

99

Efecto de la
operación de
la fase III de
Transmilenio
en la
construcción
de vivienda

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ
SECRETARÍA DISTRITAL DE PLANEACIÓN -SDP

Alcalde Mayor de Bogotá
Enrique Peñalosa Londoño

Secretario Distrital de Planeación
Andrés Ortiz Gómez

Subsecretario de Información y Estudios Estratégicos
Antonio José Avendaño Arosemena

Director de Estudios Macro
David Monroy Londoño
Diana Marcela Cuéllar Orjuela (E)

Investigador
Miguel Andrés Garzón Ramírez
Vanessa Cediél Sánchez

Equipo de la Dirección de Estudios Macro
Camilo Gaitán Victoria
Diana Marcela Cuellar
Diana Esperanza Sánchez
Henry Rincón Melo
Karen Jackeline Vargas
Myriam Cecilia Dueñas Parada
Nelson Arturo Chaparro
Silvia Adriana Roa Pineda
Vanessa Cediél Sánchez

Contenido

1. Introducción.....	4
2. Revisión de la literatura.....	5
3. Evidencia empírica.....	7
4. Metodología	9
5. Resultados	13
6. Conclusiones.....	22
Bibliografía.....	23

1. Introducción

Este trabajo busca explorar los cambios en construcción de vivienda en Bogotá en relación con la presencia de nueva infraestructura de transporte entre los años 2011 y 2018.

De manera preliminar, se evidencia mayor crecimiento en la construcción de vivienda en la periferia de la ciudad, que corresponde principalmente con la localización estratos socioeconómicos medios y bajos, y se puede relacionar con el aprovechamiento de mayor oferta de suelo a través de mayor accesibilidad. En el centro de la ciudad se observa reducción de la construcción de vivienda y se explica por el surgimiento de otras actividades económicas de mayor jerarquía, especialmente el comercio. Se sostiene la hipótesis de que la infraestructura de transporte público acelera procesos de construcción de vivienda ya existentes en sus zonas de influencia, como un efecto de ampliación del centro de manera radial en torno a su trazado.

Al indagar cómo cambia la construcción de vivienda con la mejora en las condiciones de accesibilidad, la intuición básica yace en la idea de accesibilidad. Diferentes agentes toman decisiones de localización y esto se asocia con cambios en la estructura urbana, entendida como la configuración de usos del suelo. Por esta razón, en este estudio se analizan los cambios de uso de suelo en la zona de influencia de las últimas troncales del sistema de transporte masivo TransMilenio. Se requiere entender los efectos diferenciados en la infraestructura de transporte sobre la construcción de vivienda en contraste con cambios en otros usos del suelo para establecer lineamientos que permitan evitar efectos no deseados en la estructura urbana de la ciudad.

El estudio hace uso de las técnicas de Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE), específicamente del Índice de Moran local bivariado, estadístico que da cuenta de la relación en el espacio entre dos variables, lo que permite identificar patrones espaciales.

El trabajo consta de una revisión bibliográfica de la teoría de la localización residencial y el acceso al transporte; de una revisión de la evidencia en torno el efecto de Transmilenio en la dinámica inmobiliaria; una sección en la que se describe a metodología; resultados y finalmente unas conclusiones.



2. Revisión de la literatura

La minimización de los costos de transporte ha sido el aspecto más relevante en el estudio de los usos del suelo en las ciudades debido a la intuición de que las personas desearían tener acceso a los servicios y oportunidades de la ciudad para aprovechar las externalidades positivas de las aglomeraciones urbanas (Duranton y Puga, 2004; Fujita y Thisse, 2013). La interacción de los agentes económicos en la ciudad da lugar a una competencia por el espacio urbano y da lugar a que en ciertos lugares se construya vivienda con determinadas características.

La accesibilidad generada por la infraestructura de transporte tiene un papel central en la organización y expansión de las ciudades a través de sus patrones de densificación (Duranton y Puga, 2004). La minimización de los costos de transporte hace parte de todos los modelos de uso del suelo, especialmente en los fundamentos de los modelos monocéntricos tempranos de Alonso (1964), Muth (1969) y Mills (1967). En este modelo, la ciudad es una línea que tiene un Distrito Central de Negocios (CBD, por sus siglas en inglés) que es adimensional y concentra a todas las firmas, las personas se localizan a diferentes distancias del centro según su propensión a suplir los costos de desplazamiento al centro y de vivienda. De este modelo se infiere que a mayores distancias del CBD hay menor precio de la vivienda, viviendas más grandes, menor precio de la tierra, menor intensidad del uso del suelo y menor densidad de población (Duranton y Puga, 2015). Anas y Moses (1979) concluyen a través de un modelo teórico que la densidad residencial disminuye a mayor distancia al CBD y aumenta a mayor capacidad de transporte público. Este modelo sugiere que las líneas de transporte masivo reducen los costos de transporte y aumentan el nivel de densidad urbana, haciendo que el CBD preste servicios y genere mayor oferta de trabajo para una ciudad con mayor población.

Los trabajos empíricos sobre los efectos de la infraestructura de transporte se pueden clasificar asociándolos a patrones de crecimiento, expansión o densificación. La mayor expansión o dispersión de las áreas urbanas (*urban sprawl*) que llevan al consumo de mayor cantidad de tierra por hogar y menores niveles de densidad urbana en la periferia. Este patrón es encontrado especialmente en las ciudades de los Estados Unidos por uso extendido del transporte privado (Peiser, 1989; Nechyba & Walsh, 2004; Burchfield et al., 2006; Brueckner & Largey, 2008; Brueckner & Helsley, 2011; Dodds & Dubrovinsky, 2015). El segundo patrón es la densificación, que lleva a ciudades más compactas y mayor extensión y capacidad de las redes de transporte público, encontrado especialmente en ciudades europeas (Gibbons & Silva, 2008; García-López, 2010; García-López, 2012; Picard, 2013).

Se han estudiado diversos efectos de la infraestructura de transporte público, en la localización de firmas, la oferta de empleo o el aumento de la población. Estudios como Davies (1976) y Steen (1986) encuentran crecimiento de la población en la zona de



influencia de nuevo sistema de transporte en ciudades pequeñas en los Estados Unidos. Estudios más recientes como Mayer & Trevien (2017) no encuentran aumento de la población, pero sí observan que población con mayor disponibilidad a pagar ocupa la zona de influencia de la nueva infraestructura.

Gonzalez-Navarro & Turner (2018) realizan un análisis interurbano encontrando que los metros subterráneos tienen poco efecto en el crecimiento poblacional y no cambian sustancialmente la estructura espacial de las ciudades. Esto soporta una de las hipótesis detrás de estudio, los efectos en el crecimiento urbano de la infraestructura de transporte son locales y se deben buscar en una zona de influencia. Además, del trabajo de Gonzalez-Navarro & Turner (2018) se entiende que la infraestructura acelera tendencias de crecimiento urbano ya existentes y que su evaluación económica de su construcción depende de su tasa de retorno producto del aumento en la demanda de movilidad.

De acuerdo con Duranton y Puga (2015), los trabajos empíricos están notablemente rezagados a los desarrollos teóricos y sólo verifican la validez cualitativa de los modelos teóricos en contextos predecibles sin incluir elementos importantes de la identificación como la heterogeneidad de la población. A mayor dificultad empírica está en la escasez de fuentes de variación exógena para realizar inferencias causales en contextos intra-urbanos, en contraste con los enfoques inter-urbanos (Redding y Turner, 2015; Baum-Snow, 2007^a; Baum-Snow et al., 2013; y Donaldson, 2013).

Por otro lado, en la literatura académica enfocada en la planeación urbana hay avances que evidencian cómo el transporte urbano lleva a la mejora de las condiciones de vida en la ciudad. Para Giuliano (2004), el aumento de la accesibilidad por la infraestructura de transporte es limitado y altamente localizado, ya que se sirve a una parte de las combinaciones origen y destino, se enfoca en áreas congestionadas y se limita por la dependencia de conexiones intermodales. Entre los trabajos más importantes en la literatura de la planeación urbana que exploran empíricamente el efecto del transporte público en el crecimiento densificado de las ciudades se encuentran, Cervero & Kockelman (1997) quienes analizan la demanda de transporte en San Francisco, USA, Torres-Vera et al. (2009) quienes estudian las variaciones de uso del suelo en la ciudad de México, Cervero & Kang (2011) quienes determinan el impacto del sistema BRT (Buses de Tránsito Rápido) en Seúl, Corea del Sur, en el cambio del uso y precio del suelo, al igual que el caso de Beijing estudiado por Deng & Nelson (2010), y Perk, Catalá & Reader (2012) para el caso de Boston.

Sin embargo, esta literatura carece de un enfoque analítico que explique cómo la infraestructura de transporte genera estos cambios en uso y precio del suelo, y a su vez, cómo estos cambios reflejan las preferencias de localización de las personas que resultan en diferentes niveles de bienestar. Uno de los mayores retos en la literatura en economía urbana es la construcción de este enfoque analítico, lo cual pasa por conectar los avances teóricos con los estudios empíricos. Con esto en cuenta, en este estudio se busca evidencia de cómo la presencia de una infraestructura de transporte lleva a patrones de construcción de vivienda por medio de la observación de cambios en el uso del suelo. Esto es una



potencial evidencia de la acción de las externalidades positivas y negativas de la infraestructura.

La contribución de este estudio yace en el interés por analizar cómo cambia la intensidad del uso del suelo en zonas por donde se construye infraestructura de transporte. Si bien, en trabajos más recientes como el de Mayer & Trevien (2017) han realizado análisis iniciales al respecto, se hace poco uso de herramientas analíticas distintas a la econometría tradicional con modelos de regresión que incluyen variables instrumentales y enfoques de evaluación de impacto. En este estudio utilizamos herramientas de análisis exploratorio de datos espaciales para indagar sobre la variación conjunta de los usos de suelo por zonas en Bogotá. Este ejercicio nos permitirá plantear preguntas de investigación donde se pueda desarrollar la causalidad de los patrones encontrados.

3. Evidencia empírica

Bogotá es una ciudad altamente densa con alrededor de 5057 hab/km². Su sistema de transporte masivo el sistema de buses de tránsito rápido TransMilenio, con 10 troncales en operación en el año 2019. Las troncales del sistema sido construidas en tres fases entre los años 1999 y 2012. La primera fase inició operación en el año 2000 con dos troncales (Avenida Caracas y Avenida Calle 80) a las que se sumaron tres más en los siguientes años (Caracas Sur-Tunal, Autopista Norte y Eje Ambiental, entre los años 2001 y 2002). La segunda fase cuenta con tres troncales (Avenida de las Américas-Calle13, Avenida Norte Quito Sur –NQS- y Avenida Suba) que entraron en operación entre los años 2003 y 2006. La tercera fase tiene dos troncales (Avenida Calle 26-ElDorado y Carrera 10) que entraron en operación en el año 2012 con dos años de retraso. Cada troncal tiene estaciones principales, o portales, donde los buses inician sus recorridos y estas cuentan con rutas alimentadoras de buses tradicionales que transitan por los barrios para facilitar el acceso de las personas que viven en zonas alejadas al sistema.

Entre la segunda mitad del siglo XX y el inicio del siglo XXI, el transporte público en Bogotá se prestaba exclusivamente por buses colectivos de diferentes capacidades que funcionaban a través de empresas privadas cuya operación y precios eran regulados por el gobierno de la ciudad. Bajo la carencia de un sistema de transporte masivo en esta época, hay poca evidencia de la relación entre transporte público y la construcción de vivienda en Bogotá y ha sido más relevante estudiar los centros urbanos que surgieron a partir de proyectos urbanísticos. Dowall & Treffeisen (1991) estudian la formación de estos centros en Bogotá. Las condiciones de accesibilidad se plantean como la distancia lineal a cada subcentro, teniendo como unidad de observación el barrio. Establecen como supuesto base que en las decisiones de localización de los hogares es más importante la capacidad financiera para comprar una vivienda que sus condiciones de accesibilidad.



La historia muestra que el crecimiento de Bogotá ha estado marcado por la existencia del transporte público, tranvía, los buses, el automóvil y ahora el sistema de transporte masivo TransMilenio (Silva, 2010; Jaramillo, 2018), en contraste con el crecimiento de las ciudades norteamericanas que ha estado marcado por la introducción del automóvil, los buses, los sistemas de metro, y las autopistas (Muller, 2004). Las conclusiones de Dowall & Treffeisen (1991) establecen que Bogotá tiene subcentros de mayor tamaño e importancia según la especialización de las actividades realizadas, lo cual caracteriza a las ciudades latinoamericanas (Allain, 2012). Los subcentros más grandes se encuentran en una extensa zona que se denomina *centro ampliado*, en donde se encuentra la mayoría de la oferta de empleo y es el destino de la mayoría de los viajes al inicio de los días laborales. Al interior del centro ampliado se ha estudiado el efecto local de la presencia de TransMilenio en el precio del suelo residencial y comercial (Rodriguez & Targa, 2004; Muñoz-Razkin, 2006; Perdomo et al., 2007; Rodriguez & Mojica, 2009) sin estudiar cambios en la construcción de vivienda. Estos estudios han permitido indagar sobre el aumento de la demanda del suelo cerca de las líneas construidas.

Otros trabajos analizan los efectos en el bienestar social de los usuarios del sistema. Echeverry et al. (2005) realizan un análisis costo-beneficio para mostrar que los usuarios de TransMilenio en Bogotá se beneficiaron por la reducción de externalidades negativas como la contaminación y la congestión, y por los menores tiempos de viaje. Tsivanidis (2018) explora el aprovechamiento de los beneficios de la operación del sistema Transmilenio, encontrando un efecto heterogéneo entre trabajadores calificados y no calificados. Encuentra ineficiencias en el aprovechamiento de estos beneficios por las restricciones de los planes de ordenamiento territorial.

Son más escasos los trabajos enfocados a estudiar los efectos del sistema TransMilenio en el uso del suelo. Bocarejo et al. (2013) analiza el impacto de las dos primeras fases del sistema en los precios y usos del suelo residencial, comercial y de oficinas, tomando como unidad de análisis una UPZ¹ entre los años 2001 y 2008. Encuentran que TransMilenio propició el aumento del uso residencial del suelo en zonas que ya eran densamente pobladas e incentivó la construcción residencial hacia el norte. Para hacer la medición utilizan diferencias en diferencias, tomando como unidades tratadas las UPZ que se encuentran en un área de 500 metros de una línea del sistema en el año 2008 y como controles todas las demás. Bajo estas condiciones se hace evidente que las unidades tratadas no son comparables con las unidades de control y no se cumplen los supuestos de los modelos de evaluación de impacto. La unidad de análisis es espacialmente muy agregada, contiene unidades más pequeñas como barrios y manzanas que pueden ser altamente heterogéneas entre sí y la cantidad de estas unidades es reducida (112), distribuidas en dos grupos. Tampoco se tiene en cuenta que cada línea pudo haber tenido un efecto diferente

¹ Unidad de Planeación Zonal, conformada por un conjunto de barrios, son unidades territoriales de análisis y planeación utilizadas para definir y regular en detalle los usos del suelo en Bogotá.



dadas las condiciones particulares de cada zona, ni el posible impacto que hayan tenido las rutas alimentadoras ya que no fueron parte de la selección de unidades tratadas.

Esta revisión permite ver que para el caso de Bogotá los economistas no han logrado desarrollar investigaciones que permitan establecer una relación sólida entre la infraestructura de transporte y el uso del suelo, específicamente la construcción de vivienda. Planeamos que el punto de partida es realizar análisis exploratorios que permitan motivar la causalidad de esta relación.

4. Metodología

En este estudio se exploran los cambios en la construcción de vivienda en Bogotá alrededor de la implementación de la tercera fase del sistema Transmilenio entre los años 2011 y 2018. Estos cambios pueden ser buscados en su zona de influencia. En este estudio hacemos uso del Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE) para indagar cómo la construcción de la tercera fase de TransMilenio (troncales Avenida Calle 26-ElDorado y Carrera 10) afectó la dinámica inmobiliaria de las zonas aledañas a esta línea de transporte. Específicamente se utiliza el Índice de Moran local bivariado para realizar una prueba estadística de autocorrelación espacial. En 1970 Waldo Tobler señaló lo que se denomina la primera ley de la geografía, que dice, “todo está relacionado con todo lo demás, pero cosas cercanas están más relacionadas que cosas distantes”, es precisamente esto lo que se evalúa a través de dicha prueba.

Trabajos relacionados han utilizado un área de análisis de 500 metros alrededor de la infraestructura para encontrar efectos, lo que corresponde a una distancia que se puede recorrer caminando (Cervero & Kang, 2011; Cervero & Kockelman, 1997). En este estudio, el análisis permite identificar las zonas cercanas a través de la construcción de un mapa de clústeres. Esto es en sí mismo una contribución metodológica a esta literatura.

Se utilizan los datos de la base predial de la Unidad Administrativa Especial Catastro Distrital entre los años 2011 y 2018 que contiene datos de uso del suelo, avalúos catastrales y estratos. Las unidades de observación son manzanas registradas en cada año. Se georreferenciaron las estaciones de las troncales y las rutas alimentadoras para construir los mapas de la infraestructura de transporte, tanto troncal como alimentadora. Con esto se construyó una base de datos que recoge el uso del suelo de toda la ciudad para los años señalados y se calculó la distancia de cada manzana con el acceso más cercano a la infraestructura de transporte de interés.

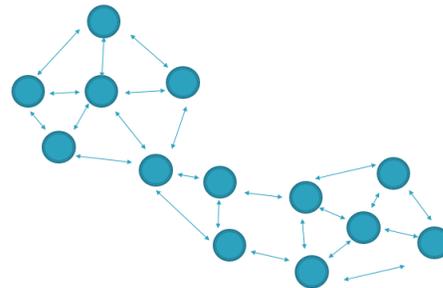
Dado el carácter espacial de las unidades geográficas objeto de análisis, la identificación de las unidades geográficas más cercanas implica tener en cuenta que “una región puede no sólo estar afectada por otra región contigua a ella sino por otras muchas que la rodean, igual



que ella puede influir sobre aquellas” (Serrano, R. M., & Valcarce, E. V. 2000). Esto es lo que se conoce como interdependencia espacial. En el Gráfico 1, un punto representa una unidad geográfica y las flechas representan la interacción que hay entre ellas, con lo que se evidencia que la interdependencia espacial entre las unidades geográficas es además multidireccional.

Con el objeto de recoger el componente multidireccional de la interdependencia espacial, es indispensable elegir un criterio de vecindad, que dé cuenta de quién es vecino de quién. Dicho criterio va a depender de cómo estén definidas las unidades geográficas, pues estas pueden ser áreas (polígonos) o puntos. En el primer caso, el criterio utilizado es la contigüidad, esto significa que una unidad espacial es vecina de otra si comparte alguna frontera. En el segundo caso, se requiere definir un límite de distancia con el que se fija la frontera para delimitar hasta dónde se es vecino, en este caso se sugiere definir un límite que garantice que todas las unidades espaciales tengan por lo menos al vecino más cercano. Es ideal que en la definición de vecindad no existan islas, esto es observaciones sin vecinos.

Gráfico 1. Interdependencia espacial



Fuente: Elaboración propia.

Una vez se define el criterio de vecindad, se puede recoger la interdependencia espacial multidireccional en lo que se denomina “matriz de pesos espaciales”. Esta es una matriz cuadrada de tamaño $N \times N$ (Gráfico 2), donde N es el número de unidades espaciales y los elementos de la matriz, W_{ij} , reflejan la interdependencia existente entre dichas unidades. El resultado es una matriz cuadrada de ceros y unos, cuyo tamaño va a depender de la cantidad de unidades espaciales sujeto de estudio. Se asigna el valor de 1 si es vecino y cero en caso contrario. Cuando se trabaja con distancias se puede hacer uso de la variación numérica de este dato para dar mayor ponderación a los vecinos más cercanos. De esta manera, en vez de asignar 1 si una unidad geográfica es vecina de otra, se asigna $1/\text{distancia}$, dando mayor ponderación a vecinos que están más cerca. Construir la matriz de pesos espaciales de una u otra forma es criterio del analista espacial por la definición del criterio de vecindad. La matriz de pesos espaciales es el principal insumo para realizar la prueba autocorrelación

espacial, pues de ahí proviene la información que permite a evaluar si lo que sucede en una zona está relacionado con lo que sucede en las zonas vecinas.

Gráfico 2. Matriz de pesos espaciales

$$W_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & w_{12} & \dots & w_{1N} \\ w_{21} & 0 & \dots & w_{2N} \\ \vdots & \vdots & 0 & \vdots \\ w_{N1} & w_{N2} & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

Una prueba de autocorrelación espacial puede ser global o local. La primera se utiliza para evaluar si en toda la zona de estudio existe algún patrón espacial a través de un número, a saber: conglomerado, disperso o aleatorio. Encontrar el primer patrón significa que existe un efecto contagio entre lo que sucede en una zona y las zonas vecinas. Observar el segundo patrón significa que lo que sucede en una zona es contrario a lo que sucede en las zonas vecinas. El tercer patrón implica que la variable en cuestión se distribuye de forma aleatoria en el espacio, esto es que, lo que sucede en una zona no se relaciona con lo que sucede en zonas vecinas.

De encontrar algún patrón espacial, conglomerado o disperso, la prueba global no permite identificar dónde se localiza dicho patrón, ya que se calcula sobre todas las unidades espaciales analizadas. En cambio, la prueba de autocorrelación local realiza un análisis para cada una de las unidades geográficas. Esto requiere que para cada unidad de análisis se construya un grupo de vecinos sobre el cual se realiza la prueba estadística que permite identificar el patrón espacial en la vecindad de cada unidad espacial.

Gráfico 3. Autocorrelación espacial



Fuente: Elaboración propia.

Una prueba de autocorrelación espacial local puede ser univariada o bivariada. La primera se utiliza para hallar la correlación entre una variable y el valor que toma la misma variable en zonas vecinas, y la segunda, se usa para hallar la correlación entre una variable y el valor que toma otra variable en las zonas vecinas. Ejemplo, en el gráfico 3 se muestra a 2, 3, 4 y 5 como los vecinos de la unidad geográfica 1. En la parte izquierda se muestran los valores que toma la variable A en las zonas vecinas a 1, y en la parte derecha se muestran los valores que toma la variable B, en las zonas vecinas a 1.

Prueba de autocorrelación espacial global bivariada

Teniendo en cuenta que una prueba de autocorrelación espacial puede ser global o local, y a su vez puede ser univariada o bivariada, a continuación, se presenta la expresión que permite calcular el índice de autocorrelación espacial global bivariado (Siabato, Willington, y Jhon Guzmán-Manrique. 2019).

$$(1) \quad I = \frac{N}{S_0} \frac{\sum_{ij} w_{ij} (x_i - \bar{x})(y_j - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}} \quad i \neq j$$

Donde:

x_i : Valor de la variable x en la región i

y_i : Valor de la variable y en la región j

w_{ij} : Matriz de pesos espaciales

$$S_0 = \sum_i \sum_j w_{ij}$$

Dicho índice se estandariza para realizar una prueba de hipótesis. Cuando el tamaño muestral es lo suficientemente grande el Índice de Moran bivariado estandarizado sigue una distribución asintótica normal. Se plantea como hipótesis nula, $Z(I)=0$, la no existencia de autocorrelación espacial (aleatorio), y como hipótesis alternativa dos opciones: $Z(I)>0$: concentración de valores similares (conglomerado); o $Z(I)<0$: concentración de valores diferentes (dispersos).



Prueba de autocorrelación espacial local bivariada

Dado que, lo que se busca es identificar dónde se localiza el patrón espacial, la prueba utilizada en el presente estudio es la prueba de autocorrelación espacial local bivariada. Esta prueba plantea como hipótesis nula la no existencia correlación, en la hipótesis alternativa se tienen cuatro opciones: alto-alto, bajo-bajo, alto-bajo y bajo-alto. En otras palabras, se pueden identificar cuatro tipos de patrones espaciales. Si la unidad geográfica no se clasifica en alguna de las cuatro opciones es porque no es posible identificar estadísticamente a qué patrón espacial pertenece.

Encontrar que una unidad geográfica se clasifica en el resultado alto-alto, significa que el valor que toma la variable de la unidad espacial en cuestión es alto y el valor que toma la otra variable en las zonas vecinas también es alto. Encontrar que una unidad geográfica se clasifica en bajo-bajo significa que el valor que toma la variable de la unidad espacial en cuestión es bajo y el valor que toma la otra variable en las zonas vecinas también es bajo. Encontrar que la unidad geográfica se clasifica en alto-bajo (bajo-alto) significa que el valor que toma la variable de la unidad espacial en cuestión es alto (bajo) y el valor que toma la otra variable en las zonas vecinas es bajo (alto).

Para responder al interrogante del estudio, cómo varía la dinámica inmobiliaria del entorno inmediato a la tercera fase del sistema TransMilenio se utilizaron variables que dan cuenta de la cantidad de metros cuadrados construidos de vivienda (comercio) entre 2018-2011, y la distancia a las troncales de Transmilenio y sus estaciones. Es importante señalar que la prueba de autocorrelación espacial local bivariada da cuenta de la correlación entre las dos variables objeto de estudio y no de relación causal entre dichas variables. Se realizan pruebas de autocorrelación local bivariada. Se toma la variación de los metros cuadrados construidos entre los años 2018 y 2011 para los usos residencial, comercial e industrial y la diferencia del valor del metro cuadrado construido residencial y se correlaciona localmente con la distancia lineal al acceso troncal o alimentador de la Fase III de Transmilenio. También, se correlaciona localmente la variación de metros cuadrados construidos entre los años 2011 y 2018 para los usos residencial y comercial. En la siguiente sección se describen los resultados de estos análisis.

5. Resultados

Es poco preciso explicar los cambios de uso del suelo residencial y comercial como un agregado de la ciudad ya que se mezcla una gran cantidad de elementos que interactúan simultáneamente. Por lo tanto, esta exposición de resultados se enfocará en los patrones encontrados en los mapas de clústeres que son resultados de las pruebas de autocorrelación



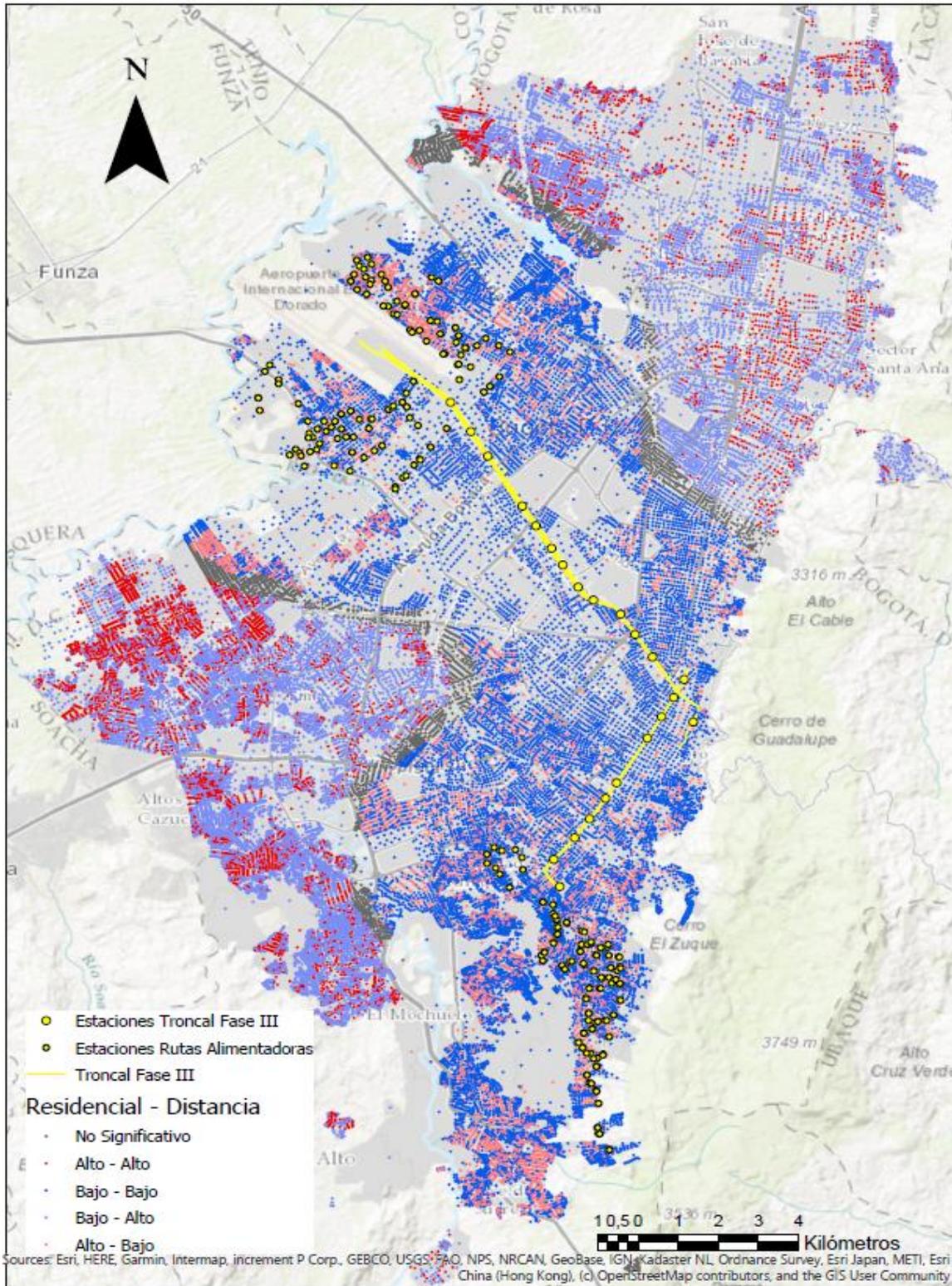
local bivariada. En general, lo encontrado corresponde a lo esperado en los modelos teóricos de base (Duranton y Puga, 2015) para diferentes zonas de la ciudad. La infraestructura de transporte actúa como una extensión del lugar central y permite expandir las externalidades, positivas y negativas, de la aglomeración a otras áreas geográficas. Esto va a depender de las condiciones particulares de cada zona.

Todos los mapas donde se muestran los resultados de la autocorrelación local de las variables de interés respecto a la distancia a la Fase III de Transmilenio presentan dos zonas, una donde la distancia es corta y otra donde la distancia es mayor. De estas zonas, nuestro interés se centra en la zona de distancia corta, que presenta dos patrones, Bajo – Bajo y Alto – Bajo. Como se explicó en la metodología, que una manzana tenga un patrón Alto-Bajo en la prueba de autocorrelación local bivariada implica que, en su vecindad, las manzanas cercanas tienen valores más altos conforme son más cercanas a la infraestructura de transporte. En otras palabras, si, por ejemplo, la variable de interés es “variación de los metros cuadrados construidos de uso residencial entre 2011 y 2018”, el patrón Alto – Bajo indica que, en el vecindario, las manzanas más cercanas al acceso al sistema TransMilenio tuvieron mayor crecimiento del uso residencial respecto a las manzanas más alejadas.

El Mapa 1 muestra el clúster resultado de la prueba de autocorrelación local de la variable variación de metros cuadrados construidos residencial respecto a la distancia a la Fase III de Transmilenio. El análisis exploratorio muestra que solo se encuentran patrones de crecimiento del uso del suelo residencial en torno a la infraestructura de transporte en la periferia de la ciudad, tanto al borde occidental (sabana) como al borde oriental (cerros). En la zona de acceso a las estaciones troncales se identifica el patrón contrario, hay menos crecimiento del uso del suelo residencial conforme la localización es más cercana a la infraestructura. Desde la teoría de economía urbana esto se explica porque la infraestructura reduce los costos de transporte y hace que zonas de precios más bajos sean más atractivas para la construcción. Estas características se reúnen en las zonas periféricas. En la zona occidental norte, localidad Engativá, se encuentra un patrón donde hay mayor crecimiento del uso residencial en presencia de paradas de buses alimentadores del sistema TransMilenio. En la zona occidental sur, localidad Fontibón, este patrón no es claro. Esto puede explicarse a través de las diferencias en la mezcla de usos entre las dos zonas, ya que en Fontibón confluyen usos del suelo comercial e industrial, por lo tanto, su dinámica de crecimiento no corresponde a la de una zona de expansión urbana. En la zona oriental el patrón muestra zonas con crecimiento local y otras con reducción local, por lo cual no es concluyente.



Mapa 1: Clúster resultado de autocorrelación local de la variable variación de metros cuadrados construidos residencial respecto a la distancia a la Fase III de Transmilenio

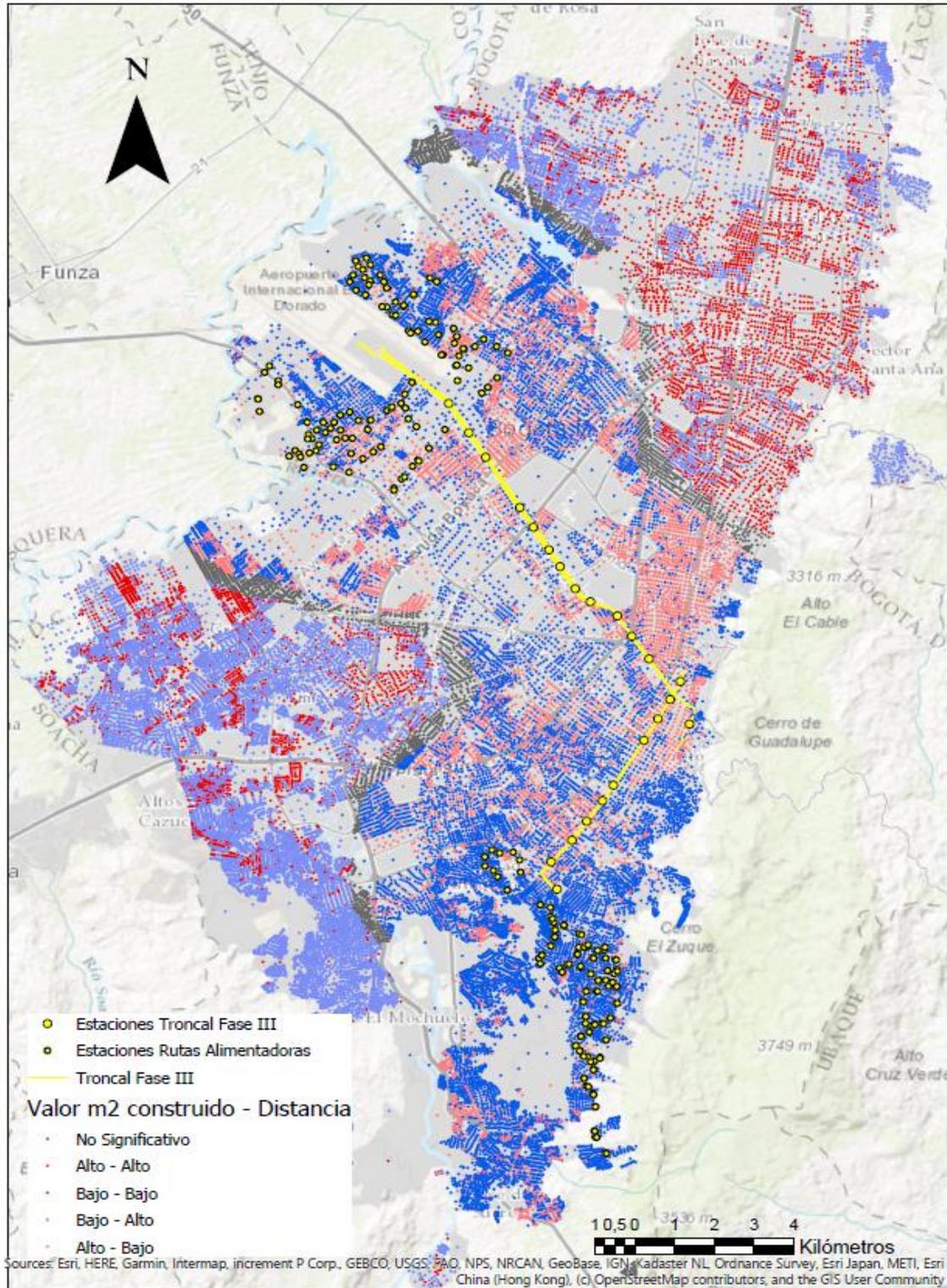


El Mapa 2 muestra el clúster de la prueba de autocorrelación local de la variable variación del avalúo del metro cuadrado construido residencial respecto a la distancia a la Fase III de Transmilenio. En la zona troncal en dirección al occidente (Avenida El Dorado) es claro que para las observaciones inmediatamente contiguas al acceso al sistema el avalúo es más bajo respecto a las observaciones más alejadas. El patrón cambia con alrededor de 500 metros del acceso al sistema. Esto es el reflejo directo de la acción de las externalidades negativas de la infraestructura de transporte, especialmente las construidas en superficie o elevadas. Las preferencias de los consumidores de vivienda no se asocian con el ruido, la contaminación, la congestión o el intenso flujo de personas producto de esta infraestructura. Sin embargo, aumentos de avalúo de vivienda por el aprovechamiento del mayor nivel de accesibilidad se observan a 300 metros o más del acceso. Esto permite intuir que en las zonas donde el avalúo y la construcción de vivienda bajan otras actividades económicas están adquiriendo mayor relevancia. En la zona troncal con dirección al sur (Carrera 10) existe el mismo patrón en los tramos más cercanos al CBD, a mayor distancia de este el patrón no es consistente.

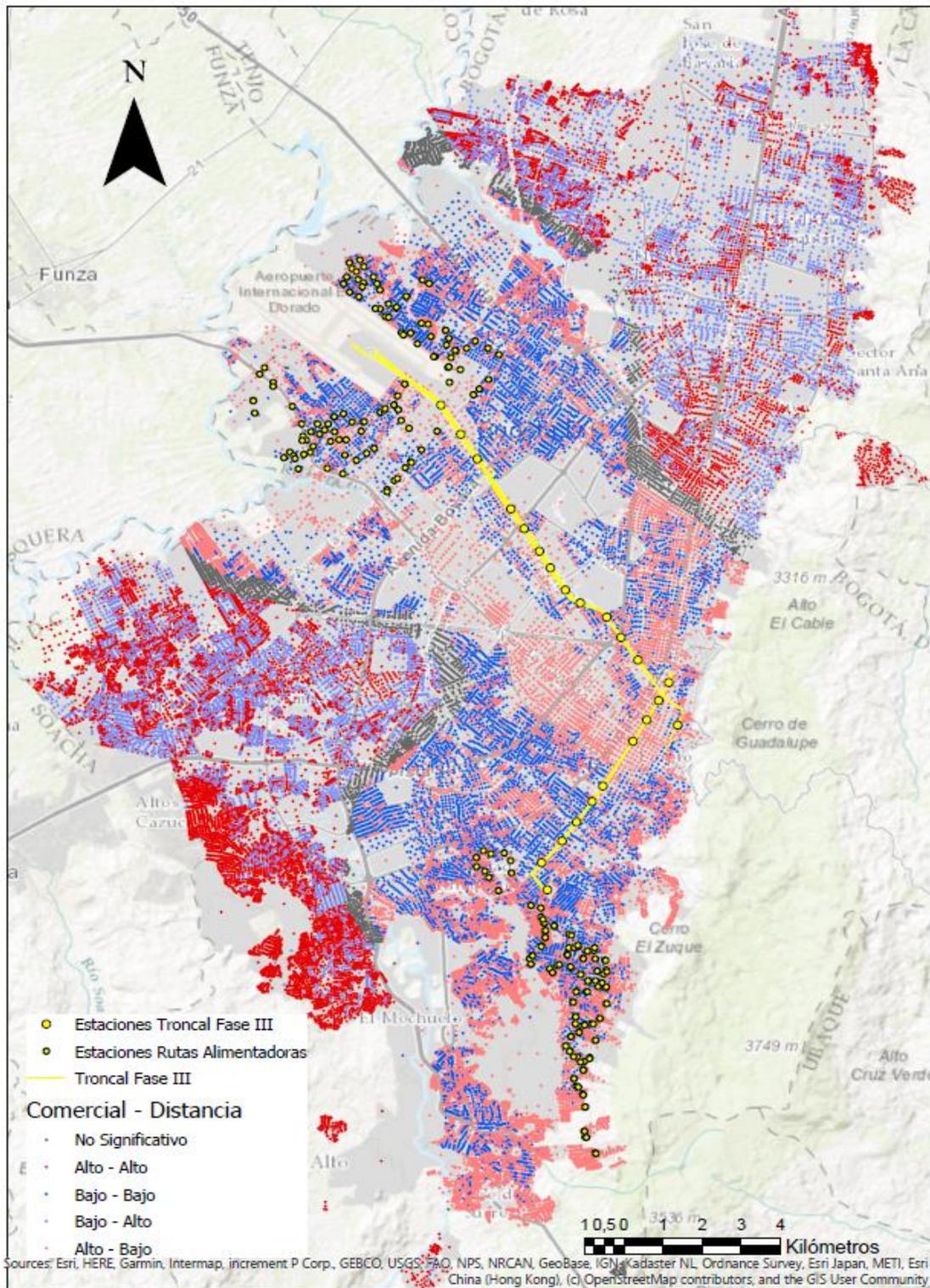
En la zona periférica occidental, los avalúos más altos a menor distancia del acceso al sistema TransMilenio se dan en áreas más alejadas del aeropuerto y cercanas a la zona troncal, lo cual muestra una configuración de preferencias en el mercado de vivienda alrededor de las externalidades negativas conjuntas de diversas infraestructuras de transporte. En este caso, el aeropuerto El Dorado tiene un papel importante para tener en cuenta en un análisis causal. En la zona periférica oriental predomina el patrón Bajo-Bajo, lo que nos lleva a plantear hipótesis sobre el comportamiento particular de esta zona en construcción de vivienda. Es posible que haya presencia de vivienda informal o zonas en proceso de legalización que no permitan explicar a la luz de la literatura académica tradicional la relación que estamos explorando. Planeamos que se debe hacer un estudio particular sobre los efectos del transporte público en zonas con presencia de vivienda informal.



Mapa 2: Clúster resultado de autocorrelación local de la variable variación del avalúo del metro cuadrado residencial respecto a la distancia a la Fase III de Transmilenio



Mapa 3: Clúster resultado de autocorrelación local de la variable variación de metros cuadrados construidos comerciales respecto a la distancia a la Fase III de Transmilenio



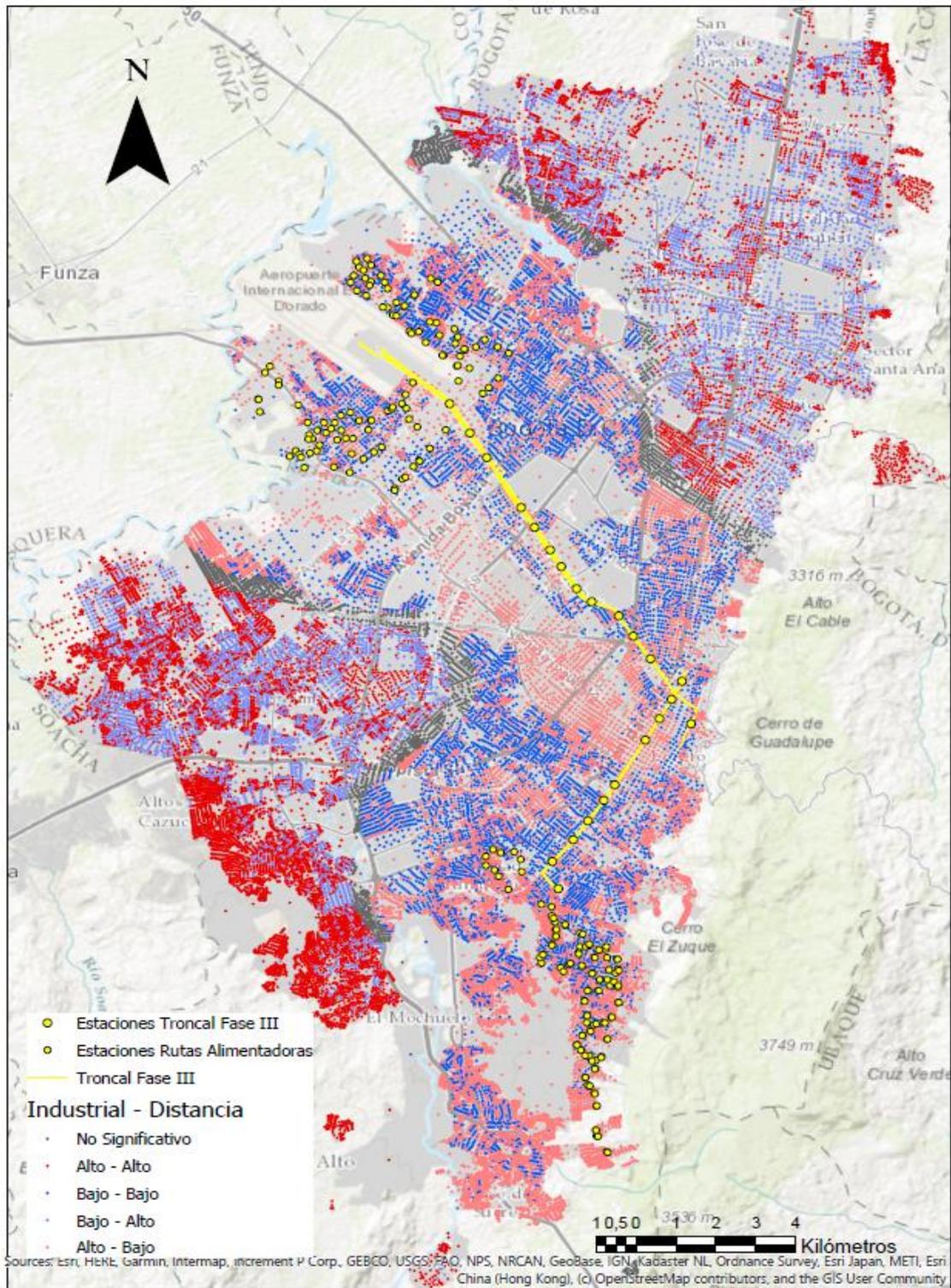
El Mapa 3 muestra el clúster de la prueba de autocorrelación local de la variable variación de metros cuadrados construidos de uso comercial respecto a la distancia a la Fase III de Transmilenio. Se encuentra un patrón complementario con el encontrado para el uso residencial mostrado en el Mapa 1. En la zona troncal se observa crecimiento de los metros cuadrados construidos conforme se reduce la distancia de acceso a la infraestructura. En la zona periférica occidental el uso comercial muestra aumento respecto al acceso al sistema TransMilenio en zonas que ya tenían vocación comercial (e.g. centro de Fontibón). En general el patrón en la periferia muestra que a menor distancia de acceso al sistema menor crecimiento del uso comercial. Este resultado es interesante por cuanto muestra que para diferentes zonas los usos de suelo residencial y comercial adquieren prevalencia y es posible que este patrón se incentive en presencia de infraestructura de transporte.

Al realizar el mismo ejercicio con el uso del suelo industrial se obtienen resultados similares a los descritos para el uso del suelo comercial. Los resultados se muestran en el Mapa 4. Esto indica que, para esta ventana de tiempo, años 2011 y 2018, esta metodología está capturando la descentralización de estas actividades económicas con los mismos patrones, aunque en la teoría se establezca que los incentivos de esta descentralización son diferentes. Los modelos teóricos son claros en mostrar que la mayor expansión urbana se da con la urbanización por medio de viviendas, ya que es una actividad económica de menor jerarquía y por tanto puede compensar mayores costos de transporte por menores rentas de la tierra. En cambio, actividades comerciales requieren mayor nivel de interacción espacial, lo que incentiva a que su presencia sea mas cercana a la aglomeración urbana (esto es el Distrito Central de Negocios, CBD, *Central Business District*, por sus siglas en inglés) y son menos intensivos en espacio, esto es una actividad económica de mayor jerarquía. Por otro lado, la industria es una actividad económica intensiva en el uso de espacio y recurso humano, con requerimientos de suministro, distribución y actividades logísticas en general que permiten una localización de mejor jerarquía en la estructura urbana.

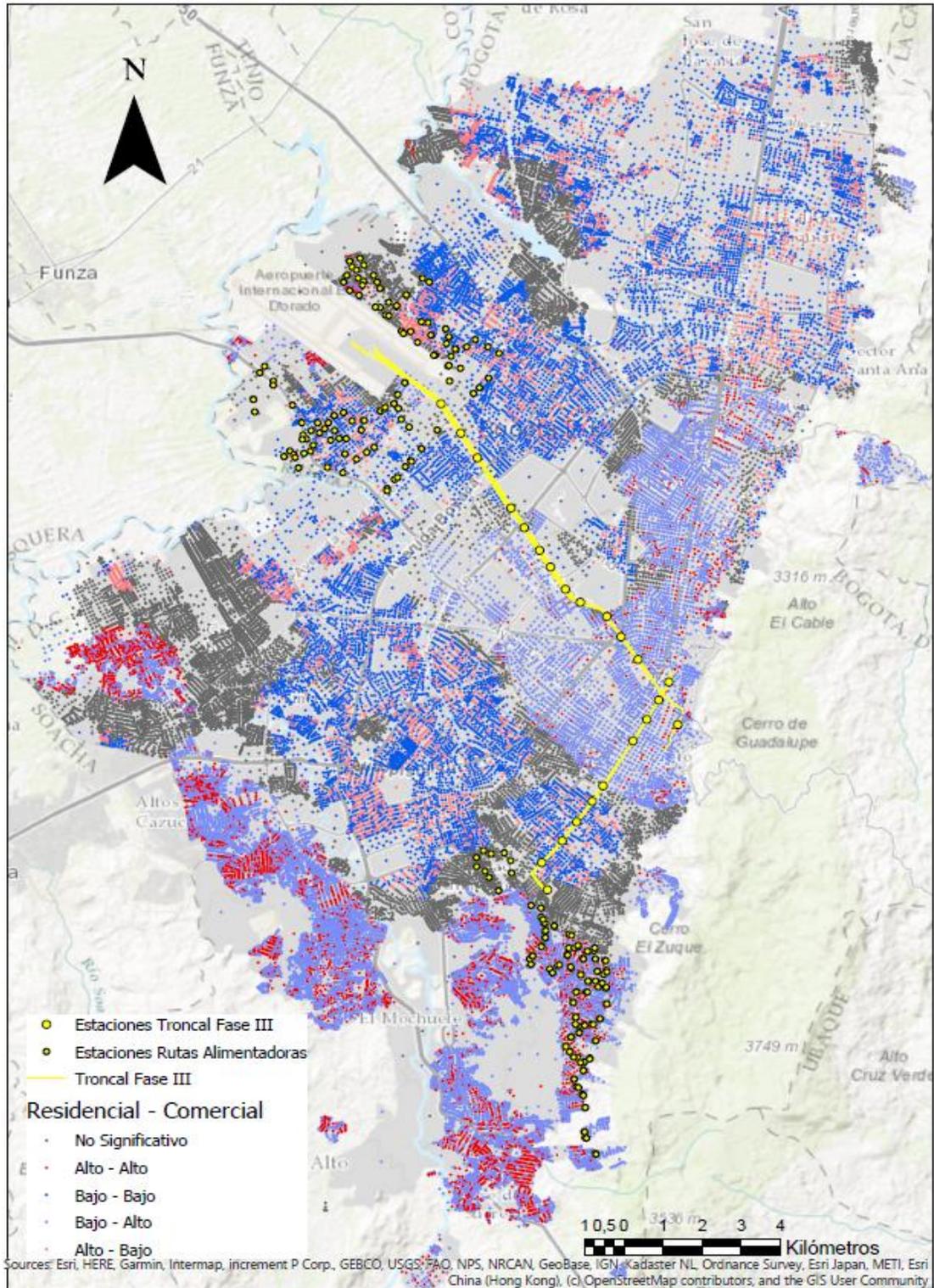
Por último, en el Mapa 5 se muestra el clúster de la prueba de autocorrelación local de las variables variación de metros cuadrados construidos residenciales con la variación de metros cuadrados construidos comerciales. Este mapa permite ver que las dinámicas entre las zonas troncales y las zonas periféricas difieren, tienen patrones diferentes. Vemos que, en la periferia occidental, las zonas donde sube la construcción de vivienda respecto al uso del suelo comercial son las que están mas cerca del acceso a Transmilenio, confirmando lo mostrado en los Mapas 1 y 2. En la zona troncal hacia el occidente baja la construcción de vivienda respecto a la construcción de uso comercial. Finalmente, en la zona troncal oriental más cercana al CBD existe el mismo patrón que en la zona troncal hacia el occidente, pero en la zona mas alejada del CBD parece haber el surgimiento de otras actividades económicas, ya que tanto la vivienda como el comercio bajan. En la zona periférica oriental se muestra un patrón donde suben ambos usos del suelo, pero no es posible establecer una dinámica específica en torno al acceso al sistema TransMilenio.



Mapa 4: Clúster resultado de autocorrelación local de la variable variación de metros cuadrados construidos industriales respecto a la distancia a la Fase III de Transmilenio



Mapa 5: Clúster resultado de autocorrelación local de las variables variación de metros cuadrados construidos residenciales con la variación de metros cuadrados construidos comerciales



6. Conclusiones

Encontramos evidencia de que hay una relación entre la construcción de infraestructura de transporte y patrones de construcción de vivienda para algunos sectores de la ciudad de Bogotá. Lo observamos a través de contrastar cambios en los usos del suelo en la zona de influencia de la Fase III de Transmilenio. El Índice de Moran local bivariado permitió definir la zona de influencia sin parametrización, alejándonos de la literatura tradicional en este tema. Al interior de esta zona observamos patrones por zonas. En la periferia occidental de Bogotá se observa aumento en la construcción de vivienda respecto a la construcción en otros usos de suelo. En la zona troncal hacia el occidente hay mayor construcción comercial e industrial, mientras que la construcción de uso residencial está relegada y se pueden observar aumentos sectorizados a 300 metros de distancia del acceso al sistema.

En la zona central de la ciudad existe aumento predominante de la construcción usos del suelo diferentes al residencial, espacialmente el uso comercial. Hacia la zona periférica oriental no se puede percibir patrones directos en relación con el aumento de accesibilidad. Estos hallazgos son coherentes por zonas con la literatura económica de crecimiento urbano, ya que se observa que hacia la periferia hay predominancia del suelo residencial y se explica por el menor valor de la tierra y menores niveles de densidad. En cambio, en las zonas más centrales de la ciudad (troncal) se observa aumento de la importancia de la construcción para otros usos de suelo, lo que corresponde a actividades económicas de mayor jerarquía.

Esta exploración permite sostener la hipótesis de que el transporte público, que aumenta el nivel de accesibilidad, acelera procesos de crecimiento urbano. Esto es, un efecto de expansión de los fenómenos del centro urbano en la zona de influencia de la infraestructura de transporte. Además, esto motiva estudios de carácter causal donde se pueda cuantificar el efecto de la infraestructura en el cambio de uso de suelo. Esto es importante en la definición de política pública en torno al uso del suelo en la ciudad, ya que permite integrar los planes de construcción y expansión de infraestructuras de transporte con planes de ordenamiento territorial.



Bibliografía

- Ahlfeldt, G. M., Redding, S. J., Sturm, D. M., & Wolf, N. (2015). The Economics of Density: Evidence from the Berlin Wall. *Econometrica*, 83(6), 2127–2189.
- Allain, R. (2012). *Morphologie Urbaine: Géographie, aménagement et architecture de la ville*. París: Armand Colin.
- Alonso, W. (1964). *Location and Land Use: Towards a General Theory of Land Rent*. Cambridge: Harvard University Press.
- Anas, A., Moses, L.N., (1979). Mode choice, transport structure and urban land use. *J. Urban Econ.* 6, 228–246
- Baum-Snow, N., (2007a). Did highways cause suburbanization? *Q. J. Econ.* 122, 775–805.
- Baum-Snow, N., (2007b). Suburbanization and transportation in the monocentric model. *J. Urban Econ.* 62, 405–423.
- Baum-Snow, N., Brandt, L., Henderson, J.V., Turner, M.A., Zhang, Q., (2013). *Roads, Railroads and Decentralization of Chinese Cities*. Processed, Brown University.
- Bocarejo, J. P., Portilla, I., & Pérez, M. A. (2013). Impact of Transmilenio on density, land use, and land value in Bogotá. *Research in Transportation Economics*, 40(1), 78–86.
- Brueckner, J. K., & Helsley, R. W. (2011). Sprawl and blight. *Journal of Urban Economics*, 69(2), 205–213.
- Brueckner, J. K., & Largey, A. G. (2008). Social interaction and urban sprawl. *Journal of Urban Economics*, 64(1), 18–34.
- Burchfield, M., Overman, H. G., Puga, D., & Turner, M. A. (2006). Causes of Sprawl: A Portrait from Space. *The Quarterly of Journal Economics*, 121(2), 587–633.
- Cervero, R., & Kang, C. D. (2011). Bus rapid transit impacts on land uses and land values in Seoul, Korea. *Transport Policy*, 18(1), 102–116.
- Cervero, R., & Kockelman, K. (1997). Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2(3), 199–219.
- Davies, G. (1976). The Effect of a Subway on the Spatial Distribution of Population. *Journal of Transport Economics and Policy*. 10, 136-136
- Deng, T., & Nelson, J. D. (2010). The Impact of Bus Rapid Transit on Land Development: A Case Study of Beijing, China. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 4(6), 1182–1192.
- Diaz-Cruz, N. A. (2016). Paisaje residual en Bogotá: análisis del deterioro urbano. Ejes de Transmilenio. Avenidas El Dorado, Fernando Mazuera, Caracas y Norte Quito Sur. *Revista Ciudades, Estados y Política*, 3(1)



- Dodds, S., & Dubrovinsky, M. (2015). Retail Amenities and Urban Sprawl. *Journal of Regional Science*, 55(2), 280–297
- Donaldson, D. (2010). Railroads of the Raj: Estimating the impact of transportation infrastructure (No. w16487). National Bureau of Economic Research.
- Dowall, D. E., & Treffeisen, P. A. (1991). Spatial transformation in cities of the developing world: Multinucleation and land-capital substitution in Bogota, Colombia. *Regional Science and Urban Economics*, 21, 201–224.
- Duranton, G., Puga D. (2004): “Micro-Foundations of Urban Agglomeration Economies,” in *Handbook of Regional and Urban Economics*, Vol. 4, ed. by J. V. Henderson and J.-F. Thisse. Amsterdam: Elsevier, 2063–2117.
- Duranton, G., Puga D. (2015): “Urban Land Use,” in *Handbook of Regional and Urban Economics*, Vol. 5, ed. by J. V. Henderson and J.-F. Thisse. Amsterdam: Elsevier, 467–560.
- Echeverry, J. C., Ibanez, A. M., & Moya, A. (2005). Una evaluación económica del Sistema TransMilenio. *Revista de Ingeniería*, 21, 68–77.
- Fujita, M., Thisse, J.F. (2013). *Economics of Agglomeration: Cities, Industrial Location, and Regional Growth*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Garcia-López, M. À. (2010). Population suburbanization in Barcelona, 1991-2005: Is its spatial structure changing? *Journal of Housing Economics*, 19(2), 131–144.
- Garcia-López, M. À. (2012). Urban spatial structure, suburbanization and transportation in Barcelona. *Journal of Urban Economics*, 72(2-3), 176–190.
- Gibbons, S., & Silva, O. (2008). Urban density and pupil attainment. *Journal of Urban Economics*, 63(2), 631–650.
- Gonzalez-Navarro, M., & Turner, M. (2018). Subways and Urban Growth: Evidence from Earth. *Journal of Urban Economics*, 108(May), 85–106.
- Guilliano G. (2004). Land Use Impacts of Transportation Investments. In Hanson and Guilliano eds. *The Geography of Urban Transportation* (3rd Edition, pp. 30–58). The Guilford Press.
- Jaramillo González, S. (2018). Mercado del suelo y prácticas espaciales. La evolución de la configuración física de una ciudad latinoamericana: Bogotá. 1900-2018 (Documentos CEDE. No. 56).
- Mayer, T., & Trevien, C. (2017). The impact of urban public transportation evidence from the Paris region. *Journal of Urban Economics*, 102, 1–21.
- Mills, E., (1967) An aggregative model of resource allocation in a metropolitan area. *American Economic Review. Papers and Proceedings*. 57, 197–210
- Mills, E., (1972). *Studies in the Structure of the Urban Economy*. Baltimore: The John Hopkins Press

- Muller, P. O. 2004. Transportation and Urban Form. In Hanson and Guillianos eds. *The Geography of Urban Transportation* (3rd Edition, pp. 30–58). The Guilford Press.
- Munoz-Raskin, R. C. (2007). Walking Accessibility to Bus Rapid Transit in Latin America: Does It Affect Property Values? The Case of Bogota, Colombia. In Transportation Research Board 86th Annual Meeting.
- Muth, R. (1969). *Cities and Housing. The spatial pattern of urban residential land use.* Chicago: The University of Chicago Press.
- Muth, R. (1971). The Derived Demand for Urban Residential Land. *Urban Studies*, 8, 243-254.
- Nechyba, T. J., & Walsh, R. P. (2004). Urban Sprawl. *The Journal of Economic Perspectives*, 18(4), 177–200.
- Peiser, R. B. (1989). Density and Urban Sprawl. *Land Economics*, 65(3), 193–204.
- Perdomo, J. A., Mendieta, J. C., Mendoza, C. A., & Baquero, A. F. (2007). Investigación sobre el impacto del proyecto de transporte masivo Transmilenio sobre el valor de las propiedades en Bogotá, Colombia. Cambridge, MA: Lincoln Institute of Land Policy.
- Perk, V., Catalá, M., & Reader, S. (2012). *Land Use Impacts of Bus Rapid Transit.* Washington, DC.
- Picard, P. M., & Tabuchi, T. (2013). On microfoundations of the city. *Journal of Economic Theory*, 148(6), 2561–2582.
- Redding, S. J., Turner M.A. (2015): “Transportation Cost and the Spatial Organization of Economic Activity” in *Handbook of Regional and Urban Economics*, Vol. 5, ed. by J. V. Henderson and J.-F. Thisse. Amsterdam: Elsevier, 1339–1395.
- Rodríguez, D. a., & Mojica, C. H. (2009). Capitalization of BRT network expansions effects into prices of non-expansion areas. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 43(5), 560–571. <http://doi.org/10.1016/j.tra.2009.02.003>
- Rodríguez, D. A., & Targa, F. (2004). Value of accessibility to Bogotá’s bus rapid transit system. *Transport Reviews*, 24(5), 587–610.
- Secretaría Distrital de Planeación – SDP, (2010). *Inventario estadístico. Proyecciones municipales de población.*
- Serrano, R. M., & Valcarce, E. V. (2000). *Técnicas econométricas para el tratamiento de datos espaciales: la econometría espacial (Vol. 44).* Edicions Universitat Barcelona.
- Siabato, Willington & Guzmán-Manrique (2019). “La autocorrelación espacial y el desarrollo de la geografía cuantitativa.” *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 28 (1): 1-22. doi: 10.15446/rcdg.v28n1.76919.
- Silva, L. (2010). El impacto del transporte en el ordenamiento de la ciudad: el caso de Transmilenio en Bogotá. *Territorios*, 22, 33–64.



Solow, R. M. (1972). Congestion, Density and the Use of Land in Transportation. *The Swedish Journal of Economics*, 74(1), 161–173.

Steen, R. C. (1986). Nonubiquitous Transportation and Urban Population Density Gradients. *Journal of Urban Economics*. 20, 97-106

Taylor, L. (2003) *The Hedonic Method*. En Champ, P; Boyle, K, Brown, T. (eds.). *A primer on Nonmarket Valuation*. Springer Science Business Media: New York

Tsivanidis, N. (2018). *The Aggregate and Distributional Effects of Urban Transit Infrastructure: Evidence from Bogotá's TransMilenio*. Job Market Paper. Retrieved from https://www.dropbox.com/s/2utm63q6qoy20d6/Tsivanidis_JMP.pdf?dl=1

Torres-Vera, M. A., Garcia-Lopez, D., Torres-Vera, M. a., & Prol-Ledesma, R. M. (2009). Three decades of land use variations in Mexico City. *International Journal of Remote Sensing*, 30(1), 117–138.



www.sdp.gov.co

 @planeacionbog

 PlaneacionBogota

Alcaldía de Bogotá