PSyP y viceversa. El modelo se concretó definiendo la variable dependiente (logaritmo natural de los PSyP) y las variables independientes presentadas en la Ecuación 3. Este modelo 2 permitió responder a la pregunta ¿cuántos ingresos supletorios generan los BPL bajo estudio? La Ecuación 3 integra como variable los resultados del modelo 1 (evaluación de impacto: ecuaciones [1 y 2]). Al integrar este resultado en el modelo 2, la zona de control quedó definida hasta la distancia 0,5 km y la zona de tratamiento quedó definida a partir de los 0,5 km hasta 2 km (elaborada a partir de Linden y Rockoff 2008 y Nowak y Sayago 2018).

$$\text{Log}(P_{hjt}) = \alpha_t + \theta_j + \beta X_{hjt} + \pi_1 D_{hjt}^{0.5Km} + \pi_0 D_{hjt}^{2Km} + (\psi_1 D_{hjt}^{0.5Km} DI_{hi} + \psi_0 D_{hjt}^{2Km}) \times Post_{hjt} + \epsilon_{hjt}$$

[Ecuación: 3]

Donde:

Log (P_{hjt}) = Logaritmo natural de los PSyP (*h*: predios, *j*: sector o UPZ, *t*: año).

α_t = Variaciones de la tendencia temporal o efectos fijos de tiempo.

θ_j = Predios en el mismo sector o efectos fijos espaciales (En este estudio se utilizan las Unidades de planeamiento zonal de Bogotá: UPZ).

β = Coeficientes estimados para las variables *x*.

X_j = Son las características de los predios estudiados (área del predio).

ε_t = Error o condiciones no capturadas por el modelo.

La variable (P) corresponde al logaritmo natural de los PSyP de cada observación (predio *h*). A estos predios, se les atribuye las características individuales de los sectores donde están localizados y el año del avalúo puntual. La variable (α) captura las variaciones de la tendencia temporal de cada año, esto equivale a los efectos fijos en el tiempo. De esta forma, se controlan los efectos del incremento temporal de los PSyP (por ejemplo, la inflación). La variable (θ_j) establece cuándo los predios se encuentran dentro del mismo sector (o UPZ) y equivale a los efectos fijos espaciales. La variable (X) corresponde a las características de los predios estudiados para determinar los cambios en los PSyP.

Aplicación de los modelos a las troncales BRT-TM en Bogotá

En la aplicación de los modelos, se utilizaron datos de avalúos puntuales (PSyP) como variable dependiente (Figura 4) y se utilizaron como variables independientes las estaciones de las troncales BRT-TM que corresponden a los BPL bajo estudio (Figura 4), las UPZ y el área de los predios. La Figura 4 presenta la georreferenciación de los PSyP (variable dependiente) constituida por una serie de 108.888 avalúos puntuales tomados entre 2004-2018 distribuidos por toda la ciudad, con los siguientes atributos: fecha del avalúo puntual, avalúo puntual (PSyP), uso predominante del predio, procedentes de la Unidad Administrativa de Catastro Distrital de Bogotá (UAECD), entidad encargada de fijar el valor de los predios que sirve como base para la determinación de los impuestos sobre estos.

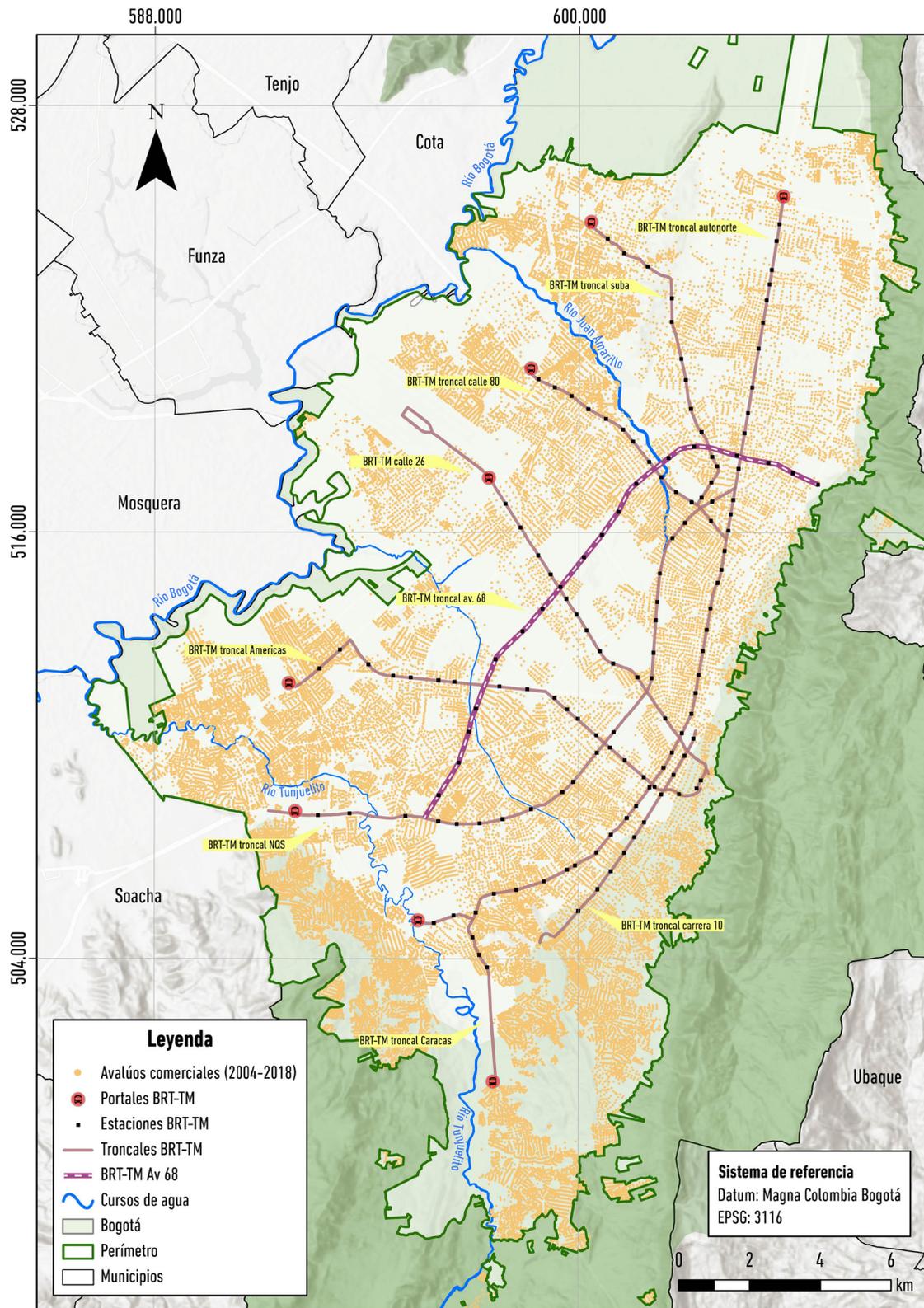


Figura 4. Troncales BRT-TM. Variable dependiente PSyP (avalúos comerciales puntuales 2004-2018). Datos: a partir de UAEDC (2018).

Tabla 1. Impactos en los PSyP asociados a la construcción de las troncales BRT-TM. Resultados del modelo 2 (Ecuación 3 distancia 0,5 km) incluyendo interacción con el inverso de la distancia

		Variable dependiente: logaritmo natural del avalúo (PSyP)
		Resultados de la Ecuación 3 (+ la inversa de la distancia)
Distancia 0 - 0,5 km	$\pi_1 D_{ijt}^{0.5km}$	0,131***
	Error estándar	(0,021)
Distancia 0 - 0,5 km (agrupación temporal: Después)	% de impacto en los PSyP de las estaciones de las troncal BRT	-0,029
	Error estándar	(0,024)
Distancia 0 - 0,5 km (agrupación temporal: después)	% de impacto en los psyp de las estaciones de las troncales brt multiplicado por la inversa de la distancia.	0,084** (8,4 %)
		(0,035)
Distancia 0,5 - 2 km		0,070***
		(0,006)
Distancia 0,5 - 2 km (agrupación temporal: Después)		-0,014**
		(0,006)
Predios bajo evaluación con sus respectivos PSyP		108.888
R ²		0,822
Ajustado R ²		0,821
Error residual estándar		0,361 (df = 108.791)

Estos resultados se presentan de manera desagregada acorde con el gradiente de la distancia resultado del modelo 1 (0,5 km) ver Figura 5. Esto permite identificar,

de manera puntual, la variación de los incrementos en los PSyP en función de la distancia a las estaciones de los BRT bajo estudio.

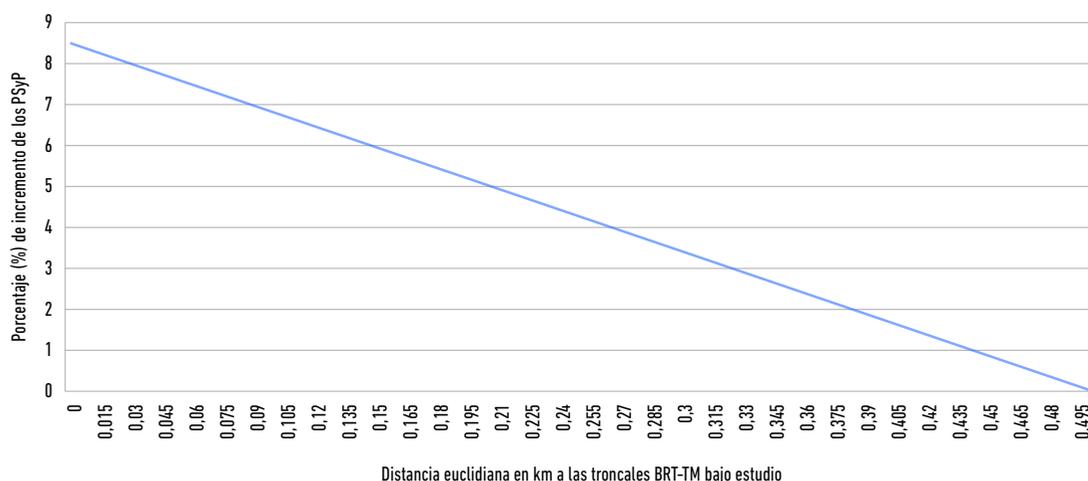


Figura 5. Incremento (%) de los PSyP según la distancia a las estaciones de las troncales BRT-TM evaluadas.

Proyección de ingresos supletorios de una troncal BRT en etapa de construcción

Los resultados de los modelos de evaluación de impacto y de estimación de ingresos supletorios se aplicaron a la troncal BRT-TM Avenida 68 en Bogotá en etapa de construcción. Lo anterior, con el fin de evidenciar el potencial tributario de los ingresos supletorios generados por esta troncal (ver Figura 4 y Tabla 3). Los resultados de esta aplicación muestran que la troncal Avenida 68 tiene potencial tributario para generar, aproximadamente, quinientos (521) millones de dólares estadounidenses en ingresos supletorios los cuales podrían ser susceptibles de captación tributaria. Estos resultados se presentan desagregados por franjas de beneficio que se establecieron

a partir de la localización de las estaciones proyectadas para el BRT-TM Avenida 68 (Ecuación 4).

$$\text{Franja de beneficio} = \text{distancia máxima de los beneficios} / \text{B \% Porcentaje de beneficio}$$

$$\text{Franja de beneficio} = 0,5 \text{ km} / 8,4 \% = 0,062 \text{ km}$$

[Ecuación: 4]

Según la Tabla 2, el número de predios en las franjas de beneficio cambia, no es regular. Esta distribución de los predios en las franjas de beneficio está relacionada con la morfología y tipología de la zona de impacto de la troncal BRT-TM Avenida 68. Esta distribución de los predios se debe tener en cuenta ya que puede generar confusión en la lectura de los resultados de los ingresos supletorios por franjas de beneficio.

Tabla 2. Ingresos supletorios potenciales troncal BRT-TM Avenida 68 (resultados por franjas de beneficio, predios y usos predominantes)

Franjas de beneficio	Distancias a las estaciones BRT-TM (m)	Número de predios	Uso predominante de los predios						Total USD
			Comerciales (USD)	Dotacionales (USD)	Industriales (USD)	Lotes (USD)	Otros usos (USD)	Residenciales (USD)	
8	500	17.143	3.580.777	636.993	714.830	9.687	983.613	7.510.175	13.436.076
7	437	14.153	7.547.644	1.850.680	1.401.211	257.159	1.605.544	13.754.080	26.416.318
6	375	13.544	12.020.185	3.863.777	1.755.056	247.018	1.956.540	22.271.933	42.114.508
5	312	13.319	13.266.099	15.191.941	1.380.734	563.707	8.656.355	29.653.099	68.711.934
4	250	10.125	21.959.935	12.673.983	5.096.693	235.686	3.609.747	26.933.324	70.509.367
3	187	13.215	43.924.239	8.062.085	3.154.629	591.554	4.632.400	35.164.206	95.529.112
2	125	20.551	78.583.237	8.072.451	4.500.553	2.009.301	9.798.522	42.970.789	145.934.853
1	62	6.559	30.923.451	2.616.463	1.341.695	963.987	6.858.257	14.795.073	57.498.925
	Total	108.609	211.805.565	52.968.374	19.345.401	4.878.097	38.100.977	193.052.680	520.151.094

Fuente: a partir de UAECB (2018). Tasa de cambio del 2 de marzo de 2022: USD 1 = COP 3.901. Banco de la República (2022).

En Colombia, en términos tributarios, se prevé la exención de aquellos predios cuyos propietarios tienen una baja capacidad de pago. Al aplicar esta exclusión a los resultados presentados en la Tabla 3,

los ingresos supletorios susceptibles de ser captados mediante un tributo tipo pigouviano se reducen a: USD 161 millones aproximadamente para el proyecto BRT-TM Avenida 68.

Discusión y conclusión

A partir de la revisión de la literatura no se encuentra un estudio previo que utilice avalúos puntuales (no obtenidos por técnicas de estimación masivas) como variable dependiente; por lo tanto, este es el primer estudio en utilizar este tipo de avalúos. Los estudios sobre impactos de los BRT en el precio de los predios usan con frecuencia precios de oferta de venta y/o alquiler propuestos (Rodríguez y Targa 2004; Rodríguez y Mojica 2009; Muñoz-Raskin 2010; Yang et ál. 2020; D'Elia, Conte y León 2020) y en pocas ocasiones los estudios tienen acceso al valor final de las transacciones de venta o alquiler (Filippova y Sheng 2020; Zhang et ál. 2020; Acton, Le y Miller 2022).

La diferencia entre utilizar en las estimaciones ofertas de venta o valores finales de las transacciones está en que las primeras incorporan el valor de expectativa mientras que las segundas no. En el mismo sentido, el uso de avalúos puntuales, como en este estudio, no incorpora las expectativas tanto de la oferta como de la demanda permitiendo objetivar todas las rentas del suelo en una localización espacial.

Otra de las fortalezas de este estudio consiste en el número de avalúos (observaciones) utilizados. Mientras que se evidenciaron estudios con menos de 10.000 observaciones (predios) (Rodríguez y Targa 2004 (N=494); Rodríguez y Mojica 2009 (N=3.976); Muñoz-Raskin 2010 (N=1.495); Yang et ál. 2020 (N=5.185); D'Elia, Conte y León 2020 (N=569); Zhang et ál. 2020 (N=5.391)); solo se encontraron dos estudios con más de 10.000 observaciones (predios) Filippova y Sheng (2020) (N=17.831) y Acton, Le y Miller (2022) (N=3.495 a N= 66.104). En este estudio se utilizaron 108.888 avalúos puntuales, distribuidos por toda la ciudad de Bogotá, con un rango de tiempo 2004-2018, cubriendo usos predominantes de los predios (industriales, comerciales, residenciales, de servicios y lotes sin desarrollar).

Además, la cobertura temporal de los avalúos utilizados en este estudio permitió establecer la variación de los PSYP para las diferentes etapas de desarrollo de los BRT (antes, durante y después).

Zhang et ál. (2020) evaluaron un BRT de tipo abierto (ligero, en palabras de Acton, Le y Miller (2022)); es decir, donde los buses alimentadores pueden hacer uso de la calzada exclusiva del BRT en Brisbane, Australia, y encontraron que el valor de la propiedad se incrementa hasta un 1,64 % por cada 100 m más cerca de las paradas del bus alimentador. Yang et ál. (2020) estudiaron los beneficios de la accesibilidad y los efectos de la proximidad

a las estaciones del sistema BRT en la isla de Xiamen (en Xiamen China) y encontraron que los predios localizados en una franja de hasta 200 metros, a partir de las estaciones BRT, incrementan su valor en 4,05 % en comparación con predios localizados a más de 400 metros. Yang et ál. (2020) señala la importancia de adelantar la captura de valor del suelo, asociada a los beneficios generados por la implementación de los BRT, por medio de la tributación, para evitar el *free-rider*; es decir, la apropiación indebida de los incrementos en los PSYP generados por los BRT.

Filippova y Sheng (2020) encontraron, en una franja de 800 metros, un aumento aproximado de 3,69 %, en los precios de oferta para la venta de las propiedades residenciales, como resultado de la apertura del BRT Ómnibus Norte en Auckland, Nueva Zelanda.

Uno de los primeros estudios posterior a la construcción de la primera línea BRT en Bogotá (Troncal Calle 80 - Avenida Caracas) mostró que los efectos de capitalización de la accesibilidad física local sugieren que las propiedades ubicadas a 5 minutos (de caminata) más cerca de las estaciones del BRT exhiben un mayor valor de alquiler entre 6,8 y 9,3 % (Rodríguez y Targa 2004). Cervero et ál. (2004) encontraron fluctuaciones positivas en los PSYP entre 6,4 % y 45 % entre 402 metros y 804 metros de distancia de las estaciones de los BRT. De manera similar, Muñoz-Raskin (2010) encontró que los predios residenciales ubicados a una distancia caminable de 5 minutos (411 metros) a partir de las estaciones reciben un aumento en el valor del 8,7 % en comparación con los predios que se encuentran a una distancia caminable de cinco a diez (822 metros).

El estudio de Rodríguez y Mojica (2009) identificó incrementos entre el 15 % y 20 %, aún antes de su construcción (efecto de expectativa), en las ofertas de venta de los predios localizados a una distancia de 500 metros a partir de las estaciones de las troncales BRT Calle 80 y Avenida Caracas. Sin embargo, estos resultados, al provenir el valor de oferta, no reflejan el valor final de la transacción que, en general, es menor.

Un estudio encontró que las propiedades dentro de los 300 m de una estación BRT tenían un valor 7,4 % más alto que aquellos dentro de 300-500 m, y 15 % más alto que aquellos dentro de 500-1000 m de la estación (Deng y Nelson 2010). En Seúl, las inversiones de BRT de Corea se asociaron con aumentos de precios de propiedades residenciales de entre el 5 % y el 10 % para residencias dentro de los 300 m de las estaciones de BRT y entre el 3 % y el 26 % para otros usos no residenciales dentro de los 150 m (Cervero y Kang 2011).

En un estudio que compara Quito con Bogotá (Rodríguez, Vergel-Tovar y Camargo 2016), en el análisis antes y después de los corredores BRT (entre las áreas de intervención de 250 metros y las de control), se encontró que los precios de los edificios de departamentos aumentaron 3 % para Corredor Norte, 5 % para Trole y disminuyeron 2,5 % para Ecovía; mientras que para viviendas unifamiliares los precios en Corredor Norte aumentaron 9,4 %.

Por su parte Guzmán, Enríquez y Hessel (2021) para las troncales BRT-TM en Bogotá Caracas Sur y Carrera 10 (para el suelo residencial) encontraron un valor promedio del precio del suelo 7,7 % más alto, en la franja hasta 200 metros desde las troncales. Sin embargo, el estudio de Guzmán, Enríquez y Hessel (2021) solo evalúa el beneficio de las troncales tipo BRT-TM en el suelo residencial y no establece un gradiente para diferenciar el efecto espacialmente.

El estudio de Acton, Le y Miller (2022) comparó sistemas BRT con y sin calzada exclusiva en 10 ciudades de los Estados Unidos y encontró, en algunas de las ciudades y tipos de BRT bajo estudio, fluctuaciones positivas en los PSYP (en Cleveland) entre 14,8 % y 41,5 % para predios residenciales en la franja de hasta 802 metros (Acton, Le y Miller 2022).

En los estudios anteriormente mencionados se encontró también la preferencia por el uso de modelos de precios hedónicos y las franjas de análisis para establecer las relaciones entre las variaciones en PSYP y las estaciones de los BRT. Estas franjas de análisis, en general, se establecen cada 100 metros a partir de las estaciones de los BRT; aunque predominan las franjas hasta 200 metros (control) y las franjas entre 400 y 500 metros (tratamientos) y en algunos estudios las franjas alcanzan distancia máxima entre 800 y 1.000 metros. Se evidencia también que esos estudios, en general, encuentran una variación positiva (incremento) entre los PSYP y las estaciones de los BRT tanto en los precios de arriendo como en los precios de ofertas y ventas de predios. Sin embargo, los resultados de los incrementos de los PSYP difícilmente resultan comparables entre sí debido a las diferencias en el tipo de datos que se utilizan como variable dependiente (ofertas de venta o alquiler (arriendo), datos catastrales, usos de los predios (residenciales (unifamiliares y multifamiliares), periodos de cobertura de los datos y número de datos utilizados).

Por el contrario, este estudio parte de un conjunto mayor de datos (N=108.888 avalúos puntuales) que los utilizados en los estudios mencionados anteriormente.

Sobre el tipo de datos, este estudio utilizó avalúos puntuales ya que estos interiorizan las diferencias de los predios (tipo de usos, localización, acabados, oferta y demanda) permitiendo que los resultados de los modelos sean más homogéneos. La cobertura temporal (2004-2018) y la distribución espacial (por toda la ciudad de Bogotá - véase Figura 4) de los avalúos puntuales utilizados en este estudio también contribuyen, de manera significativa, a fortalecer los resultados de este estudio. Otra característica de este estudio, que lo diferencia metodológicamente de la literatura sobre impactos de los BRT en los PSYP, radica en la determinación de las franjas de análisis. Como se mostró en la formulación de los modelos, en este estudio no se establecieron a priori las franjas de control y tratamiento, si no que las distancias de estas franjas son hallazgos del modelo de evaluación de impacto que permite responder hasta dónde se extienden los beneficios asociados a las estaciones de los BRT bajo evaluación (500 metros a partir de la localización de las estaciones de los BRT).

Los resultados del segundo modelo, determinación de ingresos supletorios, permite establecer el valor puntual, para cada uno de los predios localizados en la zona de control, del incremento de los PSYP generado por las estaciones de los BRT. A partir de estos resultados puntuales, es posible establecer el promedio (3 %), valor máximo (8,4 % a una distancia $X=0$ metros) y valor mínimo (0 % a una distancia mayor a 500 metros) de los incrementos en los PSYP (ver Tabla 3).

Conclusiones

Los tributos pigouvianos aplicados a los ingresos supletorios generados por las externalidades positivas asociadas a las estaciones de los BRT son una fuente de recursos públicos. La aplicación de los modelos evidenció la existencia de beneficios supletorios y, por ende, de ingresos supletorios disponibles para ser captados mediante la aplicación de tributos tipo pigouvianos. En Colombia, los tributos de tipo pigouvianos que se podrían implementar son la contribución especial por valorización o la plusvalía por obra pública.

Los modelos para estimar los ingresos supletorios, o rentas por localización, generados por nuevos o mejorados BPL y, en específico, por las estaciones de los BRT son aplicables a cualquier BPL.

Este estudio ofrece una solución frente a los efectos regresivos en la tributación producto de no captar los ingresos supletorios de los propietarios de los predios en las

zonas de beneficio de las estaciones BRT. En un sentido moral, captar los ingresos supletorios contribuye a corregir los efectos regresivos, en la tributación, que aporten a disminuir las desigualdades no justificadas (aquellas que generan injusticias) en los paisajes económicos.

Los modelos presentados en este estudio son aplicables en cualquier país y en cualquier ciudad donde el Estado financie nuevos o mejorados BPL. En especial, este estudio hace énfasis en la captación de ingresos supletorios generados por las estaciones asociadas a sistemas de transporte masivo tipo: metros, BRT, cables, teleférico, tranvías, trenes, entre otros.

Referencias

- Acton, Blake, Huyen Le y Harvey Miller. 2022. "Impacts of Bus Rapid Transit (BRT) on Residential Property Values: A Comparative Analysis of 11 US BRT Systems". *Journal of Transport Geography* 100: 103324. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2022.103324>
- Alonso, William. 1964. *Location and Land Use: Toward a General Theory of Land Rent*. Cambridge, MA y Londres: Harvard University Press. <https://doi.org/10.4159/harvard.9780674730854>
- Aoyama, Yuko, James T. Murphy y Susan Hanson. 2011. *Key Concepts in Economic Geography*. Londres: SAGE.
- Arenas, Hernando. 2021. "Redistribución espacial de los ingresos supletorios generados por las externalidades positivas asociadas a los bienes públicos locales". Tesis de doctorado en Geografía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/83519>
- Arenas, Hernando. 2022. "Paisajes urbanos e injusticia espacial: redistribución espacial de ingresos supletorios. Metodología para la redistribución de ingresos supletorios generados por bienes públicos locales". Ponencia presentada en XIV Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo, Madrid, del 16 al 17 de junio de 2022. <https://oa.upm.es/72766/>
- Azqueta, Diego. 1994. *Valoración económica de la calidad ambiental*. Madrid: McGraw-Hill Interamericana.
- Banco de la República. 2022. "Estadísticas económicas". Consultado el 2 de marzo de 2022. <https://www.banrep.gov.co/es/estadisticas/monedas-disponibles>
- Baumol, William y Wallace E. Oates. 1982. *La teoría de la política económica del medio ambiente*. Barcelona: Antoni Bosch Editor.
- Butler, Joseph H. 1986. *Geografía económica. Aspectos espaciales y ecológicos de la actividad económica*. México: Limusa.
- Camagni, Roberto. 2005. *Economía urbana*. Traducción de Vittorio Galletto. Barcelona: Antoni Bosch Editor.
- Cervero, Robert y Chang D. Kang. 2011. "Bus Rapid Transit Impacts on Land Uses and Land Values in Seoul, Korea". *Transport Policy* 18 (1): 102-116. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2010.06.005>
- Cervero, Robert, Steven Murphy, Christopher Ferrell, Natasha Goguts y Yu-Hsin Tsai. 2004. *Transit-Oriented Development in the United States: Experiences, Challenges, and Prospects*. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Washington, D.C.: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/23360>
- D'Elia, Vanesa V., Mariana Conte y Sonia León. 2020. "Bus Rapid Transit and Property Values in Buenos Aires: Combined Spatial Hedonic Pricing and Propensity Score Techniques". *Research in Transportation Economics* 80: 100814. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2020.100814>
- Deng, Taotao y John D. Nelson. 2010. "Can Bus Rapid Transit Stimulate Land Development? Evidence from Beijing Southern Axis BRT Line 1". Ponencia presentada en *European Transport Conference*, Glasgow, del 11 al 13 de octubre de 2010.
- Federal Transit Administration. 2017. "Bus Rapid Transit". Consultado el 9 de octubre de 2018. <https://www.transit.dot.gov/research-innovation/bus-rapid-transit>
- Filippova, Olga y Mingyue Sheng. 2020. "Impact of Bus Rapid Transit on Residential Property Prices in Auckland, New Zealand". *Journal of Transport Geography* 86: 102780. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102780>
- Gilly, Jean-Pierre y André Torre. 2000. "Proximidad y dinámicas territoriales". En *Territorio, conocimiento y competitividad de las empresas*, editado por Fabio Boscherini y Lucio Pom, 259- 294 Buenos Aires: Miño y Dávila Editores.
- Guzmán, Luis. A., Hernán D. Enríquez y Phillip Hessel. 2021. "BRT System in Bogota and Urban Effects: More Residential Land Premiums?" *Research in Transportation Economics* 90: 101039. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2021.101039>
- Harvey, David. 2007 [1977]. *Urbanismo y desigualdad social*. Traducido por Marina González Arenas. México: Siglo XXI.
- Hurd, Richard. 1903. *Principles of City Land Values*. New York: The Record and Guide.
- Ingram, Gregory y Yu-Hung Hong. 2012. "Land Value Capture: Types and Outcomes". En *Value Capture and Land Policies*, editado por Gregory K. Ingram y Yu-Hung Hong, 3-18. Cambridge, MA: Lincoln Institute of Land Policy.
- Lin, I-Hui, Changshan Wu y Christopher De Sousa. 2013. "Examining the Economic Impact of Park Facilities on Neighboring Residential Property Values". *Applied Geography* 45: 322-331. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.10.003>
- Linden, Leigh y Johan E. Rockoff. 2008. "Estimates of the Impact of Crime Risk on Property Values from Megan's Laws". *American Economic Review* 98 (3): 1103-1127.

- Mankiw, Nicholas. G. 1998. *Principios de economía*. Madrid: McGraw-Hill Interamericana.
- Muñoz-Raskin, Ramon. 2010. "Walking Accessibility to Bus Rapid Transit: Does it Affect Property Values? The Case of Bogotá, Colombia". *Transport Policy* 17 (2): 72-84. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2009.11.002>
- Nicholson, Walter. 2001. *Microeconomía intermedia y sus aplicaciones*. Madrid: McGraw-Hill Interamericana.
- Nowak, Adam y Juan Tomas Sayago. 2018. "Homeowner Preferences After September 11th, a Microdata Approach". *Regional Science and Urban Economics* 70: 330-351. <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2017.10.001>
- Paris, Mario. 2013. "De los centros urbanos consolidados a los lugares de centralidad: una propuesta metodológica para su estudio". *Ciudades*, no. 16, 47-69. <https://doi.org/10.24197/ciudades.16.2013.47-69>
- Pigou, Arthur C. 1946. *Economía del bienestar*. Madrid: Aguilar.
- Piketty, Thomas. 2014. *El capital en el siglo XXI*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Piketty, Thomas. 2015. *La economía de las desigualdades. Cómo implementar una redistribución justa y eficaz de la riqueza*. Buenos Aires: Siglo XXI.
- Pindyck, Robert S. y Daniel L. Rubinfeld. 2009. *Microeconomía*. Madrid: Pearson Educación.
- Pope, Jaren C. 2008. "Fear of Crime and Housing Prices: Household Reactions to Sex Offender Registries". *Journal of Urban Economics* 64 (3): 601-614. <https://doi.org/10.1016/j.jue.2008.07.001>
- Rodríguez, Daniel y Carlos H. Mojica. 2009. "Capitalization of BRT Network Expansions Effects into Prices of Non-Expansion Areas". *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 43 (5): 560-571. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2009.02.003>
- Rodríguez, Daniel y Felipe Targa. 2004. "Value of Accessibility to Bogotá's Bus Rapid Transit System". *Transport Reviews* 24 (5): 587-610. <https://doi.org/10.1080/0144164042000195081>
- Rodríguez, Daniel, Erik Vergel-Tovar y William F. Camargo. 2016. "Land Development Impacts of BRT in a Sample of Stops in Quito and Bogotá". *Transport Policy* 51: 4-14. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2015.10.002>
- Samuelson, Paul A. 1974. "La teoría pura del gasto público". En *La economía del bienestar*, editado por Kenneth J. Arrow y Tibor Scitovsky, 25-28. México: Fondo de Cultura Económica.
- Samuelson, Paul A. y William D. Nordhaus. 1999. *Economía*. Madrid: McGraw-Hill Interamericana.
- Smith, Neil. 2015. *Gentrificación urbana y desarrollo desigual*. Barcelona: Icaria
- Smolka, Martim y David Amborski. 2003. "Recuperación de plusvalías para el desarrollo: una comparación inter-americana". *EURE* 29 (88): 55-77.
- Titmuss, Richard M. 1962. *Income Distribution and Social Change*. Londres: Allen & Unwin.
- UAECD (Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital). 2018. "Infraestructura de Datos Espaciales". Consultado el 9 de octubre de 2018. <https://www.ideca.gov.co/recursos/mapas/mediana-del-valor-de-referencia-de-terreno-por-manzana>
- Valdivia, Marcos y Javier Delgadillo, eds. 2013. "Presentación". En *La geografía y la economía en sus vínculos actuales. Una antología comentada del debate contemporáneo*, 11-24. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Yang, Linchuan. 2021. *Properties Price Impacts of Environment-Friendly Transport Accessibility in Chinese Cities*. Singapore: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-16-8833-1>
- Yang, Linchuan, Xiaoling Chu, Zhonghua Gou, Hongtai Yang, Yi Lu y Wencheng Huang. 2020. "Accessibility and Proximity Effects of Bus Rapid Transit on Housing Prices: Heterogeneity Across Price Quantiles and Space". *Journal of Transport Geography* 88: 102850. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102850>
- Zhang, Min y Barbara T. H. Yen. 2020. "The Impact of Bus Rapid Transit (BRT) on Land and Property Values: A Meta-Analysis". *Land Use Policy* 96: 104684. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104684>
- Zhang, Min, Barbara T. H. Yen, Corinne Mulley y Neil Sipe. 2020. "An Investigation of the Open-System Bus Rapid Transit (BRT) Network and Property Values: The Case of Brisbane, Australia". *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 134: 16-34. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.01.021>

Hernando Arenas Castro

Doctor en Geografía, magíster en Urbanismo, especialista en Sistemas de Información Geográfica y Geógrafo. Tesis meritoria de doctorado: Redistribución espacial de los ingresos supletorios generados por los bienes públicos locales. Experiencia de 24 años en el sector público.