

IMPACTO DEL METROPLÚS SOBRE LOS PRECIOS DE VIVIENDA EN MEDELLÍN, COLOMBIA¹

Luz Yadira Gómez Hernández*
Viktoriya Semeshenko**

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es establecer el impacto del Metroplús, el sistema BRT de Medellín sobre los precios de vivienda en la ciudad, utilizando datos de corte transversal repetidos de la Encuesta de Calidad de Vida de Medellín 2010 y el 2014. A través de una estimación de diferencias en diferencias a nivel de ciudad y por zonas, la investigación encuentra que la accesibilidad al Metroplús tuvo un efecto negativo sobre la tasa de crecimiento de los precios de alquiler que puede atribuirse a las diferencias de implementación y los resultados en cada zona de la ciudad.

Palabras clave: Transporte público, sistemas de buses rápidos, modelo de Precios hedónicos, estimador de diferencias en diferencias.

ABSTRACT

This paper aims to establish the impact of the Metroplús, the BRT system of Medellín, on housing prices in the city using repeated cross-section data from the Encuesta de Calidad de Vida de Medellín 2010 and 2014. Through a Difference-in-Differences estimation on the city level as well as per areas, the research found that accessibility to Metroplus had a negative impact on the renting prices growth rate associated with differences in its implementation and results across the urban area.

Keywords: Public transportation, Bus Rapid Transit, hedonic price model, difference in difference estimator.

¹ Los autores agradecen al Centro de Documentación del Departamento de Planeación Municipal de la Alcaldía de Medellín por facilitar los datos de la Encuesta de Calidad de Vida de Medellín 2010 y 2014, que han permitido desarrollar esta investigación.

*Grupo de Investigación "Economía, cultura y políticas", FCHE, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.

Correo electrónico: lygomez@unal.edu.co

**Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Económicas. Buenos Aires, Argentina.

CONICET-Universidad de Buenos Aires. Instituto Interdisciplinario de Economía Política de Buenos Aires (IIEP-BAIRES). Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: vsemesh@econ.uba.ar

Códigos JEL: R580, R530, O180.

I. Introducción

Los sistemas BRT (*Bus Rapid Transit*) han ganado popularidad en el mundo en los últimos 15 años como una alternativa efectiva para un transporte urbano sostenible, por su menor costo comparado con los sistemas de trenes y su habilidad para transportar grandes masas en tiempos comparables. En América Latina, quince países cuentan con sistemas BRT urbanos, mientras que en Colombia ya ocho ciudades tienen uno en funcionamiento. Entre ellos se encuentra el sistema Metroplús de la ciudad de Medellín, que tiene la característica de ser el único en el país, que hace parte de un sistema de transporte integrado y multimodal (SITVA),² que cuenta hoy además con dos líneas de trenes, dos líneas de tipo teleférico, un tranvía, un sistema de bicicletas y rutas alimentadoras de buses.

El SITVA fue concebido como una alternativa sostenible para resolver los problemas de movilidad de la ciudad y ha representado un esfuerzo importante en términos de planeación e inversión pública. Sin embargo, pocos trabajos se han ocupado de medir los efectos que ha tenido su puesta en marcha sobre los precios de vivienda. Bajo estos elementos, este trabajo se propone estudiar los efectos que la accesibilidad al Metroplús, medida como la cercanía a una de las estaciones de la Línea 1, ha tenido sobre los precios de vivienda en Medellín, utilizando el enfoque hedónico planteado inicialmente por Rosen (1974) que permite estimar el valor que confieren los consumidores a los *amenities* que les generan mayor bienestar, a través de la disponibilidad a pagar que tienen por sus viviendas.

La investigación recurre a datos de sección cruzada repetidos provenientes de la Encuesta de Calidad de Vida de Medellín (ECVM) para los años 2010 y 2014, de los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) de Medellín 2006 y 2014 y estadísticas demográficas³ del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). La disponibilidad de datos antes y después de la puesta en marcha de este sistema, permite hacer una evaluación de impacto mientras que el estimador de diferencias en diferencias ayuda a reducir el sesgo por variables omitidas, y a eliminar el

2 Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá.

3 Proyecciones de población para el año 2010 y 2014.

efecto por diferencias pre-existentes entre las viviendas ubicadas dentro del área de acceso al Metroplús y el resto de la ciudad.

Este estudio aporta a la investigación previa por ser el primer esfuerzo por analizar la relación de causalidad entre el Metroplús y los cambios en los precios de vivienda en la ciudad de Medellín y como tal, constituye una línea base para el análisis de los patrones de bienestar al interior de la ciudad. Segundo, dado que a la fecha se han encontrado pocos estudios con una evaluación de impacto de los sistemas BRT en el mundo servirá para robustecer la literatura empírica al respecto. Tercero, los datos utilizados contienen más información que otros estudios sobre el impacto de un esquema BRT en los precios de vivienda en Colombia (Rodríguez y Targa, 2004; Rodríguez y Mojica, 2009 y Perdomo, 2011; en el TransMilenio de Bogotá).

En este orden de ideas, el trabajo se divide en cinco apartados. El segundo presenta una revisión de estudios empíricos previos. El tercero presenta el diseño de la investigación, con todas las consideraciones respecto a la delimitación del objeto de estudio, su dominio espacial y temporal, la elección de la forma funcional, los datos y el método de estimación. En el apartado cuatro se encuentran los resultados. Finalmente se presentan las conclusiones.

II. Revisión de la literatura

Los modelos de precios hedónicos empezaron a gestarse en la década del sesenta con el trabajo de Lancaster (1966) quien plantea que la utilidad percibida por el consumo de un bien se deriva de sus características. Más tarde, Rosen (1974) los define de forma explícita como los "...precios implícitos de los atributos (de los bienes) que son revelados por los agentes económicos en los precios observados de productos diferenciados y la cantidad de características asociadas con ellos" (Rosen, 1974, p.34). Así, se entienden como la relación funcional entre los precios de los bienes y sus características (Duque et al., 2011).

Desde entonces este enfoque ha sido utilizado para medir el impacto de diferentes equipamientos sobre los precios de vivienda en zonas urbanas incluidos los efectos de la infraestructura de transporte. En este último caso, predominan en la literatura empírica las investigaciones sobre los

efectos de trenes de diferente tipo (Smith et al. 2013). Sin embargo, durante los últimos años y a medida que se ha popularizado la implementación de BRT en el mundo, también lo han hecho las investigaciones sobre el efecto de estos sistemas (Mulley y Tsai, 2016), sin llegar a un consenso sobre el signo, la magnitud y las condiciones bajo las cuales se presenta el impacto.

A nivel internacional, Cervero y Duncan (2002) no encontraron evidencia consistente de un incremento en los precios de vivienda por la puesta en marcha del sistema BRT en Los Ángeles. Por su parte, las investigaciones de Cervero y Kang (2011), Dubé et al. (2011) y Mulley et al. (2016) encuentran efectos positivos sobre los precios de vivienda y en el caso del primer estudio, un poderoso efecto de reconfiguración de las áreas urbanas. Cervero y Kang (2011) encuentran evidencia de un incremento de 5% - 10% en viviendas dentro de los 300 metros cercanos a una estación y de 3% - 25% en tiendas y propiedades no residenciales cercanas en 150 metros. Además, encuentran que el sistema generó una conversión de viviendas familiares a apartamentos y condominios en las zonas cercanas.

Dubé et al. (2011) utilizan un diseño cuasi experimental, a través de un estimador de diferencias en diferencias y encuentran un incremento del 3% al 7% en el costo de las viviendas cercanas al Sistema en Quebec (Canadá) que está restringido a las propiedades ubicadas suficientemente lejos para evitar el ruido pero suficientemente cerca para acceder fácilmente al sistema. En Brisbane, Mulley et al. (2016) encuentran que por cada 100 metros de cercanía a una estación de BRT se incrementan los precios de vivienda en 0,14%, y sugieren que la baja magnitud del efecto respecto a estudios anteriores puede deberse a la alta dependencia de los australianos a los vehículos privados.

Algunas investigaciones encuentran efectos positivos, aunque poco significativos, muy pequeños o difíciles de atribuir al sistema. Perk y Catala (2009) encuentran que la cercanía al sistema BRT en Pittsburg incrementa el precio de transacción de las viviendas en cerca del 16%; sin embargo, sugieren que la magnitud del efecto puede deberse a otros factores que, por falta de datos, no fueron tenidos en cuenta en el estudio. Por su parte, Mulley y Tsai (2016) plantean que las propiedades dentro de un radio de 400 metros de las paradas del BRT tienen precios de transacción marginal-

mente más altos (11%) en Sídney, aunque la evidencia no es fuerte dado el nivel de significatividad del 9%.

En otros casos, los efectos sobre la misma ciudad pueden variar dependiendo de los datos utilizados y la línea de estudio. Zhang y Wang (2013) estudiaron el impacto de tres tipos de proyectos de transporte masivo en China, entre ellos, una línea de BRT en Beijing y a pesar de encontrar el efecto negativo esperado de la distancia a una estación, no encuentran una influencia medible sobre los precios de oferta de las viviendas. Los autores atribuyen este resultado a tres aspectos: *i*) el sistema no tiene una vía fija y por tanto, los inversionistas no tienen incentivos para incrementar su disponibilidad de pago en las áreas cercanas, *ii*) los residentes asocian el sistema con efectos negativos como la polución, y *iii*) la muestra utilizada en el estudio no es suficientemente grande para capturar el efecto de interés. En un estudio posterior, Zhang et al. (2014) estudian el mismo caso, con tres líneas del sistema BRT, fuentes de datos diferentes y una muestra más grande. Los resultados muestran que se presentó una importante capitalización en una de las líneas estudiadas mientras que en las otras dos encuentran evidencia contraria o no significativa.

En América Latina, los estudios sobre los efectos de un sistema BRT en los precios de vivienda se concentran en Colombia. Considerado por muchos como un ejemplo (Rodríguez y Mojica, 2009), el sistema BRT de Bogotá (Transmilenio) ha sido objeto de diferentes investigaciones utilizando el enfoque hedónico, lo que ha permitido a los autores no solo estudiar el efecto de la accesibilidad al sistema en diferentes áreas de la ciudad con diferentes características socioeconómicas sino utilizar métodos y formas funcionales distintas.

Utilizando datos de oferta de alquiler de 494 propiedades residenciales multifamiliares Rodríguez y Targa (2004) estudian el valor de la accesibilidad a las estaciones del sistema. Los resultados muestran que la cercanía a una estación está asociada con precios de oferta de alquiler, entre 6,8% y 9,3% más altos, dependiendo de la distancia a la estación. Posteriormente Perdomo et al. (2007) encuentran que las viviendas cercanas con fácil acceso al BRT reciben un “premio” que se refleja en un incremento de máximo 22% en los precios de oferta de venta para predios residenciales.

Rodríguez y Mojica (2009) utilizan un enfoque de antes – después con el que encuentran que el efecto de una expansión del TransMilenio sobre los precios de oferta de propiedades que desde antes tenían acceso al sistema en Bogotá es de 13% - 14%. La apreciación fue similar para viviendas en el área de 500 metros y de un kilómetro alrededor del BRT, lo que puede evidenciar la influencia de otros factores sobre estos resultados.

Munoz-Raskin (2010) encuentran un incremento para las propiedades ubicadas a menos de 5 minutos caminando a las líneas alimentadoras y un leve incremento anual en los precios de las propiedades cercanas. A diferencia de los demás estudios encontrados, los autores estudian el efecto por estrato socioeconómico y plantean que las propiedades de ingreso medio están valoradas con mayor precio si están más cerca del sistema mientras que para las viviendas en estratos más bajos los resultados fueron los opuestos. Perdomo (2011) encuentra que por cada metro lejos de la estación del TransMilenio en Bogotá los precios de vivienda caen un 0.05%.

Los estudios realizados en Bogotá sugieren que existe un incremento de precios asociado a la accesibilidad al sistema TransMilenio (Rodríguez y Targa, 2004; Munoz-Raskin, 2010; Perdomo, 2011); sin embargo, las magnitudes del efecto difieren profundamente y, como plantean Rodríguez y Mojica (2009), pueden existir otras variables no incluidas en los estudios que hacen que el efecto sea mucho mayor, lo que genera un problema de variables omitidas. Además, predominan los datos de oferta de vivienda que ante la posibilidad de negociar el precio final, puede generar distorsiones.

En Medellín hasta la fecha no se encuentra ningún trabajo sobre el efecto del Metroplús sobre los precios de vivienda. Existe, sin embargo, un estudio que utiliza el enfoque de precios hedónicos para analizar el efecto del SITVA sobre los precios de vivienda. Duque et al., (2011), estiman el cambio en los precios de 89 viviendas de Medellín cercanas a la estación de Metro San Javier, utilizando datos de avalúos de una compañía privada. Sus resultados muestran que la cercanía a una estación del metro tiene una influencia positiva en los precios de las viviendas en un radio de 600 metros alrededor de la estación; sin embargo, el efecto es negativo en las viviendas cercanas al acceso al metro.

Una deficiencia clave en el análisis de impacto de sistemas BRT utili-

zando métodos tradicionales de estimación de precios hedónicos, es la disponibilidad de datos adecuados (Zhang y Wang, 2013; Parmeter y Pope, 2013). Esto genera tres dificultades claves en la mayor parte de los estudios encontrados: *i*) utilizan datos de sección cruzada porque no cuentan con precios de vivienda antes y después del proyecto que permitan encontrar un efecto causal ; *ii*) las fuentes de información, en muchos casos son páginas web de oferta de propiedades para venta y alquiler, *iii*) carecen de datos que puedan capturar otros factores que afectan las decisiones de los agentes, por lo que no pueden controlar las influencias endógenas sobre la decisión de compra.

La revisión evidencia que los trabajos que utilizan métodos de estimación basados en análisis de regresión simple tienden a encontrar efectos de mayor magnitud que aquellos que confían en estimaciones con métodos espaciales y especialmente, los que utilizan cuasi-experimentos. Esta última metodología permite estimar una relación de causalidad y constituye una buena opción para evitar endogeneidad y sesgos por variables omitidas, pero tienen mayores requerimientos sobre los datos.

En la literatura de medición del impacto de un nuevo sistema de BRT, los trabajos de Rodríguez y Mojica (2009) y Dubé et al. (2011), constituyen los primeros esfuerzos utilizando datos de varios años, mientras que la investigación de Perdomo (2011) si bien no constituye un estudio de antes-después hace una comparación entre un grupo de tratamiento y un grupo de control, lo cual puede acercarse a una mejor estimación del efecto causal del sistema BRT sobre los precios de vivienda. Pensando en la carencia de estudios en Medellín y atendiendo a la disponibilidad de datos, este estudio plantea un enfoque cuasi experimental para la estimación del modelo hedónico que permita capturar el efecto causal del sistema BRT sobre los precios de vivienda.

III. Metodología

III.1. El Sistema BRT de Medellín

Medellín está ubicada en la zona noroccidental de Colombia, en el Valle de Aburrá y es la segunda ciudad más importante del país. Su área urbana está dividida en seis zonas y dieciséis comunas que, a la vez, se sub-

dividen en 249 barrios. Uno de los proyectos más importantes de la ciudad ha sido el Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá (SITVA), que constituye un esfuerzo por planear e invertir en infraestructura para un transporte urbano sostenible que permita resolver los problemas de movilidad de la ciudad. La operación del SITVA inició con las líneas A y B del Metro en el año 1995 y 1996, respectivamente.

En el año 2000, se plantearon proyectos para generar corredores masivos que integraran a la comunidad de la poblada periferia del Valle de Aburrá al Metro siguiendo un modelo de espina de pescado. Como parte de esta iniciativa, en el año 2004 se puso en marcha el Metrocable Línea K ubicado en la zona Nororiental y en 2008 el Metrocable Línea J en la zona centro occidental. Más tarde, inicia la operación de las líneas 1 en 2011 y la 2 en 2012 del Metroplús (sistema BRT de la ciudad). Actualmente el sistema llega a todas las comunas de la ciudad, excepto a la 6 y 7 en la zona noroccidental, y la ciudad se ha convertido en referente en la implementación de un sistema de transporte inclusivo, sostenible y limpio. El Anexo A presenta en detalle el esquema del SITVA.

Las obras de construcción del Metroplús iniciaron a finales de 2005 y continuaron hasta el año 2014. Este sistema atraviesa la ciudad de oriente a occidente conectándose en varias estaciones con la línea A del Metro que va de norte a sur, funciona con combustible a gas natural, lo que reduce sus impactos negativos sobre el medio ambiente y está compuesto por 2 líneas de 21 estaciones cada una. La línea 1 circula por la troncal de Medellín, un corredor vial de 12,5 km, que inicia en la zona suroccidental de la ciudad (comuna 16), con la estación cabecera Universidad de Medellín y termina en la zona nororiental. El sistema tiene otras seis estaciones en la Comuna 16 y viaja desde ahí por las comunas 15, 10, 4 y 3. La integración con el Metro de Medellín se da en 3 estaciones: Industriales y Hospital en la línea A y Cisneros en la línea B.

La línea 2 del Metroplús coincide con la línea 1 en 13 de sus 21 estaciones, excepto en el trayecto que cruza por el centro de la ciudad, en donde no tiene estaciones fijas sino paraderos y los buses comparten la vía con los vehículos de transporte público y privado. Por esto, se delimitó el objeto de estudio a la línea 1 del Metroplús siguiendo a la literatura teórica y

empírica que establece que cuando no existe garantía de que las estaciones permanecerán, la incertidumbre que se genera hace que la disponibilidad a pagar de los demandantes por las propiedades cercanas al sistema no se modifique (Zhang y Wang, 2013; Hensher y Mulley, 2015). Varios autores argumentan que solamente si las estaciones de los sistemas BRT son permanentes y existe un carril separado, estos pueden generar un impacto sobre los precios de vivienda (Deng y Nelson, 2013).

III.2. Análisis cuasi experimental

Uno de los supuestos principales del modelo hedónico es que las preferencias por una vivienda son débilmente separables en sus características. Esto implica que la demanda puede escribirse como una función del precio de la propiedad en la que se asume información perfecta ya que los consumidores perciben todas las características relevantes de la propiedad y las tienen en cuenta al tomar su decisión de compra. Bajo este planteamiento, el problema de decisión consiste en la maximización de la utilidad sujeto a la restricción presupuestaria en la compra de vivienda (Anselin y Lozano-Gracia, 2009).

De forma simple, la función hedónica es un precio de equilibrio en el que el precio de la vivienda *es* definido como:

$$P_i = P(N_i, S_i) \quad (1)$$

Donde N_i representa las características de barrio, incluidos los *amenities* disponibles y S_i las características estructurales de la propiedad. Dichos *amenities* pueden ser positivos como instituciones educativas, bibliotecas, parques, agua potable y acceso a transporte o negativos como la polución, la inseguridad y el ruido. Pueden aparecer con las condiciones naturales del entorno como resultado de un proceso de transformación o través de las acciones de los agentes públicos o privados, lo que significa que las políticas locales pueden influenciar su aparición o modificar los existentes con un efecto sobre las condiciones de vida de los habitantes (Lora et al., 2010). La regresión hedónica tradicional tiene la forma:

$$P_{ij} = \alpha + \eta_h S_{ij}^h + \partial_n N_{ij}^n + \mu_{ij} \quad (2)$$

Siendo P el precio de la propiedad i ubicada en el barrio J , S_{ij}^h una matriz de características de las h viviendas, N_{ij}^n los *amenities* y otras características disponibles en el barrio. α y μ_{ij} representan la constante y el término de error respectivamente. Bajo el supuesto de que los consumidores están dispuestos a pagar más por viviendas que les permiten acceder a un mayor número de *amenities* que mejoran su bienestar, *Ceteris Paribus* las viviendas con acceso a un mayor número de ellas deben ser más costosas y el diferencial de precio constituye una medida del valor de los *amenities* expresado a través de la transacción, por lo que estos precios implícitos están representados por los coeficientes de la regresión.

Al evaluar el impacto de una política como es la implementación del Metroplús, es ideal utilizar diseños experimentales o experimentos naturales, en los que la asignación en el programa está determinada de forma aleatoria; sin embargo, la no aleatoriedad es casi inherente en la asignación de los beneficiarios de este tipo de políticas públicas que son diseñadas para una población determinada y generan incentivos para que los individuos estén interesados en autoseleccionarse como participantes. Por esta razón, es más común encontrar diseños cuasi experimentales, que permiten crear grupos de beneficiarios y de control con características pre-programa similares para estimar el efecto de una variable de política sobre una variable resultado, conocido como el Efecto de Tratamiento (ET) (Aedo, 2005; Cerulli, 2015).

En la aplicación de diseños cuasi experimentales con precios hedónicos, el ET sobre la unidad representa la diferencia entre el precio de las viviendas en el grupo de tratamiento que reciben los beneficios de la política y el precio que habrían tenido estas mismas unidades de no haber sido beneficiarios. Sin embargo, es imposible observar la unidad en ambos estados y, por tanto, el investigador se enfrenta a un problema de observaciones faltantes. Como solución a este problema, la literatura sugiere estudiar medidas de tendencia central, específicamente la media de los precios en el grupo de tratamiento y el grupo de control. Al hacerlo, se puede estimar el Efecto Promedio de Tratamiento (EPT) que describe el promedio sobre toda la población de los efectos de tratamientos individuales (Parmeter y Pope, 2013).

El mejor método para estimar el EPT dependerá del tipo de datos disponibles y de las condiciones institucionales y normativas del lugar en que se implementa la política a estudiar. La selección del método dependerá de si existen y de qué tipo son los factores inobservables (sesgo escondido) que impactan significativamente la asignación no aleatoria del tratamiento (Pope, 2008; Parmeter y Pope, 2013; Cerulli, 2015). Además, es importante identificar si los inobservables son contingentes o genuinos.

Los inobservables contingentes son elementos respecto a los cuales no se tiene información en la base de datos disponible y por tanto, afectan las estimaciones del EPT. Los genuinos son factores imposibles de medir, como la propensión a incurrir en riesgo o actitudes éticas de los compradores y vendedores en un mercado inmobiliario. De no tener en cuenta estos factores, la interpretación de los resultados puede descansar en supuestos equivocados resultando también en prescripciones de política erróneas (Parmeter y Pope, 2013).

En este estudio se pueden identificar ambos tipos de inobservables. En primer lugar, la selección de la ubicación de las estaciones del sistema Metroplús fue pensada con el objetivo de llevar el SITVA a comunas que antes no lo tenían, seguir su esquema de espina de pescado y revitalizar ciertas áreas de la ciudad. La ubicación de las estaciones pudo estar acompañada de otros cambios en las características estructurales de las viviendas en los sectores cercanos que afectan sus precios, como en el caso de Seúl (Corea), estudiado por Cervero y Khang (2011). Además, ante las externalidades del sistema percibidas por los habitantes de la ciudad, muchos pudieron tomar la decisión de mudarse, generando problemas de autoselección.

De acuerdo con Cerulli (2015), en estos casos se pueden utilizar tres enfoques para mejorar las estimaciones: variables instrumentales (VI), modelos de selección (MS), y diferencias en diferencias (DD). La implementación de estos tres métodos requiere ya sea información adicional o supuestos adicionales que no siempre están disponibles o son viables: el Método de VI requiere información sobre una variable adicional que esté in-correlacionada con los otros regresores de la ecuación. El MS requiere mantener el supuesto de normalidad conjunta de los términos de error de

los resultados potenciales mientras que DD requiere tener observaciones para antes y después del tratamiento.

Para esta investigación, el modelo de diferencias en diferencias (DD) es el más apropiado por varias razones. Es un enfoque que trata la selección endógena sin necesidad de otra variable o supuestos adicionales sobre la distribución de los errores (Angrist y Krueger, 2001), apto tanto para selección observable como no observable. Su aplicación permite explotar el cambio de estatus de un grupo en el tiempo para identificar el efecto promedio de tratamiento, es decir, explota la variación tiempo-espacio (Parmeter y Pope, 2013) y se puede utilizar en contextos de evaluación en los que los datos observacionales para las unidades tratadas y de control están disponibles para antes y después del tratamiento, ya sea para un conjunto de individuos iguales o diferentes. Esto implica que se pueden usar datos de panel en los que se tiene información de los precios de la misma propiedad en los dos periodos o que se puede implementar con datos de sección cruzada repetidos, en los que las viviendas observadas antes y después de la política, son diferentes.

III.2.a. Diferencias en Diferencias con datos de sección cruzada repetidos

Estadísticamente, se consideran dos periodos de tiempo t_0 y t_1 ($t_0 < t_1$) donde t_0 denota el momento del tiempo en que aún no se ha hecho la intervención y el mercado está partido en el área de influencia del Metroplús o área de tratamiento (M_1) y el área de control (M_0), que no tiene ninguna estación del sistema cercana. Así, el cambio de política ocurre en el área M_1 en algún momento entre t_0 y t_1 . Entonces, se puede describir el evento $M_i=1$ si la vivienda i está en la región en la que se dio la intervención de política independientemente del tiempo. Si además, se define el momento de la intervención como $\tau_t = 1$ y si $t = \tau_t$, la variable que capturará el efecto de política es $D_{1it} = \tau_t M_i$

En términos de tratamiento (1), vivienda i y tiempo t , se puede plantear un modelo de resultados potenciales (MRP), que vincula los resultados observables e inobservables y presenta el precio de la vivienda bajo tratamiento como precio inicial más la variación del precio por efecto de la política de la siguiente forma:

$$P_{it} = M_{oit}P_{oit} + M_{1it}P_{1it} = P_{oit} + M_{1it}(P_{1it} - P_{oit}) \quad (3)$$

En este contexto de no aleatoriedad, el estimador de diferencias en diferencias (EDD), en términos de los resultados potenciales, se define como:

$$EDD = E[P_{it_1} - P_{it_0}|X = x, M_i = 1] - E[P_{it_1} - P_{it_0}|X = x, M_i = 0] \quad (4)$$

Y en términos de resultados observables será:

$$EDD = E[P_{1it_1} - P_{oit_0}|X = x, M_i = 1] - E[P_{oit_1} - P_{oit_0}|X = x, M_i = 0] \quad (5)$$

Esto implica que el estimador es la diferencia entre dos esperanzas. La primera esperanza es la que cambian el tiempo y el estatus de tratamiento, mientras que en la segunda solamente cambia el tiempo. Si las viviendas en M_1 y M_0 son idénticas entonces los cambios en los precios en el tiempo capturan el mismo fenómeno, excepto para aquellas viviendas en que también están afectadas por el cambio de política. Así, la diferencia entre las esperanzas debe poder atribuirse a la implementación del Metroplús. Para hacerlo más intuitivo, Parmeter y Pope (2013) presentan la posibilidad de introducir un contrafactual,⁴ $E[P_{oit_1} - P_{oit_0}|X = x, M_i = 1]$ en la ecuación anterior:

$$EDD = (E[P_{1it_1} - P_{oit_0}|X = x, M_i = 1] - E[P_{oit_1} - P_{oit_0}|X = x, M_i = 1]) + (E[P_{oit_1} - P_{oit_0}|X = x, M_i = 1] - E[P_{oit_1} - P_{oit_0}|X = x, M_i = 0]) \quad (6)$$

Esto describe el EDD como la suma de dos piezas, un efecto de tiempo:

$$DDE(\text{tiempo}) = (E[P_{oit_1} - P_{oit_0}|X = x, M_i = 1] - E[P_{oit_1} - P_{oit_0}|X = x, M_i = 0]) \quad (7)$$

y un efecto tratamiento:

$$DDE(\text{tratamiento}) = (E[P_{1it_1} - P_{oit_0}|X = x, M_i = 1] - E[P_{oit_1} - P_{oit_0}|X = x, M_i = 1]) = E[P_{1it_1} - P_{oit_0}|X = x, M_i = 1] \quad (8)$$

⁴ El concepto de contrafactual o causalidad contrafactual, asume que la causalidad toma la forma de una comparación entre el resultado de una unidad cuando es tratada y el resultado de la misma unidad cuando no lo es. Si se puede observar la unidad solamente en el estado de tratada, el estado la estimación del efecto de tratamiento en diseños experimentales y cuasi experimentales. de "no tratada" se define como el estado contractual, que es inobservable (Cerulli, 2015).

Para atribuir la estimación del EDD completamente a la política, el efecto tiempo debe ser cero. Este efecto tiempo juega un rol importante en la validez de cualquier establecimiento causal para estimar el efecto de tratamiento estimado utilizando EDD. Lo interesante de este diseño es que puede ayudar a superar los problemas de variables omitidas que pueden explicar el efecto tiempo. Nótese que el efecto tiempo se puede reescribir como:

$$DDE(\text{tiempo}) E[P_{oit_1}|X = x, M_i = 1] - E[P_{oit_1}|X = x, M_i = 0]$$

$$- E[P_{oit_0}|X = x, M_i = 1] - E[P_{oit_0}|X = x, M_i = 0]$$

Si el efecto tiempo es igual a cero, entonces:

$$(E[P_{oit_1}|X = x, M_i = 1] - E[P_{oit_1}|X = x, M_i = 0])$$

$$= E[P_{oit_0}|X = x, M_i = 1] - E[P_{oit_0}|X = x, M_i = 0]$$

Y podemos ver que este tipo de esperanza es más débil que asumir

$$E[P_{oit_1}|X = x, M] = E[P_{oit_1}|X = x,] \text{ y } E[P_{1it_1}|X = x, M] = E[P_{1it_1}|X = x]$$

Ya que esto implica suponer que los dos lados de la ecuación son cero y por lo tanto, no es necesario que las dos áreas de vivienda sean idénticas. Es decir, las dos áreas pueden diferir sistemáticamente siempre y cuando el cambio en los precios de vivienda a lo largo del tiempo para las dos áreas, en esperanza, se mantenga. De esta manera en este contexto en el que existen variables inobservables importantes que impactan los precios de vivienda, aún es posible estimar el efecto de tratamiento (Parmeter y Pope, 2013).

Para disminuir los sesgos de selección y la presencia de variables omitidas en este tipo de diseño cuasi experimental es importante identificar un dominio espacial y temporal adecuado. Luego de una revisión cuidadosa de la literatura, en esta investigación se definió el cambio exógeno como la accesibilidad al Metroplús, materializada una vez puesto en marcha en diciembre de 2011. Para estimar los efectos de este cambio, se utilizan datos del año 2010, previo a la puesta en marcha del sistema y el 2014, una vez se había entregado la obra más grande. Para el año

2014 además, se cuenta con información proveniente del Plan de Ordenamiento Territorial de Medellín 2014 (POT2014) sobre los *amenities* disponibles en cada barrio. Adicionalmente, es importante considerar que en Colombia los precios de arrendamiento no pueden incrementarse en valores superiores al incremento aprobado por el gobierno nacional, excepto en caso de cambiar de inquilino; en la ciudad de Medellín la mayor rotación de alquileres se da en la comuna 11 – Laureles Estadio con 3 meses y la de mayor rotación es el poblado con 11 meses en promedio,⁵ por lo que se espera que la elección del espacio temporal permita capturar el efecto del Metroplús.

Para determinar el dominio espacial del cuasi experimento, se ha utilizado una medida de accesibilidad. En Medellín, por motivos de seguridad, no se puede acceder a datos con la ubicación precisa de las viviendas (Duque et al., 2011), lo que impide establecer la distancia exacta entre las viviendas y las estaciones de Metroplús. En este caso, se definió la accesibilidad al sistema calculando el centroide de cada barrio y utilizando la ubicación exacta de las estaciones del Metroplús (latitud y longitud). Alrededor de cada estación se crearon tres *buffer* de 1 kilómetro, 500 metros y 300 metros y se asignó un valor de 1 a todas las observaciones ubicadas en barrios cuyo centroide se ubica al interior de cada área de influencia, suponiendo que esto implica que la mayor parte del territorio del barrio está en el *buffer* y por tanto, los habitantes tienen acceso al Metroplús, ya sea caminando o utilizando alguna de las rutas de buses integrados en el caso del *buffer* más grande.

Así, el grupo de tratamiento son los entrevistados en los barrios con su centroide al interior de cada *buffer* y el grupo de control son las viviendas por fuera de esta área de influencia. El dominio espacial fue identificado utilizando ArcGIS. El Anexo B muestra el número de barrios en cada comuna dentro del área de influencia del Metroplús para cada *buffer*, así como la zona de la ciudad en la que se ubican. El sistema presta servicio en las zonas nororiental, centro-oriental y suroccidental, el mayor número de

⁵ El Colombiano, “Por menor oferta, arriendos en el Valle de Aburrá subirían hasta 8%”. Disponible en: <http://m.elcolombiano.com/vivienda-en-el-valle-de-aburra-arriendos-subirian-8-YC4576001> Consultado el 25 de marzo de 2017.

barrios dentro de su área de influencia se encuentran en las comunas 4, 10 y 16 de estrato socioeconómico⁶ predominantemente medio bajo y medio. A pesar de esto, el sistema llega a viviendas de todos los estratos debido a que en un barrio pueden presentarse dos o tres estratos diferentes.

Respecto a la forma funcional, se ha seleccionado para la estimación del modelo la semi-logarítmica, considerando los hallazgos de Cropper et al. (1988) sobre las ventajas de las formas funcionales más simples como la lineal y la semi-logarítmica⁷ para este tipo de estudios cuando existen variables omitidas o se utilizan *proxies* en lugar de una medida de la variable real. Además, el comprimir la escala en la que se mide la variable dependiente puede ayudar a reducir los problemas de heterocedasticidad (Rodríguez y Mojica, 2009; Parmeter y Pope, 2013) y las pruebas para los datos de 2010 y 2014 así como la base de datos agregada mostraron una mejor bondad de ajuste de los modelos con forma funcional semi-logarítmica sobre los modelos en niveles.

Ante estos resultados y las ventajas planteadas por la literatura, la relación entre los precios de vivienda y las demás variables fue determinada por la ecuación:

$$lp_{ijt} = \lambda_t + \alpha_j + D_{1it}\beta + S_{ijt}\rho_{jt} + \gamma N_{jt} + \mu_{ij}$$

Donde los factores varían por las i viviendas, los barrios j y el tiempo t . λ_t es un conjunto de efectos tiempo, α_j es un conjunto de efectos de grupo o de barrio. S_{ijt} representa las características estructurales de las viviendas. N_{jt} es un vector de características de barrio y $\mu_{ij} = v_{jt} + \varepsilon_{ijt}$, son choques idiosincráticos, uno que impacta a todo el grupo de viviendas y otro que es específico de cada vivienda independientemente del tiempo y del barrio. La inclusión de los efectos de tiempo (λ_t) y de grupo (α_j) se hace para capturar efectos inobservables que varían a nivel de grupo y de tiempo disminuyendo así los problemas por variables omitidas (Parmeter y Pope, 2013).

⁶ En Colombia, se han establecido 6 estratos socioeconómicos que se utilizan como referencia para dar subsidios y cobrar impuestos. Las propiedades en estrato 6, son aquellas de mayor valor que tienden a estar en manos de la población con un mayor nivel de ingresos.

⁷ En los estudios revisados predomina la forma semi-logarítmica, utilizada sin explicación sobre la razón de la elección (Mulley et al., 2016; Pope, 2008; Rodríguez y Mojica, 2009; Munoz-Raskin, 2010; Dubé et al., 2011; Zhang et al., 2014).

Finalmente, $D_{1it} = \tau_t M_i$ es la variable de política de interés en la que (M) representa la accesibilidad al Metroplús que toma valores de 1 para las unidades tratadas, definidas como aquellas al interior del área de influencia del sistema y 0 para las unidades de control. Es decir, M se puede pensar como un índice que captura la utilidad neta o la ganancia económica del dueño del hogar por acceder a los servicios del Metroplús. τ_t es la variable que define el momento de la intervención y toma un valor de 1 una vez se ha hecho. La forma funcional elegida implica que los resultados expresan los efectos de las variables sobre tasas de crecimiento.

III.3. Datos

Para la estimación del efecto de la accesibilidad al Metroplús se cuenta con datos de sección cruzada repetidos, provenientes de la Encuesta de Calidad de Vida de Medellín 2010 y 2014 (ECVM2010 y ECVM2014),⁸ que contiene datos a nivel individual de vivienda en el área urbana de Medellín. De estos datos, se han recuperado *los precios de vivienda* que son datos de precios de alquiler reportados por los residentes que viven en alquiler; *los atributos de propiedad* que incluyen las características estructurales estandarizadas en el trabajo de Can (1992) y dos variables a nivel de barrio. La variable *seguridad*, captura la percepción de seguridad de los entrevistados en su barrio en vez de una tasa de crimen como en otros estudios en el país. Esto se hace porque su influencia sobre la disponibilidad a pagar por una vivienda puede estar más ligada a la percepción de los habitantes que las estadísticas del sistema policial. Mientras que la variable *pminoría* corresponde a si el entrevistado se reconoce o no como parte de una minoría étnica.

Estos datos fueron complementados con el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Medellín de los años 2006 y 2014. Los *amenities* de educación, salud, cultura y culto, transporte y recreación disponibles en cada barrio fueron creados con base en la geodatabase del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Medellín de los años 2006 y 2014, que contiene

⁸ La Encuesta de Calidad de Vida para Medellín fue realizada por primera vez en 1997 y luego en el 2001. Desde el año 2004, se realiza anualmente con muestras aleatorias en la totalidad del área urbana (16 comunas) y rural (5 corregimientos) del municipio. La muestra se elige a través de un Muestreo Aleatorio Simple (MAS) para proporciones, teniendo en cuenta la participación de cada una de las viviendas por estrato socioeconómico, según barrio, comuna y corregimiento (Alcaldía de Medellín, 2015, p. 3).

la longitud y latitud exactas de los equipamientos de salud, educación, recreación, cultura y transporte de la ciudad, todos influenciados directamente con intervenciones tanto del gobierno como del sector privado. Debido a la no disponibilidad de datos precisos del año 2010, se hizo una comparación de las organizaciones disponibles en el POT2006 y POT2014 y se completó la base de datos a través de informes de prensa, páginas web de las organizaciones o entrevistas telefónicas a las organizaciones posiblemente creadas entre 2006 y 2010.

En este caso, se ha optado por incluir el número de equipamientos de cada tipo disponibles en cada barrio porque al no tener datos geo-referenciados a nivel individual, solo se puede calcular la distancia desde el centroide de cada barrio hasta el *amenity* más cercano, lo cual no aporta mayor precisión al estudio. Adicionalmente, en un contexto en el que todavía existen fronteras invisibles en los barrios ya sea porque sus condiciones socioeconómicas difieren profundamente o por cuestiones de seguridad, el número de *amenities* de cada tipo disponibles dentro del propio barrio, es aquel al que se tiene garantizado el acceso. Los datos de la ECVM y el POT fueron facilitados por Departamento Administrativo de Planeación de Medellín para realizar esta investigación.

Finalmente, la densidad poblacional en cada barrio fue calculada con estadísticas provenientes del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y se incluyeron *dummies* de tiempo para capturar cambios generales en el precio e inflación entre 2010 y 2014. Así, para evaluar el efecto de la accesibilidad al Metroplús sobre los precios de alquiler de vivienda en la ciudad se utilizaron dos tipos de datos: *i*) atributos estructurales de las viviendas (atributos de las propiedades) y *ii*) características ambientales (atributos de barrio) que incluyen las características de barrio y los datos demográficos.

Una vez ordenados los datos, se realizaron pruebas de diagnóstico sobre regresiones lineales a los datos de cada año para identificar *outliers*, que pudieran afectar los resultados del estudio. Específicamente, se utilizó la distancia de Cook y el test de Bonferonni para identificar observaciones extremas y se eliminaron aquellas que, de acuerdo con el criterio del investigador, estaban mal tabuladas o presentaban inconsistencias entre el

precio revelado y las características estructurales y de barrio reportadas. Bajo todas estas consideraciones, la base de datos final contiene los precios de alquiler de 4.090 observaciones en 2010 y 4.219 en 2014, asociadas a las características estructurales de cada vivienda y los *amenities* disponibles en el barrio.

IV. Resultados

Los resultados del modelo hedónico cuasi experimental estimados por Mínimos Cuadrados Ordinarios,⁹ a nivel de ciudad, para cada uno de los tres *buffers*, muestran que los precios de vivienda incrementan en función de mejores atributos. Un mayor estatus socioeconómico está asociado con mayores precios de alquiler de vivienda lo que se puede constatar por la significatividad del estrato socioeconómico y el incremento en la bondad de ajuste al incluir esta variable en el modelo. Este resultado sugiere que el mecanismo de estratificación en la ciudad limita los efectos de las políticas públicas, en línea con lo planteado por Gallego *et al.* (2016).

De acuerdo con lo esperado, percibir el barrio en que se reside como un lugar seguro, vivir cerca de instituciones prestadoras del servicio de salud y de universidades, tiene un efecto significativo y positivo sobre las tasas de crecimiento de los precios de alquiler de vivienda. El número de instituciones educativas, las organizaciones culturales en el barrio, el número de estaciones de Metro Cable y el número de organizaciones para el culto y la religión en el barrio son variables significativas, asociadas con tasas de crecimiento negativas de los precios. Sin embargo, el objetivo de la investigación es encontrar la accesibilidad al Metroplús y por esta razón, el análisis se centra en la variable de interés. El impacto de la accesibilidad al Metroplús sobre las tasas de crecimiento de los precios de alquiler de vivienda en Medellín utilizando un estimador de Diferencias en Diferencias, se presenta en la **Tabla 1**. A medida que se reduce el *buffer*, se reducen también las observaciones en el área de tratamiento.

9 Atendiendo a las recomendaciones de Bertrand, Duflo y Mullainathan (2004), se realizaron pruebas de estimación controlando por correlación intra-cluster. La magnitud y significatividad del efecto se mantuvo en todos los casos.

Tabla 1. Efecto de la accesibilidad al Metroplús sobre el crecimiento de los precios de vivienda en Medellín.

Observaciones	Buffer 1km			Buffer 500m			Buffer 300m		
	2010	2014	Total	2010	2014	Total	2010	2014	Total
Control	3.039	3.091	6.130	3612	3664	7276	3923	4017	7940
Tratamiento	1.051	1.128	2.179	478	555	1033	167	202	369
N	4.090	4.219	8.309	4090	4219	8309	4090	4219	8.309

Variable respuesta: LnP	Buffer 1km			Buffer 500m			Buffer 300m		
	Media grupo de Control (C)	Media grupo de Tratamiento (T)	Diferencia (T-C)	Media grupo de Control (C)	Media grupo de Tratamiento (T)	Diferencia (T-C)	Media grupo de Control (C)	Media grupo de Tratamiento (T)	Diferencia (T-C)
2010: Escenario base	10,994	11,029	0,035*** [0,011]	11,095	11,119	0,023*** [0,011]	10,994	11,068	0,075*** [0,015]
2014: Seguimiento									
Impacto			DD						

*Nota: R-square: 0,75. La estimación por MCO incluye todas las variables antes mencionadas. Errores estándar en []. Significancia: *** p<0,01; ** p<0,05; * p<0,1. Las medias y los errores estándar son calculados por regresión lineal.*
Fuente: Elaboración propia

En el caso del *buffer* de mayor distancia, la variable que captura el efecto de la puesta en marcha del Metroplús sobre las tasas de crecimiento de los precios en el periodo 2010-2014 resultó ser negativa y no significativa. Al disminuir el *buffer* la variable de interés conserva el signo negativo, resulta ser significativa y de mayor magnitud en ambos casos. A pesar de esto, la diferencia de precios entre el grupo de tratamiento y de control en escenario base ya era significativa, lo que implica que antes de poner en marcha el sistema, existían diferencias entre ambas zonas que incidían en los precios y, por tanto, la diferencia del valor medio de los precios, entre los grupos de tratamiento y control en el 2010 y 2014 está influenciada por otras variables diferentes a la puesta en marcha del Metroplús. Ante estos resultados, se busca hacer un análisis más profundo de los efectos por zona para entender mejor el efecto de interés. Las **Tabla 2**, **Tabla 3** y **Tabla 4** presentan los resultados por zona, en el que a diferencia de análisis conjunto se excluyen las comunas 5, 6, 7, 11, 12, 13 y 14 por hacer parte de otras zonas de la ciudad.

Tabla 2. Efecto de la accesibilidad al Metroplús sobre el crecimiento de los precios de vivienda en la zona nororiental (comunas 1, 2, 3 y 4)

Observaciones	<i>Buffer 1km</i>			<i>Buffer 500m</i>			<i>Buffer 300m</i>		
	2010	2014	Total	2010	2014	Total	2010	2014	Total
Control:	444	454	898	780	759	1539	930	928	1858
Tratamiento	566	581	1147	230	276	506	80	107	187
N	1010	1035	2045	1010	1035	2045	1010	1035	2045

Variable respuesta: LnP		<i>Buffer 1km</i>	<i>Buffer 500m</i>	<i>Buffer 300m</i>
2010: Escenario base	Media grupo de Control (C)	10,860	10,915	10,893
	Media grupo de Tratamiento (T)	10,946	11,002	10,980
	Diferencia (T-C)	0,086*** [0,022]	0,087*** [0,025]	0,087** [0,036]

Variable respuesta: LnP		Buffer 1km	Buffer 500m	Buffer 300m
2014: Seguimiento	Media grupo de Control (C)	10,960	10,999	10,970
	Media grupo de Tratamiento (T)	10,990	11,024	11,020
	Diferencia (T-C)	0,030 [0,022]	0,025 [0,024]	0,050 [0,032]
Impacto	DD	-0,056** [0,025]	-0,063** [0,029]	-0,037 [0,044]

Nota: R-square: 0,54. La estimación por MCO incluye todas las variables antes mencionadas. Errores estándar en []. Significancia: *** $p < 0.01$; ** $p < 0.05$; * $p < 0.1$. Las medias y los errores estándar son calculados por regresión lineal.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Efecto de la accesibilidad al Metroplús sobre el crecimiento de los precios de vivienda en la zona centro - oriental (comunas 8, 9 y 10)

Observaciones	Buffer 1km			Buffer 500m			Buffer 300m		
	2010	2014	Total	2010	2014	Total	2010	2014	Total
Control:	625	669	1294	717	770	1487	753	815	1568
Tratamiento	170	199	369	78	98	176	42	53	95
N	795	868	1663	795	868	1663	795	868	1663

Variable respuesta: LnP		Buffer 1km	Buffer 500m	Buffer 300m
2010: Escenario base	Media grupo de Control (C)	10,805	10,841	10,798
	Media grupo de Tratamiento (T)	10,980	11,045	11,043
	Diferencia (T-C)	0,175*** [0,030]	0,204*** [0,041]	0,246*** [0,053]
2014: Seguimiento	Media grupo de Control (C)	10,966	10,993	10,940
	Media grupo de Tratamiento (T)	11,026	11,047	11,082
	Diferencia (T-C)	0,061** [0,029]	0,054 [0,037]	0,142 [0,047]

Variable respuesta: LnP		Buffer 1km	Buffer 500m	Buffer 300m
Impacto	DD	-0,115*** [0,036]	-0,149*** [0,049]	-0,104*** [0,065]

*Nota: R-square: 0,68. La estimación por MCO incluye todas las variables antes mencionadas. Errores estándar en []. Significancia: *** $p < 0.01$; ** $p < 0.05$; * $p < 0.1$. Las medias y los errores estándar son calculados por regresión lineal.*
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Efecto de la accesibilidad al Metroplús sobre el crecimiento de los precios de vivienda en la zona suroccidental (comunas 15 y 16).

Observaciones	Buffer 1km			Buffer 500m			Buffer 300m		
	2010	2014	Total	2010	2014	Total	2010	2014	Total
Control:	232	254	486	337	377	714	462	516	978
Tratamiento	275	304	579	170	181	351	45	42	87
N	507	558	1065	507	558	1065	507	558	1065

Variable respuesta: LnP		Buffer 1km	Buffer 500m	Buffer 300m
2010: Escenario base	Media grupo de Control (C)	11,434	11,422	11,346
	Media grupo de Tratamiento (T)	11,441	11,500	11,498
	Diferencia (T-C)	0,008 [0,028]	0,077*** [0,029]	0,153*** [0,051]
2014: Seguimiento	Media grupo de Control (C)	11,547	11,550	11,471
	Media grupo de Tratamiento (T)	11,560	11,581	11,479
	Diferencia (T-C)	0,013 [0,027]	0,031 [0,028]	0,009 [0,051]
Impacto	DD	0,006 [0,035]	-0,046 [0,037]	-0,144** [0,063]

*Nota: R-square: 0,72. La estimación por MCO incluye todas las variables antes mencionadas. Errores estándar en []. Significancia: *** $p < 0.01$; ** $p < 0.05$; * $p < 0.1$. Las medias y los errores estándar son calculados por regresión lineal.*
Fuente: Elaboración propia

En la zona nororiental, el efecto de la accesibilidad al Metroplús sobre las tasas de crecimiento de los precios de alquiler es negativo y significativo para los *buffer* de 1 kilómetro y 500 metros. En la zona centro-oriental, el efecto es negativo, significativo y de magnitud muy similar para todos los *buffer*, lo que sugiere la existencia de factores asociados a las características del centro de la ciudad que no se han tenido en cuenta. Finalmente, los resultados de la zona suroccidental muestran un efecto positivo y no significativo para el *buffer* más grande así como negativo y significativo en un radio de 500 metros y 300 metros alrededor de las estaciones. Los resultados en el *buffer* de 500 metros son los de menor magnitud para las tres zonas de estudio mientras que los resultados en el *buffer* de 300 metros pueden relacionarse con las externalidades negativas asociadas a la cercanía de una estación como mayor congestión y contaminación y coinciden con Duque et al. (2011) quienes encontraron que el efecto del Metro es negativo sobre los precios de oferta de las viviendas más cercanas a la estación.

Estos efectos obtenidos con la estimación pueden estar influenciados por las especificidades en la implementación y la percepción que tienen los habitantes de cada zona sobre el sistema. Por esta razón, se tienen en cuenta datos del estudio percepción de imagen del Metroplús¹⁰ en el que se evidencia que en la zona nororiental, los entrevistados lo perciben como un elemento de renovación de los barrios, especialmente de Manrique (comuna 3), pero presentan quejas sobre su operación y manifiestan inconformidad porque al entrar en operación se eliminaron los demás medios de transporte público dejando muchas zonas sin transporte, razón por la cual en algunos barrios no se puede acceder fácilmente al Metroplús ni a otro sistema de transporte público, explicando el impacto negativo y significativo solo cuando se define un radio mayor para el área de influencia.

En la zona centro se detecta la mayor inconformidad con el sistema BRT porque no se ve orden, claridad en estaciones ni posibilidades de carril propio para la Línea 2 y ninguno de los entrevistados considera que el Metroplús haya tenido un efecto en la transformación del sector. En la zona suroccidental, especialmente en la comuna 16, los entrevistados

¹⁰ La investigación fue realizada en 2015, en 10 barrios de las 6 zonas de la ciudad y entregado para este estudio por el área de comunicaciones de la organización.

relacionan al Metroplús con progreso y cambios positivos en el medio ambiente como una evidente disminución del polvo. Los habitantes de la zona valoran mucho su aporte a la calidad de vida y su conectividad con el SITVA; sin embargo, la Comuna 16 donde se encuentra la mayor parte de encuestados en esta zona, cuentan desde antes de la puesta en marcha del sistema con muchas opciones de transporte público, lo cual explica que el efecto solo sea significativo para las viviendas más cercanas donde se perciben la congestión y el ruido.

V. Conclusiones

Esta investigación estima el efecto de la accesibilidad al Metroplús sobre los precios de vivienda en Medellín a través de un enfoque hedónico y encuentra que el efecto de la puesta en marcha de este sistema de transporte urbano sobre las tasas de crecimiento de los precios de vivienda en la ciudad en el periodo 2010-2014, es negativo y significativo al establecer un área de influencia de 500 metros y 300 metros. El análisis de los resultados a nivel de ciudad y por zonas a la luz de la teoría y el estudio de percepción del Metroplús (2015) muestran la alta dependencia que tiene el impacto de los sistemas de transporte BRT a la percepción de los habitantes a su alrededor; para que su efecto sea positivo es necesario que las familias perciban que el sistema es permanente, de fácil acceso y que mejoran sus condiciones.

En el caso del Metroplús, los habitantes de la zona nororiental y centro oriental, de estatus socioeconómico predominantemente bajo, perciben externalidades negativas por la puesta en marcha del sistema, principalmente por problemas de acceso e incertidumbre sobre su habilidad para transformar el entorno de forma permanente. Debido a que en la ciudad las rutas de buses públicos funcionan de forma radial orientadas principalmente al centro, las dificultades de acceso al BRT en las áreas de menor ingreso como la zona nororiental pueden convertirse en un obstáculo para acceder a oportunidades que ofrece la ciudad en zonas alejadas, a las que pueden acceder pagando un solo ticket en el SITVA y coinciden con los de Muñoz-Raskin (2010).

Esto pone en evidencia que a pesar de la imagen positiva del transporte público en Medellín y de los cambios que ha logrado, persisten retos en su

planeación e implementación, que será fundamental tener en cuenta para que los proyectos futuros sean exitosos y generen un efecto positivo sobre el bienestar de todos los habitantes de la ciudad. Específicamente, se debe focalizar la inversión en mejorar las condiciones de acceso y los costos de movilidad de quienes se encuentran en condiciones desfavorables, complementar los esquemas grandes con buses alimentadores o sistemas no motorizados como las bicicletas que cubran toda el área de influencia y faciliten la movilización de las personas hacia las estaciones.

Vale la pena mencionar que los resultados de la investigación están limitados por el tipo y la disponibilidad de datos. No se dispone de información sobre los metros cuadrados de las viviendas, lo que permitiría encontrar una medida de $\$/m^2$ y presentar un modelo agregado que pudiera confirmar y dar robustez a los resultados. Tampoco se conoce la ubicación exacta de las viviendas, lo que impide calcular la distancia a cada uno de los *amenities* considerados, comparar los resultados con los obtenidos utilizando el número de equipamientos por barrio y estimar los resultados en diferentes radios de distancia.

Este resultado puede estar influenciado por la utilización de datos de alquiler y no de venta. La legislación colombiana prohíbe incrementar los precios de arrendamiento por encima de la tasa de inflación a menos que se cambie de inquilino. Esto puede significar que para capturar el efecto total se requiere de un periodo de tiempo mayor que permita suficientes cambios de residencia de los entrevistados. Finalmente, el contexto específico de Medellín presenta un desafío en la evaluación de políticas de cualquier tipo debido a la cantidad de incentivos e intervenciones realizadas durante los últimos diez años, la mayor parte de ellos, con potencial para afectar los precios de vivienda. A pesar de esto, este estudio provee valiosa información respecto al efecto del sistema BRT, provee una línea base de investigación y abre la puerta para estudios futuros en los que se puedan validar, utilizando otros datos y metodologías, los efectos del Metroplús y el SITVA sobre el mercado inmobiliario de Medellín.

VI. Referencias

- Aedo, C., 2005. *Evaluación del impacto*. Primera ed. Santiago de Chile: Naciones Unidas Cepal.
- Alcaldía de Medellín, 2015. *Encuesta de calidad de vida de Medellín 2014*. Municipio de Medellín.
- Angrist, J. D. y Krueger, A., 2001. "Instrumental variables and the search for identification: From supply and demand to natural experiments". *Journal of Economic Perspectives*, Volumen 15, pp. 69-85.
- Anselin, L. y Lozano-Gracia, N., 2009. Spatial Hedonic Models. En: *Palgrave Handbook of Econometrics*.
- Bertrand, M., Duflo, E. y Mullainathan, S., 2004. "How Much Should We Trust Differences-in-Differences Estimates?" *Quarterly Journal of Economics*, 119(1), 249-275.
- Cerulli, G., 2015. *Econometric evaluation of socio-economic programs. Theory and Applications*. Primera ed. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Cervero, R. y Duncan, M., 2002. *Land Value Impacts of Rail Transport Services in Los Angeles County*, LA: National Association of Realtors. Urban Land Institute .
- Cervero, R. y Kang, C., 2011. Bus rapid transit impacts on land uses and land values in Seoul, Korea. *Transport Policy*, Volumen 18, pp. 102-116.
- Cropper, M., Deck, L., y McConnell, K., 1988. "On the choice of functional forms for hedonic price functions" *Review of Economics and Statistics*, 70, 668-675.
- Deng, T. y Nelson, J., 2013. Bus Rapid Transit implementation in Beijing: An evaluation of performance and impacts.. *Research in Transportation Economics*, 39(1), pp. 108-113.
- Dubé, J., Rosiers, F., Theriault, M. y Dib, P., 2011. Economic impact of a supply change in mass transit in urban areas: a Canadian example. *Transportation Research Part A*, 45: 46-62.
- Duque, J., Velásquez, H. y Agudelo, J., 2011. "Infraestructura pública y precios de vivienda: una aplicación de regresión geográficamente ponderada en el contexto de precios hedónicos". *Ecos de Economía*, 33: 95 - 122.
- Gallego, J.; Montoya, S., y Sepúlveda, C., 2016. "Effect of socio-economic stratification on house value in Bogotá". *Working Papers, Development Bank of Latin America.*, N2016/19.
- Hensher, D. y Mulley, C., 2015. Modal Image: candidate drivers of preference differences for BRT and LRT. *Transportation*, 42(1), pp. 7-23.
- Lancaster, K., 1966. "Change and innovation in the technology of consumption". *American Economic Review*. 56.14-23.
- Lora, E., Powell, A., van Praag, B. y Sanguinetti, P., 2010. *The quality of life in Latin American Cities*". Primera ed. Washington DC, USA: The Inter-American Development Bank.
- Mulley, C., Ma, L., Clifton, G., Yen, B. y Burke, M., 2016. Residential property value impacts of proximity to transport infrastructure: An investigation of bus rapid

- transit and heavy rail networks in Brisbane, Australia. *Journal of Transport Geography*, Volumen 54, pp. 41-52.
- Mulley, C. y Tsai, C.-H., 2016. When and how much does new transport infrastructure add to property values? Evidence from the bus rapid transit system in Sydney, Australia. *Transport Policy*.
- Munoz-Raskin, R., 2010. "Walking accessibility to bus rapid transit: Does it affect property values? The case of Bogotá, Colombia" *Transport Policy*. 17:72-84
- Parmeter, C y Pope, J., 2013. Quasi-Experiments and Hedonic Property Value Methods. En: *Handbook on Experimental Economics and the Environment*. John A. List (Ed.) Chicago, USA.
- Perdomo, J., 2011. "A methodological proposal to estimate changes of residential changes of residential property value: case study developed in Bogotá" *Applied Economics Letters*. 18:1577 - 1581
- Perdomo, J.; Mendoza, C.; Mendieta, J. y Baquero, A., 2007. "Study of the Effect of the TransMilenio Mass Transit Project on the Value of Properties in Bogotá, Colombia." Cambridge, MA, Lincoln Institute of Land Policy, WP07CA1.
- Perk, V. y Catala, M., 2009. *Land use impacts of bus rapid transit: effect of BRT station proximity on property values along the Pittsburgh Martin Luther King, Jr. East busway*, s.l.: National Bus Rapid Transit Institute. University of South Florida.
- Pope, J., 2008. Buyer information and the hedonic: the impact of a seller disclosure on the implicit price of airport noise. *Journal of Urban Economics*, Volumen 63, pp. 498 - 516.
- Rodríguez, D. y Mojica, C., 2009. Capitalization of BRT network expansions effects into prices of non-expansion areas. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 43(5), pp. 560-571.
- Rodríguez, D. y Targa, F., 2004. Value of Accessibility to Bogotá's Bus Rapid Transit System. *Transport Reviews*, 24(5), pp. 587 - 610.
- Rosen, S., 1974. "Hedonic Prices and Implicit Markets: Product Differentiation in Pure Competition". *Journal of Political Economy*, Volumen 82, pp. 34 - 55.
- Smith, J., Gihring, T. y Litman, T., 2013. Financing Transi System through value capture: An annotated Bibliography.. *Victoria Transport Policy Institute, Canada*.
- Zhang, M., Meng, X., Wang, L. y Xu, T., 2014. Transit development shaping urbanization: Evidence from the. *Habitat International*, Volumen 44, pp. 545-554.
- Zhang, M. y Wang, L., 2013. The impacts of mass transit on land development in China: The case of Beijing. *Research in Transportation Economics*, Volumen 40, pp. 124-133.
-

VII. Anexos

Anexo A.

Esquema SITVA 2016 y proyección 2030

**METRO / Metro Urban Train**

- Línea **A** Niquía - La Estrella - Niquía
Línea **B** San Antonio - San Javier - San Antonio

CABLE / Aerial Cable Car

- Línea **H** Oriente - Villa Sierra - Oriente (en construcción)
Línea **J** San Javier - La Aurora - San Javier
Línea **K** Acevedo - Santo Domingo - Acevedo
Línea **L** Santo Domingo - Aní - Santo Domingo
Línea **M** Miraflores - Trece de Noviembre - Miraflores (en construcción)

TRANVÍA / Tramway

- Línea **T2** San Antonio - Oriente - San Antonio

BUS /BRT (Bus Rapid Transit)

- Línea **1** U. de M. - Av. del Ferrocarril - Parque Aranjuez - Av. del Ferrocarril - U. de M.
Línea **2** U. de M. - Av. Oriental - Parque Aranjuez - Av. Oriental - U. de M.

HOLA METRO 444 95 98

Anexo B. Barrios dentro del área de influencia del Metroplús por comuna

Comuna	ZONA	Barrios	Buffer 1km				Buffer 500m				Buffer 300m			
			Entrevistados en AI 2010		Entrevistados en AI 2014		Entrevistados en AI 2010		Entrevistados en AI 2014		Entrevistados en AI 2010		Entrevistados en AI 2014	
			AI Metroplús	Total	AI Metroplús	Total	AI Metroplús	Total	AI Metroplús	Total	AI Metroplús	Total	AI Metroplús	Total
1 - Popular		12	73	3 barrios	65	-	0	-	-	-	-	-	-	
2 - Santa Cruz	1	11	60	3 barrios	51	-	0	-	-	-	-	-	-	
3 - Manrique		15	191	7 barrios	207	4 barrios	78	95	2 barrios	37	51	2 barrios	51	
4 - Aranjuez		14	242	12 barrios	258	8 barrios	152	181	2 barrios	43	56	2 barrios	56	
5 - Castilla	2	14	3	1 barrio	0	-	0	-	-	-	-	-	-	
6 - Doce de Octubre		12	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	
7 - Robledo		22	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	
8 - Villa Hermosa	3	18	62	3 barrios	62	1 barrio	13	19	-	-	-	-	-	
9 - Buenos Aires		17	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	
10 - La Candelaria		17	108	12 barrios	137	8 barrios	65	79	4 barrios	42	53	4 barrios	53	
11 - Laureles - Estadio	4	15	37	4 barrios	44	-	-	-	-	-	-	-	-	
12 - La América		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
13 - San Javier		19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
14 - Poblado	5	22	0	1 barrio	0	-	-	-	-	-	-	-	-	
15 - Guayabal		7	28	2 barrios	30	2 barrios	28	30	1 barrio	-	-	1 barrio	-	
16 - Belén	6	21	247	15 barrios	274	7 barrios	142	151	3 barrios	45	42	3 barrios	42	
Total entrevistados AI			1.051		1.128		478	55		167	202		202	

NOTA: Zona 1: Nororiental, Zona 2: Noroccidental, Zona 3: Centro oriental, Zona 4: Centro occidental, Zona 5: Sur oriental, Zona 6: Sur occidental. AI: área de influencia.

Fuente: Elaboración propia