

# Documentos CEDE

ISSN 1657-7191 edición electrónica

Especificación y estimación de un modelo de precios hedónico espacial para evaluar el impacto de Transmilenio sobre el valor de la propiedad en Bogotá

**Juan Carlos Mendieta**  
**Jorge Andrés Perdomo**

**22**

OCTUBRE DE 2007

Serie Documentos Cede, 2007-22  
ISSN 1657-7191

Octubre de 2007

© 2007, Universidad de los Andes–Facultad de Economía–Cede  
Carrera 1 No. 18 A – 10, Bloque C.  
Bogotá, D. C., Colombia  
Teléfonos: 3394949- 3394999, extensiones 2400, 2049, 2474  
*infcede@uniandes.edu.co*  
*http://economia.uniandes.edu.co*

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

Edición, diseño de cubierta, pre prensa y prensa digital  
Proceditor Ltda.  
Calle 1 No. 27 A – 05  
Bogotá, D. C., Colombia  
Teléfonos: 2204275, 220 4276, Fax: extensión 102  
*proceditor@etb.net.co*

Impreso en Colombia – Printed in Colombia

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

## **ESPECIFICACIÓN Y ESTIMACIÓN DE UN MODELO DE PRECIOS HEDÓNICO ESPACIAL PARA EVALUAR EL IMPACTO DE TRANSMILENIO SOBRE EL VALOR DE LA PROPIEDAD EN BOGOTÁ**

**JUAN CARLOS MENDIETA<sup>\*</sup>**  
**JORGE ANDRES PERDOMO<sup>†</sup>**

### **Resumen**

El presente artículo trata sobre la identificación y estimación de un modelo de precios hedónico-espacial que incluye la variable distancia entre la propiedad y la estación más cercana al sistema de transporte masivo Transmilenio (TM) en Bogotá, Colombia. Se estimó un modelo que explica las variaciones en el precio de la tierra en función de las variables propias de la vivienda, variables sobre atributos ambientales de entorno, atributos del vecindario, variables de seguridad y la variable distancia mencionada. Los resultados muestran valores promedio para la elasticidad proximidad a TM precio del predio de -0.36, -0.55 y -1.13 para la primera, segunda y tercera etapa de Transmilenio respectivamente. Por un cambio en uno por ciento en la proximidad de la propiedad a la estación más cercana de TM, el cambio en el valor del suelo, considerando el universo de predios impactados por el proyecto en sus diferentes fases, es de aproximadamente 627 mil millones de pesos colombianos de 2005. Este valor es aproximadamente el 0.978% del PIB de Bogotá en 2005.

**Palabras clave:** Transmilenio, Modelo Hedónico Espacial, Sistema de Transporte Masivo.

**Clasificación JEL:** C21, C31, Q12, Q15, R21.

---

<sup>\*</sup> Profesor Investigador (jmendiet@uniandes.edu.co), Facultad de Economía, Universidad de Los Andes.

<sup>†</sup> Investigador y Profesor de Cátedra (jor-perd@uniandes.edu.co), Facultad de Economía, Universidad de Los Andes.

# **SPECIFICATION AND ESTIMATION OF A SPATIAL HEDONIC PRICES MODEL TO EVALUATE THE IMPACT OF TRANSMILENIO ON THE VALUE OF THE PROPERTY IN BOGOTA**

## **Abstract**

This paper considers the identification and estimation of a spatial hedonic price model including the variable distance between the local properties and the nearest station of the massive transportation system Transmilenio (TM) in Bogotá, Colombia. We estimate a model to explain variations in land values with standard house attributes, environmental amenities, neighborhood attributes, security variables, and the distance formerly mentioned. The results suggest that the average elasticity proximity of TM, price of the land are -0.36, -0.55 and -1.13 for the first, second and third stages of TM in the same order. A change in one percent in the proximity of the property to the nearest TM station corresponds to a change in the average value of the land of 627 billions of Colombian 2005 pesos considering the whole universe of properties impacted by TM in the three stages. This value is approximately 0.978% of the Bogota's GDP in 2005.

**Keywords:** Transmilenio, spatial hedonic price model, massive transportation system.

**JEL Classification:** C21, C31, Q12, Q15, R21.

# ESPECIFICACIÓN Y ESTIMACIÓN DE UN MODELO DE PRECIOS HEDÓNICO ESPACIAL PARA EVALUAR EL IMPACTO DE TRANSMILENIO SOBRE EL VALOR DE LA PROPIEDAD EN BOGOTÁ

## 1. Introducción.

El objetivo primordial de hacer inversiones públicas en infraestructura de transporte es asegurar la oferta del servicio de movilidad de personas y mercancías. Cuando estas inversiones se ejecutan en grandes ciudades, además del efecto indirecto de proveer un insumo clave para el crecimiento económico, se pueden tener efectos indirectos llamados externalidades.

En el caso específico de Bogotá, donde el crecimiento económico depende directamente de la movilidad de personas y mercancías, es vital generar estudios relevantes que ayuden a evidenciar y soportar decisiones públicas en proyectos de infraestructura y servicios de transporte urbano masivo en la ciudad. Referente a éste tema, por ejemplo, Damm et. al. (1980), dice que la provisión de infraestructura de transporte tiene un impacto real en el desarrollo urbano y por consiguiente sobre el valor de la propiedad urbana. Estos autores afirman que obras de transporte masivo como el metro de Washington tienen influencia sobre el comportamiento de la demanda y oferta de viviendas y locales comerciales y que la estimación de tales impactos sobre el valor de las propiedades es de vital importancia para el diseño de políticas de impuestos, de adquisición por parte del gobierno de propiedades antes de la construcción de la infraestructura de transporte y políticas de desarrollos urbanos tanto públicas como privadas.

En el caso específico de Transmilenio en Bogotá, como una opción factible de transporte urbano para los bogotanos, se debe tener especial cuidado en el análisis de los impactos generados y verificar si efectivamente genera mejoras en el bienestar social. Transmilenio, en su condición de Sistema de Transporte a través de Buses Rápidos (*Bus Rapid Transit* -BRT) genera impactos directos e indirectos para las poblaciones con menores niveles de calidad de vida, debido a deficiencias en los niveles de oferta del servicio de transporte público.

Siguiendo esta discusión, una investigación realizada por Halcrow Fox (2000), publica un estudio en donde afirma que al mejorarse las condiciones de transporte público las personas obtienen considerables ahorros en costos y tiempo, dejando de ser menos pobres en transporte. Algunos autores sostienen que los sistemas de transporte tienen algunas ventajas claras, por ejemplo, Diaz y Schneck (2000), Levinson et. al. (2002), Polzin y Baltés (2002), Vuchic (2002) afirman que los costos de capital de los BRT's en relación a los gastos de otros modos de transporte es un factor decisivo en su elección. No obstante, se pueden generar otros tipos de impactos como por ejemplo cambios sobre el valor de la propiedad y

sobre las actividades económicas de la ciudad que deben ser estudiados en detalle con miras a buscar las metas deseadas de políticas.

En el caso de Bogotá el estudio de Rodríguez y Targa (2004), concluye que la capacidad para estimular el desarrollo económico puede verse limitada en presencia de este tipo de sistemas. Es decir, el desarrollo de barrios residenciales, comercios y centros de trabajo se facilita a lo largo de carriles para buses regulares más que a lo largo de una línea de carril con una localización fija. Es decir, se podrían dar cambios en la dinámica del suelo urbano que en últimas generarían cambios en el precio del suelo. Por otra parte, Halcrow Fox (2000) y Polzin y Baltés (2002), en un estudio para el Banco Mundial afirman que se ha estudiado muy poco la influencia de los BRT's sobre el desarrollo del suelo, también dicen que esto se cumple para el caso del estudio de las externalidades generadas por lo BRT's. En cambio, otros resultados como el de Wright (2001) para el caso de Quito – Ecuador, encuentran que las innovaciones tecnológicas tales como la sustitución de combustibles dañinos usando gas natural tienen mejoras notables en la calidad del aire y por ende sobre la calidad de vida de las personas que habitan en las grandes urbes. Todas estas conclusiones con resultados en contraposición justifican la ejecución de estudios dirigidos a buscar evidencia empírica ausente para complementar el análisis de política en éste tema.

Este estudio utiliza datos provenientes de la base de avalúos del Departamento Administrativo de Catastro Distrital de Bogotá para estimar un modelo de precios hedónico espacial cuyo fin es el de generar evidencia empírica sobre el cambio en el valor del suelo atribuido a la construcción de las fases I y II de Transmilenio y su importancia en la generación de información para el diseño de políticas de captura de valor en la ciudad. Además de verificar la hipótesis de generación de cambios en el valor del suelo derivados de la ejecución de proyectos de sistema de transporte masivo para el caso de Bogotá, se destaca la importancia del uso de la econometría espacial como herramienta metodológica útil para el análisis y modelación de problemas económicos, que por su naturaleza, se encuentran fuertemente influenciados por el componente espacial.

En la siguiente sección se presenta una revisión de literatura con estudios que tratan el tema de inversión en proyectos de transporte y cambios en el valor del suelo. La sección tres presenta una descripción de la zona de estudio y una identificación de los impactos generados por Transmilenio. En la cuarta sección, se expone la teoría sobre el modelo hedónico espacial. En la quinta sección se define la estrategia de modelación seguida. Mientras que en la sexta sección se especifica el modelo empírico. En la sección siete se presentan los resultados del modelo y en la sección ocho se exponen las principales conclusiones del estudio. Al final, en la sección nueve se proponen un conjunto de recomendaciones para desarrollar una línea de investigación en este tema y por último se presentan las referencias consultadas para hacer dicho estudio.

## **2. Revisión de estudios relacionados con el tema**

En esta sección se presenta una serie de estudios encontrados en la literatura que permiten averiguar sobre la evidencia empírica obtenida a nivel nacional e internacional en el tema de proyectos de transporte masivo y cambios en el valor de la propiedad.

En primer lugar se debe mencionar que la dinámica de crecimiento de los espacios urbanos contribuye en gran medida a determinar el comportamiento de los precios de su suelo. A su vez existen varios factores que afectan el desempeño de la morfología de estos espacios, que aunque no son homogéneos en todas las ciudades; si hay concertación que el mercado es el primordial factor de transformación y el principal instrumento de planificación de las urbes.

Los factores más importantes tienen que ver con el ingreso de la población, el crecimiento económico y la densidad. En cuanto al primero no se han encontrado patrones claros entre ingreso individual y localización en los países desarrollados, sin embargo en las grandes ciudades de los países tercermundistas la tendencia es que las familias con mayores ingresos estén ubicadas en la periferia.

En el segundo se destaca las ventajas de localización relativa en áreas urbanas por parte de la producción industrial y de servicios, que pueden generar economías de escala (tamaños eficientes de las plantas), la disminución de costos de transporte (cercanía a los mercados) y las externalidades (economías de aglomeración). Finalmente, el tercero incide desde el punto de vista de la urbanización el cual por la segunda razón puede conllevar a un aumento indiscriminado de la demanda por suelo para uso residencial y productivo que no está vinculado con el crecimiento demográfico y puede generar expectativas especulativas en los precios del suelo. En este factor el comportamiento de los precios del suelo (en áreas periféricas tienden a ser menor) juega un papel importante en la planificación y facilidad de acceso a los modos de transporte, debido a que entre más grande sea la ciudad mayor es la densidad. Por lo tanto, en capitales pequeñas y grandes la población tiende a estar descentralizada, razón que conlleva a que las mejoras en los medios de transporte (aumentar comodidad, disminuir costos y tiempos de desplazamiento), reduce las desventajas de vivir alejado a los centros de actividad.

Para obtener estas mejoras en la adecuación del transporte simultáneamente se debe realizar grandes inversiones en infraestructura que haga al servicio de transporte eficiente y que integre la dinámica económica de los centros de actividad con las zonas de periferia de una ciudad. Del anterior contexto se pueden derivar las externalidades que posiblemente genera la construcción de la infraestructura, destacando una mejor calidad de vida para la población (mejor calidad ambiental), mejoramiento del paisaje urbanístico, mayor productividad y competitividad de las empresas. Estas percepciones tienen una incidencia sobre el comportamiento de los precios de los suelos en los espacios urbanos, beneficiados de las mejoras en los servicios de transporte de las ciudades.

La construcción de infraestructura tiene como resultado la asociación pública con la privada, la razón es que el Estado sigue decidiendo que, cuando y donde se construye por los mismos costos que implica la elaboración de estos proyectos de gran envergadura. Dada esta financiación para el desarrollo urbano, el Estado debe intervenir en las ganancias adicionales de los privados producidas en el mercado del suelo derivadas del crecimiento económico de las urbes.

Este aspecto final combinado con los factores anteriores que explican la dinámica urbana de las ciudades, son los que se quieren resaltar en la ciudad de Bogotá para explicar el comportamiento del precio y el cambio en el uso de los suelos en la zonas aledañas al sistema de transporte masivo Transmilenio. El estado ha realizado grandes inversiones en la infraestructura de Transmilenio para la capital de Colombia, el cual ha generado algunos cambios en el comportamiento de los precios de los predios para uso comercial y residencial; como también a generado nuevo usos del mismo y ha afectado la dinámica económica de las zonas beneficiadas. Parte de la plusvalía generada por este fenómeno y captada por los privados deben retribuirse al Estado que es el gestor de estas inversiones.

En el estudio de Batt (2001) se define el concepto de captura de valor “como la forma en que se financian los servicios de transporte desde una perspectiva económicamente eficiente, administrativamente simple, justa financieramente y factible socialmente” (ver Batt, pag 195). Este enfoque es aplicado para el caso de Nueva York, en el cuál se necesita saber como la captura de valor puede ser utilizada para encontrar nuevas maneras para financiar los sistemas de transporte público de esta ciudad, en especial se orienta a concentrar la densidad poblacional de manera que el sistema sea viable.

El estudio muestra como esta metodología pudo ser utilizada para financiar una fracción del Sistema Interestatal de Autopistas (SIA) de Nueva York. El SIA tiene una longitud de nueve millas y pertenece al I-87 también conocida como la “Vía del Norte” y se extiende desde esta sección hasta río Mohawk. *“Esta última parte es la más transitada de las vías del norte y a experimentado el más grande desarrollo desde su construcción en 1950. Para tener una idea general, los costos de este tramo están entre los US \$128 millones y el resultado de la valorización de la tierra en la proximidad de dos millas es de US \$3734 Billones de dólares americanos”* (ver Batt, pag 195).

Otro artículo relevante para el estudio es el de Damm, et. al. (1980), en este artículo se afirma que “la provisión de infraestructura pública tiene un fuerte impacto sobre el desarrollo urbano y la distribución espacial de las propiedades urbanas”. Los beneficios por autopistas, alcantarillados y otras estructuras públicas son obtenidos parcial o totalmente por los valores de las propiedades urbanas. Debido al aumento de los costos de la construcción de los sistemas de transporte masivo, el gobierno de los Estados Unidos está creando el concepto de “*taxing back*” el cual consiste en capturar los aumentos del valor de la propiedad para financiar inversiones públicas. Este instrumento también busca la captura de



valores pero en el caso de sistema de transportes masivos como el de la ciudad de Washington D.C.” (ver Damm et. al. 1980, pag 315).

Las políticas de “*captura de valor*” se basan en impuestos directos, adquisición pública de las propiedades antes del proyecto y su posterior reventa, y desarrollo conjuntos privados - públicos. Este mecanismo se basa en que los beneficios de la valorización de la tierra deben ser capturados por impuestos directos y por otros mecanismos que no sean los convencionales (impuesto a la propiedad). El supuesto fundamental es que los sistemas de transporte van a tener un impacto sobre esas propiedades y que este impacto va a ser tan grande que vale la pena capturarlo.

En este artículo se advierte que el tema de cuantificación del impacto sobre el valor de las propiedades derivados de proyectos de transporte no se debe analizar a través de metodologías que comparen datos de valor antes y después de un proyecto (como la metodología propuesta por Batt, 2001). En cambio, los autores proponen metodologías econométricas que permitan modelar el efecto de una variable independiente sobre una dependiente. Para modelar valor de las propiedades urbanas se utilizan dos enfoques; el primero es un enfoque estructural en el cual se representan a compradores y vendedores en ecuaciones separadas; el segundo soluciona las ecuaciones estructurales para obtener una forma reducida en la cual el precio es la variable dependiente y las independientes son las variables exógenas de las ecuaciones estructurales, esta ecuación es llamada ecuación de precio hedónico.

Este estudio también cita a otros autores, entre ellos, el trabajo de Spengler (1930), él cuál llega a las siguientes conclusiones sobre el efecto del valor de las propiedades cercanas a la construcción de una vía de ferrocarril a comienzos del siglo veinte:

- Las nuevas líneas de transporte transfieren valor. Los propietarios de los territorios cercanos a la línea se benefician, pero los que no están en este sector no se ven favorecidos.
- Las líneas de transporte no son la única vía para crear valor en las propiedades hay que tomar en cuenta otros factores que pueden llevar a que el valor de los predios disminuya. La poca disponibilidad de sitios de acceso, aunque exista buena movilidad, puede ser una causa para la pérdida de valores de la propiedad.
- El aumento de valor se da en tierras de mucha concentración de población a costa de las tierras menos pobladas.
- Los sectores con alto nivel de desarrollo no aumentan de valor cuando se abren nuevas vías de transporte.
- Las áreas con varias líneas de transporte no aumentan tanto de valor al agregar una línea adicional como en las propiedades en donde no habían líneas de transporte.

- En las áreas que se están desarrollando con un sistema de transporte, el aumento del valor de la propiedad se atribuye al proceso de subdivisión de los predios y no a la disponibilidad de servicios de transporte.

Los principales resultados del estudio de de Damm, et. al. (1980) son:

- En todos los casos, la distancia de una parcela a la estación del metro más cercana fue estadísticamente significativa en la determinación del precio de la parcela, en este orden de ideas entre más cercana este la parcela a la estación mayor va a ser su precio.
- El efecto del metro a sido más marcado sobre el sector de ventas al por menor que en las unidades residenciales.
- El efecto de la fecha de inauguración del metro es significativo sobre el valor de las propiedades. El efecto de los años de construcción es más fuerte sobre el sector comercial.
- El que una estación este por encima de la superficie, el que tenga parqueadero y una variable dicótoma que indica la proximidad a una estación a partir de la significancia obtenida no muestra con total certidumbre su influencia positiva sobre el precio.
- Variables relacionadas con la parcela (distancia al metro central y área del lote) y demográficas (ingreso, densidad de empleo y calidad de la casa) tienen fuerte influencia sobre el valor de la propiedad de los sectores residenciales (edificio con varias familias y casa con una familia).
- Los parqueaderos afectan positivamente al sector comercial.
- Hay fuertes efectos de aglomeración sobre los establecimientos de ventas al por menor.

Rodríguez y Targa (2004), analizan el impacto de Transmilenio sobre el precio de arrendamiento del sector residencial. En su estudio el estableció un radio de 1.5 Km alrededor de dos de los tres corredores de la Fase 1 (Avenida Caracas y Calle 80). Al preguntar por los precios de los arrendamientos y utilizando el enfoque de precios hedónicos, ellos concluyeron que mientras mayor sea la distancia al corredor, el valor de la propiedad aumenta. Por cada 100 metros de lejanía la vía de Transmilenio los arriendos aumentaban en 3.3%. Aunque por cada 100 metros de cercanía a la estación los arriendos aumentaban en 2.6%.

Estos autores mencionan que las vías de los sistemas de buses rápidos han resurgido como una opción de transporte para muchas ciudades. Pocos artículos han examinado la capacidad de este sistema para originar el desarrollo de propiedades y cambios en sus valores. Estos autores afirman que *“al estimar unas funciones de precio hedónicos espaciales, el trabajo busca determinar hasta qué punto el acceso a las estaciones de BRT en Bogotá, Colombia, influye en la valorización de las tierras”*. Los autores concluyen que *“por cada 5 minutos de tiempo de caminata extras hacia una estación causa una disminución del valor de las propiedades entre 6.8% y 9.3%, después de controlar por características estructurales, atributos del vecindario y proximidad al corredor del BRT. La*

*elasticidad del tiempo promedio de caminata hacia una estación se estimó entre -0.16 y -0.22” (ver Rodríguez y Targa 2004, pag 587).*

Otro estudio sobre el caso de Transmilenio lo presenta Mendoza (2005), este autor afirma que *“Transmilenio es el proyecto de infraestructura más importante de los últimos años en Bogotá. Que este sistema de vías de buses rápidos (BRTS) ha traído varios beneficios a la ciudad y ha sido la semilla para la implementación de un programa similar en las diferentes ciudades del país. Actualmente el sistema tiene más de 80 Km en operaciones y los planes para el futuro son la construcción de 388 Km de líneas exclusivas para bus en el 2016. La nación contribuye con el 66% de la financiación y el distrito con el resto, la operación del sistema está a cargo del sector privado” (ver Mendoza 2005, p vi).*

Referente a los impactos de Transmilenio, Mendoza menciona lo siguiente: *“después de la implantación de la primera fase, los beneficios de Transmilenio fueron evidentes. Antes que nada, la operación del sistema de transporte a través de estas vías cambió dramáticamente. En estos corredores, el sistema fue reemplazado de uno completamente desorganizado y basado en la competencia por nuevos pasajeros a uno con un horario programado y equipamiento de alta calidad” (ver Méndez 2005, pag 48).*

Según Mendoza (2005), algo para tener en cuenta en futuros estudios es que las estimaciones anteriores pueden estar sesgadas debido a que el incremento en el valor de las propiedades no se debe únicamente a Transmilenio (hay otros factores que lo determinan). Además, sería interesante realizar un estudio sobre el precio de las propiedades comerciales y oficinas. Aunque no se han realizado dichos estudios se puede ver que los centros comerciales pueden beneficiarse aun más del sistema que los sectores residenciales, prueba de esto es la construcción del Centro Comercial de la 80 (al lado del portal de la 80) y el Centro Comercial Santa Fe (en la Autopista Norte con Calle 184). En la parte de nuevos proyectos residenciales se pueden observar que algunos de ellos se sitúan cerca de las líneas de Transmilenio.

Sobre la captura de valor en Mendoza afirma que para el caso específico de Bogotá en 1987 (pag. 56) se adoptó el estatuto de valorización. El cuál permite que el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) se encargue del diseño y recolección de las ganancias para obtener fondos para las construcciones públicas. El IDU también se encarga de establecer los límites a los diferentes distritos y la creación de dos tipos de valorización:

- Valorización por beneficio general, en el cual todas las propiedades en la ciudad son grabadas cuando se considera que las obras públicas brindan un beneficio general (en el cual son grabados más fuertemente las propiedades sin uso y las residenciales de estrato 6).
- Valorización por beneficio local, en cual las propiedades que se benefician del proyecto son grabadas localmente.

Referente a la participación en plusvalías en Bogotá Mendoza afirma que esto se observa claramente para el proyecto de Usme. El Estado decide realizar inversiones públicas en estas áreas a través de dos fases. La primera consiste en congelar el precio de la tierra (4400 pesos/m<sup>2</sup>) en base a los precios del 2003 y realizar la inversión pública en infraestructura. La segunda fase consiste en desarrollar esta región por medio de inversión en infraestructura (alcantarillado, electricidad y autopistas), en esta etapa las propiedades que se benefician del proyecto pagan un impuesto. Finalmente luego de terminar el proyecto estas personas recuperan su inversión debido a la valorización de sus propiedades (50000 pesos/m<sup>2</sup>).

Mendoza (2005), también en su estudio propone una estrategia para utilizar la captura de valor como forma de financiamiento de Transmilenio. Primeramente, afirma que la captura de valor de los constructores constituye la más grande caja de herramientas para financiar la infraestructura de Transmilenio. Prácticamente, todos los instrumentos presentados bajo este grupo son aplicables a Transmilenio. Algunos tienen más dificultades o desventajas que otros, pero en general todos pueden ser utilizados. Aun así, la facilidad de implementación fue uno de los criterios para excluir a ciertos mecanismos. Lo que tienen en común los siguientes mecanismos es que todos capturan los ingresos cuando se realiza una transacción (también recuperan los incrementos en el precio de la tierra antes de que estos ocurran y sean capitalizados): La captura de valor de los constructores (compartimiento de beneficios, fianzas de conexión, arriendos de tierras, contribuciones del constructor), Intervención del gobierno (derechos de propiedad en la construcción, derechos de transferencias, densidades y intercambios de tierra) y por último la plusvalía del distrito por medio de la recaptura por parte de la "comunidad" (ver Mendoza 2005, pag 71).

Existe otro estudio que sirve de complemento que actualmente desarrollamos hecho por Moreno (2004). En este estudio, se toma la puesta en marcha de Transmilenio en Bogotá, en una vía de altos niveles de criminalidad, la Avenida Caracas, como experimento natural que rompe con la simultaneidad entre crimen y políticas para combatirlo, para medir el impacto de la transformación de la Avenida Caracas sobre el crimen en esta vía y de sus vecindades. Se encuentra que a lo largo de la Avenida Caracas, la actividad criminal presenta caídas pronunciadas aunque para el resto de la región objeto de estudio, los resultados varían según el tipo de crimen y la proximidad a la Avenida Caracas. Se encuentra evidencia de disuasión en algunos tipos de crimen y de desplazamiento de otros" (ver Moreno, pag 10).

En este estudio se supone que un individuo evalúa dos estados de acuerdo a la utilidad esperada que le brinda cada uno; el primer escenario es cometer un crimen y el otro es no hacerlo. Según Moreno, dos autores iniciaron esta investigación, por un lado esta Becker (1968) y Ehrlich (1973). Según la teoría el crimen debe disminuir a medida que en una zona determinada incrementa el número de policías, debido a que la probabilidad de ser capturado aumenta y esto lleva a un incremento en los costos de realizar un crimen (Disminuye la Utilidad

esperada). Dos problemas surgen al estudiar la relación entre número de policías y el número de crímenes, el primero es el de la simultaneidad (ambas variables se determinan conjuntamente) y el segundo es que es muy complicado aislar el efecto de un incremento de algunas de estas variables del incremento en la otra variable en cualquier lugar de una ciudad.

Para corregir estos problemas Levitt (1997) y otros autores plantean soluciones a este inconveniente. En la actualidad se soluciona este problema por medio de relaciones espaciales entre las variables analizadas con la justificación de que el entorno de la región y el comportamiento de regiones vecinas afectan el comportamiento de esa región (econometría espacial).

Moreno (2005), estima un modelo de diferencias en diferencias a los que se le incorpora elementos de análisis espacial de datos y técnicas de econometría espacial. El análisis busca medir el impacto del sistema de transporte Transmilenio en el crimen, tanto en la vía por la que éste sistema opera (Avenida Caracas), como en las regiones vecinas a esta avenida, con el fin de encontrar evidencia de disuasión, contagio y desplazamiento del crimen entre diferentes unidades geográficas (ver Moreno, pag 4).

Sobre los datos del estudio, se analizan 65 zonas aledañas a la Avenida Caracas de acuerdo a una división vertical de esta región en 13 tramos (cada zona tiene una longitud de 10 cuadras). Se usaron datos agregados por subregiones: Se organizaron las 65 zonas en 5 subregiones: Subregión Caracas, Subregión Vecina Arriba (Oriente), Subregión Vecina Abajo (Occidente), Subregión Alejada Arriba y Subregión Alejada Abajo.

La disminución del crimen en la Subregión Caracas (1999-2002) se hace evidente de acuerdo con el gráfico 1 (no incluido). Las disminuciones han sido considerables: atraco establecimientos comerciales (-78.2%), Atraco personas (-90.4%), Atraco residencias (-36.4%), Homicidios (-95.2%), Hurto motos (-62.5%), Hurto vehículos (-87.1%), Robo establecimientos comerciales (-85.3%), Robo personas (-87.9%), Robo residencias (-82.5%), Crimen total (-86.3%).

El autor realiza la prueba de cambio del crimen para las otras 5 subregiones, pero en estos casos los coeficientes no son significativos al 95% (a pesar de que son negativos). En la única Subregión donde son significativos es en la Subregión Caracas y las únicas formas de crimen que no son diferentes de cero son el atraco a residencias y el hurto de motos. Los atracos a establecimientos comerciales disminuyen estadísticamente hablando en las Subregiones más alejadas y atraco a residencias disminuye en las Subregiones de Arriba.

Se hace un análisis de los datos por zonas. En este análisis se pregunta qué puede haber ocasionado este comportamiento de las subregiones o cómo es el comportamiento de estos crímenes al interior de las mismas. Llevando a cabo un análisis del comportamiento de las variables, tomando el estado de cada crimen antes y después de la puesta en marcha de Transmilenio, para cada una de las 65

regiones definidas anteriormente, se puede buscar evidencia para indagar acerca de efectos de desplazamiento, disuasión ó difusión que trajo consigo la entrada en funcionamiento de Transmilenio (ver Moreno, pag 13)<sup>1</sup>.

Las zonas que se encuentran por debajo de la línea de 45 grados experimentaron una disminución de ese tipo de crimen después de la construcción de Transmilenio. A continuación se muestran la cantidad zonas que aumentaron el tipo de crimen después del proyecto (sobre un total de 60): Atraco establecimiento comerciales (4), Atraco personas (4), Atraco a residencias (10), Homicidios (9), Hurto motos (12), Hurto vehículos (15), Robo establecimientos (17), Robo personas (11), Robo residencias (20), Crimen total (10).

En cuanto al análisis de zonas y su relación con las vecindades se encontró que cuando se trabaja con datos distribuidos en el espacio, es de enorme relevancia no perder de vista estas consideraciones e incluirlas en el análisis. Haciendo uso de la definición de contigüidad de primer orden expresada a partir de la matriz  $W_1$ <sup>2</sup> que se expondrá en la sección de metodología, se construye una variable que se emplea como medida para capturar el efecto de las zonas vecinas en las que se tiene en cuenta la proximidad, y se lleva a cabo un primer acercamiento a las relaciones espaciales de las variables en el periodo 1999-2002, en el que se busca capturar el efecto de contagio espacial presente en la muestra (ver Moreno, pag 16).

En cuanto a cambios en las magnitudes, en casi todos los casos se da una contracción del crimen, pero las tendencias de comportamiento presentan cambios mínimos como efecto de la medida. En cuanto a las magnitudes, éstas permiten deducir hechos relevantes. El gráfico 3 (no incluido) muestra como en general las relaciones de las zonas con sus vecindades, antes y después de la puesta en marcha de Transmilenio es significativa para crímenes como atraco a establecimientos comerciales, atraco a personas, atraco a residencias, hurto de motos, hurto de vehículos y para total de crímenes (ver Moreno, pag 18).

Esto sugiere que el comportamiento de un determinado crimen en una zona no depende únicamente de sus características intrínsecas, sino que por el contrario, ésta obedece en enorme medida a la interacción geográfica de una zona específica con otras zonas con las que interactúa en ciertos comportamientos. El crimen agregado parece presentar más evidencia de desplazamiento que de cualquier otro fenómeno, de hecho es la medida que más variación presenta en su nivel con la entrada en funcionamiento de Transmilenio, pasando de un intercepto de -15.7 a -2.2 (ver Moreno, p19).

Con el método de primeras diferencias no hay clara disminución de algún tipo de crimen en cambio con las diferencias en diferencias los tipos de crimen que más

---

<sup>1</sup> Algo que es muy interesante y que no se aborda en el estudio de Moreno (2005) es averiguar si la reducción de los atracos promovió la actividad comercial y con ello los precios del suelo.

<sup>2</sup> Definido como la denominada matriz  $W_1$  de pesos espaciales, de retardos o contactos con la que se brinda solución al problema de multidireccionalidad.

disminuyeron fueron: atraco a establecimientos comerciales, atraco a personas, atraco a residencias, robo establecimientos comerciales y crimen total (significativas al 99%). También el estudio presenta evidencia de que la caída del crimen en zonas cercanas lleva a que disminuya el crimen de una determinada zona, esto ocurre para atraco a residencias, hurto de vehículos, robo a establecimientos comerciales, robo a personas y crimen total (efecto disuasivo). En cambio para el atraco a establecimientos comerciales y el hurto de motos tiene un efecto contrario, mientras estos disminuyen en las zonas vecinas, estas aumentan en la zona local (efecto desplazamiento)<sup>3</sup>.

Otro estudio relacionado con el impacto de transmilenio sobre las zonas aledañas es el presentado por Fernández (2005). El propósito de este trabajo es averiguar el efecto del desplazamiento del trafico (buses municipales) de la Avenida Caracas y la Autopista hacia la carrera séptima. Esta repentina sobre oferta de buses generó menores velocidades de circulación esta vía y aumento los niveles de congestión y contaminación, los cuales podrían ser compensados por un aumento de pasajeros y del comercio en la carrera séptima.

Referente a la percepción de la población sobre la influencia de Transmilenio en la carrera séptima se realizaron 200 encuestas de percepción dirigidas a la población residente, transeúnte y comerciante de la carrera séptima. Los lugares del estudio son: Museo Nacional, Calle 60 a 65 y Calle 78 a 85. En el caso de la percepción de la población sobre la influencia del Transmilenio en la variación del tráfico en la carrera séptima. Este autor encuentra que “tras aplicar la encuesta a la población que utiliza frecuentemente la carrera Séptima como eje de sus viajes diarios, el autor de este proyecto encontró que la mayor parte de la población percibe un aumento significativo en el nivel de tráfico que diariamente recorre la carrera séptima desde el año 2001. Según la población encuestada éste aumento se debe al Transmilenio. Luego de realizar la anterior encuesta de percepción a la población el autor de este proyecto encontró que, desde el año 2001 que es la fecha en que entra en operación la primera fase del Transmilenio, el tráfico automotor en la carrera séptima aumentó” (ver Fernández 2005, pag 15).

El autor explica por medio de las encuestas (sin recurrir a otras fuentes) explica que las mayores causas de aumento del tráfico en la carrera séptima se deben al aumento de los buses (de los que vienen de la Autopista y la Caracas) y un aumento de los automóviles (mejor situación económica). A pesar de estos resultados el 30% de la población que utiliza la Séptima considera que el tráfico se ha mantenido estable en esta carrera. Sobre la percepción de los efectos producidos por el aumento del tráfico en la carrera séptima las personas que habitan cerca de una Autopista sufren de diversos tipos de contaminación (Auditiva, Atmosférica y Visual) que afectan sus condiciones de salud.

---

<sup>3</sup> Esta metodología es tenida en cuenta en el segundo informe en donde se presenta la estrategia de Modelamiento a utilizar en el estudio.

El 50% de las emisiones son causadas por el parque automotor en general y el grupo que más aporta es los buses. “Es alarmante ver la proporción en las emisiones ya que en Bogotá existen un millón de vehículos particulares aproximadamente, los cuales transportan tan solo el 20% de los viajes generados en la ciudad. Mientras que el 64% de los mismos es servido por aproximadamente 20000 buses del servicio público colectivo. El 16% restante es servido por el Transmilenio y el transporte informal” (ver Secretaria de Tránsito y Transporte de Bogotá 2005 citado en Moreno 2005). Generalmente, los encuestados relacionan el aumento de la contaminación con el aumento de los buses. En cuanto a la percepción en la valoración del valor comercial del inmueble para residentes y comerciantes, como mínimo los encuestados consideran que el precio de sus predios no ha disminuido (estable) y los que consideran que ha tenido un aumento justifican que este se debió a la ubicación de sus predios y a la reactivación económica.

Por último, referente a la percepción en la variación de las ventas para los comerciantes, los comerciantes en general consideran que en general las ventas se han mantenido constantes y que su aumento ó disminución no se deben al aumento de buses y a la construcción de Transmilenio, pero consideran que la construcción de este sistema en la carrera Séptima traería una disminución en las ventas (como ocurrió según ellos en la Caracas).

Sobre la variación en la valorización de los predios a lo largo de la carrera Séptima el estudio muestra que en la valorización de la finca Raíz se percibe un aumento en el valor de los predios que se encuentran sobre la carrera Séptima a pesar del aumento de los buses. Este cambio de precio es explicado por el auge de la construcción entre 1992 y 1995 y su posterior recesión entre 1996 a 2001. En el 2001 se inicia la construcción de Transmilenio y se reactiva de nuevo la construcción y los precios de la finca raíz, situación que nos lleva a que la posible causa del aumento en los predios se debe la reactivación económica. “*Vemos entonces como el efecto perjudicial generado por TM en paralelo al aumento del nivel de buses en la carrera Séptima no deja medir el impacto real sobre la valorización en los predios que se encuentran cerca de la vía de estudio en algunos sectores alejados de la Troncal Caracas o Autopista Norte....*”. De esta manera podemos ver como las transacciones inmobiliarias han continuado en ascenso junto con el incremento de la actividad económica a nivel nacional y el sector de la construcción a pesar que el tráfico de buses en la carrera Séptima aumentó” (ver Fernández 2005, pag 59).

Jaramillo (1994) afirma que los determinantes del precio del suelo<sup>4</sup> urbano están ligados a la explotación capitalista que se tenga del mismo y la lucha por tener máximo excedente de su aprovechamiento. El cambio de uso de las tierras en los procesos urbanos, se divide en articulación primaria<sup>5</sup> y secundaria<sup>6</sup>; este último

<sup>4</sup> Se desprende de la existencia de una renta.

<sup>5</sup> La relación del suelo con el proceso productivo de la construcción.

<sup>6</sup> La relación del suelo con respecto a los procesos económicos a través del espacio construido en el momento de consumir. Las más importantes son la industria, el comercio y la vivienda.



enfoca todo lo que está relacionado con las actividades urbanas. Resaltando aquella que tiene que ver con el proceso de circulación de mercancías y particularmente con el comercio capitalista. La articulación secundaria es relevante en este estudio, porque el consumo de la plusvalía se concentra en este tipo de fenómeno. Como lo manifiesta Jaramillo (1994) *“la tierra urbana tiene entonces una articulación secundaria con respecto al proceso del consumo de la plusvalía”*. A partir de cambios estructurales, se puede entender la dinámica de los precios y uso del suelo urbano, entre estas se destaca la inversión en infraestructura por parte del estado que es indispensable en el desarrollo y dinámica urbana. El desequilibrio entre la oferta y demanda de tierras urbanas puede ser desatado por la ausencia o limitación de servicios como agua, energía eléctrica entre otras. La misma intervención del estado en proveer infraestructura, puede influenciar para que terrenos que no tenían antes una actividad factible puedan ser dedicados a nuevas actividades (zonas residenciales a comerciales)<sup>7</sup>. Algunos expertos inmobiliarios involucran aspectos de economía espacial, para explicar la dinámica de los precios del suelo. Interrelacionan el mercado de la propiedad raíz, con la dinámica de otros mercados como lo son: la localización, facilidad de movilidad, accesibilidad, dimensión entre otros. Jaramillo (1994) además resalta que el precio de los terrenos urbanos también puede ser explicado por la influencia de variables de tipos sociológicos y ambientales.

La economía espacial neoclásica, explica que los consumidores de tierras urbanas, con propósitos comerciales, de vivienda entre otros, aprecian de manera distinta los costos de transporte y la cantidad de espacio construido. Variables que influyen en el precio del suelo y son determinantes en la decisión de compra en el mercado. Sin embargo para comprender las rentas del suelo urbano y su funcionamiento es indispensable comprender los cambios de uso<sup>8</sup> de este mismo.

- Al tener en cuenta la revisión de todos los estudios podemos destacar las siguientes conclusiones más importantes:
- A nivel general se pueden diferenciar varios efectos de la construcción de un Sistema de Transporte Masivo, para el caso de Transmilenio:
- La construcción de estas estructuras tiene efectos positivos temporales por la generación de empleos directos e indirectos en la ciudad en la que se lleva a cabo el proyecto.
- Los usuarios del sistema de transporte se benefician al pagar una tarifa uniforme y que no depende de la distancia recorrida y los transbordos. El principal beneficio es el ahorro del tiempo de las distancias recorridas aunque falta mejorar los accesos al sistema.
- A parte de la disminución en la contaminación auditiva, visual y ambiental generados por los Sistemas de Transporte Masivo se le suma una pronunciada disminución en las tasas de criminalidad de las localidades aledañas al sistema (Avenida Caracas).

---

<sup>7</sup> Jaramillo (1994), *“la inversión del estado puede hacer variar cuantitativamente la magnitud de la renta, un ejemplo es considerar la construcción de una vía en una zona residencial popular eleva la renta diferencial de una vivienda debido a la mejora en accesibilidad”*.

<sup>8</sup> Está ligado a las economías de aglomeración.

- Los dueños de las propiedades cercanas a las estaciones se benefician de estas al aumentar el valor de sus predios debido a las mejoras en accesibilidad y movilidad que proporciona el sistema<sup>9</sup>. Por tal razón se debe implementar el sistema de captura de valor que busca capturar parte de estos beneficios para financiar las obras de construcción de Sistemas de Transporte Masivo que no se han realizado.
- Hay un efecto dañino sobre las propiedades que están sobre las vías de un Sistema de transporte Masivo debido a que se empeora la accesibilidad a estos lugares. Además se producen efectos en otros puntos de la ciudad como el aumento del tráfico (Carrera Séptima) sobre Autopistas que antes no tenían tanta afluencia vehicular (Debido a la reorganización de los buses de la Avenida Caracas y Autopista).
- Por último, se ha estudiado los efectos de un Sistema de Transporte Masivo sobre el precio de las viviendas residenciales, pero este efecto es incierto para el precio de los locales comerciales (debido a que no se han realizado estudios en este campo).

En la siguiente sección se presenta la estrategia de Modelamiento seguida en el estudio.

### **3. Descripción de la Zona de Estudio e Identificación de Impactos.**

El objetivo del estudio fue el de determinar el nivel de impacto ocasionado por la puesta en funcionamiento de las troncales de Transmilenio sobre el paisaje urbano, en términos de uso del suelo y sus posibles cambios, procesos de densificación y renovación y sobre el mercado inmobiliario (venta o arrendamiento).

Para esto la base de datos utilizada en el estudio cubrió las zonas de Bogotá en las cuáles tiene influencia Transmilenio a través de sus fases I y II. Las troncales incluidas en el estudio fueron:

- a) Troncal Américas - Estación Jiménez: desde el portal Américas hasta la estación Av Jiménez en el sector de San Victorino).
- b) Troncal Caracas Sur - Portal Usme: desde la estación Jiménez (sector San Victorino) hasta el portal de Usme.
- c) Troncal Caracas Sur – Portal Tunal: desde el portal Usme, hasta el Portal Tunal.
- d) Troncal NQS Sur-Estación Ricaurte: desde el portal del Sur, hasta estación Ricaurte (Avenida Cra 30 con calle 13).
- e) Troncal NQS Central hasta estación Calle 100: desde la estación Ricaurte (Avenida Quito Cra 30 con Calle 13), hasta estación Calle 100 (Avenida Autonorte Cra 45 con Calle 100).

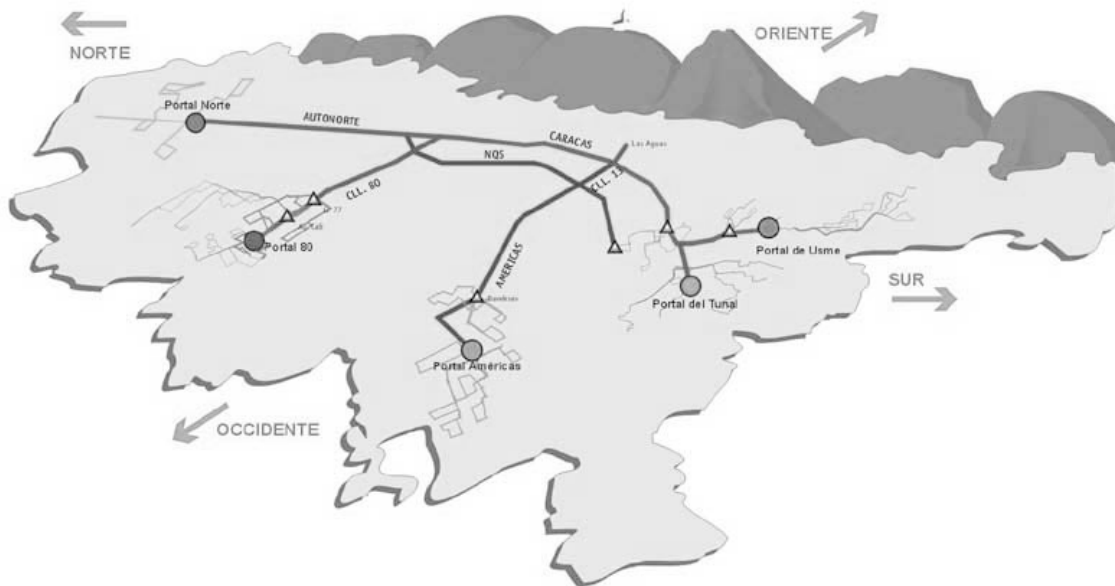
---

<sup>9</sup> Esto se contradice con lo expuesto por Mendoza (2005).

- f) Troncal Autonorte: desde estación Héroes (Avenida Autonorte Cra 13 con calle 80), hasta portal del norte (Avenida Autonorte con calle 170).
- g) Troncal Caracas: desde estación Héroes (Avenida Autonorte Cra 13 con calle 80), hasta estación Tercer Milenio (Avenida Caracas Cra 13 con calle 6).
- h) Troncal calle 80: desde estación Héroes (Avenida Autonorte Cra 13 con calle 80), hasta Portal calle 80.
- i) Troncal Suba: desde Portal Suba, hasta Calle 80.

Estas zonas se presentan en el mapa 1:

Mapa 1 Troncales sistema Transmilenio.



Fuente: Transmilenio.

Al observar la zona de estudio que incluye los corredores principales y las rutas de los alimentadores de las fases I y II de Transmilenio se pueden identificar los siguientes impactos indirectos “externalidades” clasificadas en externalidades positivas y negativas. Las externalidades directas e indirectas generadas por el proyecto de Transmilenio han contribuido de diferentes maneras a la dinámica económica, formación de precios y cambios en el uso del suelo en Bogotá. Si bien a nivel de unidades de planeamiento zonal aún no se cuenta con información que considere estos impactos y que pueda servir como evidencia para refinar el diseño y toma de decisión de políticas de uso del suelo urbano. Si tenemos en cuenta que lo esperado en un proyecto de transporte urbano como Transmilenio es que se generen beneficios sociales, estos beneficios se pueden manifestar de diferentes

formas y variar en magnitud para cada hogar impactado por el proyecto. Incluso pueden aparecer perdedores con este proyecto. La diversidad de impactos claramente brinda una señal que advertiría a los tomadores de decisiones sobre la no conveniencia de aplicar políticas bajo un único nivel, como por ejemplo, en el caso de aplicar un único porcentaje de impuesto por revalorización.

El impacto de aplicar una política como la anterior no tendría en consideración criterios de asignación eficiente, ya que algunas personas impactadas por el proyecto tendrían sobrecostos que no son justificables desde el punto de vista de la eficiencia económica. Por lo tanto, para entender la relación entre los impactos directos e indirectos y el diseño de políticas públicas sobre uso del suelo e instrumentos de captura de valor sería importante considerar información que cuantifique los impactos de las externalidades, que ayude a entender su influencia sobre la formación de valores y la dinámica económica urbana en Bogotá. Las principales externalidades directas positivas del sistema Transmilenio en Bogotá son:

- Disminución en tiempo de viaje en el sistema articulado a los individuos que cuentan con la facilidad de acceder a Transmilenio.
- Mejor integración entre las zonas de la periferia del norte y el sur de la ciudad, acogidas por el sistema, con los mercados urbanistas.
- Mejor calidad de vida por una mejora ambiental en el sistema.
- Mejoramiento del paisaje y arquitectura urbanística.

Las principales externalidades indirectas positivas del sistema Transmilenio en Bogotá son:

- Disminución de la criminalidad y homicidios a lo largo del sistema y en zonas con relativa cercanía al mismo.
- Disminución del número de accidentes de tránsito general de la ciudad.
- Mayor cultura y conciencia ciudadana para el uso de transporte público.
- Mejores ganancias y oportunidades de negocio en los establecimientos comerciales, residenciales y lotes vacíos con relativa cercanía a los corredores, estaciones y rutas alimentadoras de Transmilenio.
- Construcción de establecimientos comerciales masivos en gran parte de los portales de Transmilenio y estaciones con alta demanda del servicio.

Las principales externalidades directas negativas del sistema Transmilenio en Bogotá son:

- Deterioro de vías en los corredores de buses alimentadores del sistema.
- Generación de transportes colectivos informales para acceder al sistema en zonas donde no cuentan con rutas alimentadoras.
- Rompimiento de la dinámica urbana y económica en zonas que desaparecieron totalmente o parcialmente al implementar el proyecto Transmilenio.

- Expansión de la oferta de rutas de transporte colectivo convencional de vehículos que salieron de los corredores por donde pasa actualmente Transmilenio, en vías principales que no cubre el sistema.
- Mayor contaminación, congestión, accidentalidad e inseguridad por la expansión de la oferta de rutas en las zonas afectadas por el fenómeno.

Las principales externalidades indirectas negativas del sistema Transmilenio en Bogotá son:

- La pérdida de estabilidad sísmica en algunos predios muy cercanos a los corredores de Transmilenio (CRA 30 entre calles 53 y 63 costado occidental).
- El decaimiento comercial por la inflexibilidad del sistema a lo largo de los corredores.

En la siguiente sección se presenta la teoría del modelo hedónico espacial.

#### **4. El Modelo Hedónico Espacial**

Como se mencionó en la introducción de este documento, para alcanzar el objetivo principal del estudio y cuantificar la evidencia de los modelos de *Precios Hedónicos* que son los más pertinentes en la investigación, se requiere la aplicación de herramientas de tipo paramétricas<sup>10</sup> que involucren análisis de tipo funcional, multivariado, espacial y modelo probabilístico. Por otra parte el empleo de métodos no paramétricos que sirvan para entender el impacto (positivo o negativo) del proyecto Transmilenio en la dinámica económica de las zonas y valor de los predio aledaños al sistema. Entre las técnicas paramétricas se destacan:

La estimación de modelos tipo Box - Cox, para determinar la forma funcional a la que se ajusta la información a trabajar bajo el enfoque Hedónico. Cuyo objetivo es estimar la Disponibilidad a Pagar marginal, DAPM, por el precio implícito del predio dado el atributo accesibilidad al Sistema Masivo Transmilenio. Este tipo de modelos son los más convenientes para capturar valorización de un predio o suelo dado una serie de atributos de los mismos, resaltando en particular la influencia de la infraestructura de Transmilenio en el cambio de uso de la tierra o precios de establecimientos comerciales, residenciales y espacios no construidos (lotes).

##### **4.1. Las Transformaciones Box-Cox**

Con frecuencia se suele estimar la relación entre la variables dependiente e independientes, especificando formas funcionales conocidas de fácil estimación y manipulación algebraica (ver tabla 1). Utilizando criterios estadísticos se selecciona la función con pruebas de bondad de ajuste  $(\bar{R}^2)$ <sup>11</sup>, criterios Akaike y Schwarz, significancia parcial y global. Estas formas funcionales pre-establecidas,

<sup>10</sup> Además de las estadísticas descriptivas convencionales y análisis de correlación previos para evaluar la consistencia de los datos a trabajar en los modelos.

<sup>11</sup> Coeficiente de determinación ajustado. Ver Greene (2000), pag 220.

estimadas y seleccionadas pueden ser utilizadas en la estimación de los modelos hedónicos, sin embargo una forma funcional escogida dados los anteriores criterios puede conllevar a inconsistencias en los signos de los parámetros estimados, pruebas de relevancia del modelo y por ende a errores de cálculo en la Disponibilidad a Pagar Marginal.

Estos errores son consecuencia de ignorar la inestabilidad en la varianza (heteroscedasticidad) de las variables seleccionadas en los modelos predeterminados y desconocer su distribución. Razones que justifican la aplicación del método de transformación de Box Cox, el cual fue diseñado para encontrar la verdadera forma funcional conocida (ver tabla 1) o desconocida a la que se ajustan los datos de la muestra. Es importante tener en cuenta este tipo de transformaciones<sup>12</sup> en este estudio para no cometer errores de sesgo especificación que conlleve a conclusiones erróneas (error tipo I o II) y a sobre estimar o subestimar la DAPM por contar con la facilidad de acceder al sistema Transmilenio en Bogotá y otros atributos del predio.

En la tabla 1, para cada forma funcional expuesta la variable dependiente está representada por  $y$ ; para el presente estudio hace referencia al valor de la propiedad. Y las variables independientes  $x_1, x_2$  hasta  $x_k$ , representa cada uno de los atributos más relevantes de los predios, incluyendo la distancia al sistema de transporte masivo para la ciudad y las externalidades del mismo.

Los coeficientes  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$  son las constantes del modelo, de acuerdo al signo de cada uno representa la relación directa o inversa de los atributos con el valor de la propiedad. Adicionalmente, estos parámetros se interpretan de diferentes maneras de acuerdo a cada forma funcional, pero más que su interpretación su importancia radica en obtener el efecto marginal o elasticidad de cada función, para obtener el cambio marginal o porcentual en el valor del predio por contar con una distancia cercana al sistema Transmilenio.

Siguiendo el mismo esquema de contar con una variable dependiente y con varias variables independientes en las funciones de la tabla 1, la ecuación (1) representa la función de transformación tipo Box Cox a estimar en la presente investigación. Con la cual se pretende establecer la forma funcional a la que se ajusta la información empleada, para capturar el valor monetario de los predios por la influencia de Transmilenio.

$$y^\theta = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_k x_k^\lambda + e \quad (1)$$

---

<sup>12</sup> Para realizar transformaciones Box Cox es importante tener en cuenta que los valores de las variables del estudio sea de tipo continua y estrictamente mayor a cero. Tanto para el escenario con información completa e incompleta.

Donde  $y^\theta = \frac{y^\theta - 1}{\theta}$ ,  $x_k^\lambda = \frac{x_k^\lambda - 1}{\lambda}$ ,  $\theta$  y  $\lambda$  son los parámetros<sup>13</sup> de transformación, la forma funcional del modelo tipo Box Cox es no lineal por ende los parámetros de transformación  $\theta$  y  $\lambda$  no pueden ser obtenidos mediante estimaciones de Mínimos Cuadrados Ordinarios al igual que los coeficientes  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ .

Tabla 1: Formas Funcionales para la Función Hedónica

| Forma Funcional Conocida | Ecuación  | $Mg = \frac{\partial y}{\partial x}$<br>Efecto marginal DAPM                         | $e = \frac{\partial y}{\partial x} \frac{x}{y}$<br>Elasticidad                               |
|--------------------------|---|--|--|
| Lineal                   | $y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k$   | $\beta$  | $\beta \frac{x}{y}$  |
| Logarítmica              | $Ln y = Ln \beta_0 + \beta_1 Ln x_1 + \beta_2 Ln x_2 + \dots + \beta_k Ln x_k$                                      | $\beta \frac{y}{x}$  | $\beta$  |
| Lineal-Logarítmica       | $y = Ln \beta_0 + \beta_1 Ln x_1 + \beta_2 Ln x_2 + \dots + \beta_k Ln x_k$   | $\frac{\beta}{x}$  | $\frac{\beta}{y}$  |
| Logarítmica-Lineal       | $Ln y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k$  | $\beta y$  | $\beta x$  |
| recíproco en X           | $y = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{x_1} + \beta_2 \frac{1}{x_2} + \dots + \beta_k \frac{1}{x_k}$                       | $-\beta \frac{1}{x^2}$   | $-\beta \frac{1}{xy}$  |
| recíproco en y           | $\frac{1}{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k$   | $-\beta \frac{1}{(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k)^2}$     | $-\beta \frac{1}{(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k)^2} \frac{x}{y}$ |
| recíproco doble          | $\frac{1}{y} = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{x_1} + \beta_2 \frac{1}{x_2} + \dots + \beta_k \frac{1}{x_k}$             | $-\beta \frac{1}{(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k)^2 x^2}$ | $-\beta \frac{1}{(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k)^2 xy}$          |
| Cuadrática               | $y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_1^2 + \beta_3 x_2 + \beta_4 x_2^2 + \dots + \beta_k x_k + \beta_{k+1} x_k^2$ | $\beta_i + 2 * \beta_{i+1} x_i$  | $(\beta_i + 2 * \beta_{i+1} x_i) \frac{x_i}{y}$  |
| Raíz cuadrada en X       | $y = \beta_0 + \beta_1 \sqrt{x_1} + \beta_2 \sqrt{x_2} + \dots + \beta_k \sqrt{x_k}$                                | $\frac{\beta}{2 \sqrt{x_i}}$   | $\frac{\beta \sqrt{x}}{2 y}$   |
| Raíz cuadrada en Y       | $\sqrt{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k$  | $-2\beta(\beta_1 + \beta_2 x_1 + \beta_3 x_2 + \dots + \beta_k x_k)$                 | $-2\beta(\beta_1 + \beta_2 x_1 + \beta_3 x_2 + \dots + \beta_k x_k) \frac{x}{y}$             |
| Box-Cox                  | $y^\theta = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i^\lambda + e$   | $\beta \frac{x^{\lambda-1}}{y^{\theta-1}}$   | $\beta \frac{x^\lambda}{y^\theta}$   |

Fuente: Los Autores

El resultado de estos debe ser originado bajo estimaciones de Máxima Verosimilitud, función representada en la ecuación (2).

$$Ln f(\sigma^2, \theta, \lambda, \beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_K) = -\frac{T}{2} Ln(2\pi) - \frac{T}{2} Ln(\sigma^2) + (\lambda-1) \sum_{i=1}^T Ln y_i - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^T \left( y_i^\theta - \beta_0 - \sum_{i=1}^k \beta_i x_i^\lambda \right)^2 \quad (2)$$

En la ecuación (2),  $Ln f$ , es el logaritmo de la función de verosimilitud<sup>14</sup>,  $T$ , representa el tamaño de la muestra,  $\sigma^2$ , la varianza del modelo y  $\pi$ , la constante que hace alusión al número phi. Algunas de las formas funcionales expuestas en la tabla uno, se encuentran anidadas en la función tipo Box-Cox como lo son la lineal, logarítmica, lineal-logarítmica, logarítmica-lineal, recíproco en  $y$ , recíproco en  $X$ , y recíproco doble. Estas formas dependen de los valores que tomen los

<sup>13</sup> Que toman valores entre 1 y -1,  $-1 \leq \theta \leq 1$  y  $-1 \leq \lambda \leq 1$ .

<sup>14</sup> Ver Greene (2000), p. 420.

parámetros de transformación  $\theta$  y  $\lambda$  (ver tabla 2), para seleccionar la forma funcional anidada adecuada en la función Box-Cox se debe realizar la prueba de Razón de Verosimilitud<sup>15</sup>, RV, ecuación (3).

$$RV = -2(Lnf_r - Lnf_{nr}) \sim \chi_q^2 \quad (3)$$

En la ecuación (3),  $Lnf_r$ , significa el logaritmo de la función de verosimilitud restringida a los valores de los parámetros  $\theta$  y  $\lambda$  de la tabla 2; y  $Lnf_{nr}$  la anterior función no restringida. RV, sigue una distribución chi-cuadrado,  $\chi_q^2$ , con  $q$  grados de libertad que hace referencia al número de restricciones impuestas al modelo Box-Cox.

Tabla 2: Formas Funcionales anidadas en la Función Hedónica Box-Cox

| Nombre de la Función      | Condición de $\theta$ y $\lambda$ | Método de estimación         |
|---------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| Lineal                    | $\theta = \lambda = 1$            | Mínimos Cuadrados Ordinarios |
| Logarítmica               | $\theta = \lambda = 0$            | Mínimos Cuadrados Ordinarios |
| Lineal-Logarítmica        | $\theta = 1; \lambda = 0$         | Mínimos Cuadrados Ordinarios |
| Logarítmica-Lineal        | $\theta = 0; \lambda = 1$         | Mínimos Cuadrados Ordinarios |
| Recíproco en X            | $\theta = 1; \lambda = -1$        | Mínimos Cuadrados Ordinarios |
| Recíproco en y            | $\theta = -1; \lambda = 1$        | Mínimos Cuadrados Ordinarios |
| Recíproco doble           | $\theta = -1; \lambda = -1$       | Mínimos Cuadrados Ordinarios |
| Box-Cox no restringida I  | $\theta = \lambda \neq 0$         | Máxima Verosimilitud         |
| Box-Cox no restringida II | $\theta \neq \lambda \neq 0$      | Máxima Verosimilitud         |

Fuente: Los Autores

Una vez seleccionada la forma funcional a la que mejor se ajustan los datos del estudio a través de la prueba de Razón de Verosimilitud, se estima la Disponibilidad Marginal a Pagar de acuerdo con la tabla uno. Sin embargo, modelar funciones Box Cox puede conllevar a la estabilidad de la varianza en el modelo, pero no a la posible autocorrelación espacial del mismo; que de la misma forma puede conllevar a sobre valorar o subvalorar la DAPM.

Según Haab y McConnell (2002) dada la característica de complementariedad débil en los Modelos de Precios Hedónicos, unos de los aspectos más difíciles de tratar dentro de las transformaciones Box-Cox es el problema de autocorrelación espacial, dado que es una característica propia del modelo. Este tema es desarrollado a continuación en el contexto de Análisis Multivariado Espacial y Econometría Espacial.

<sup>15</sup> Ver Greene (2000), p. 422.



## 4.2. *La Econometría Espacial*

Es un tema que aborda los problemas de dependencia<sup>16</sup> y heterogeneidad espacial<sup>17</sup>, realiza aproximaciones complementarias y se concentra en los modelos de localización relativa. En este campo Paelinck y Klaasen (1979) en su libro *Spatial Econometrics*, resaltan cinco aspectos fundamentales relacionados con los datos espaciales:

- 1- El papel de la interdependencia espacial en los modelos espaciales.
- 2- La asimetría en las relaciones espaciales.
- 3- La importancia de factores explicativos localizados en otros lugares.
- 4- Diferenciación entre interacciones ex-ante y ex-post.
- 5- Modelamiento explícito del espacio.

Abreu et al. (2004) consideran que la *Econometría Espacial*, trata con mayor cuidado las razones que fundamentan la autocorrelación espacial y las consideraciones e implicaciones políticas y teóricas de sus resultados. Estas razones, pueden invalidar el uso de la econometría convencional, por consiguiente el tratamiento de la modelación espacial, requiere de un conjunto de métodos y técnicas diferentes a las utilizadas en las estimaciones tradicionales.

La modelación de este tipo de información, no es conveniente realizarla por Mínimos Cuadrados Ordinarios. Aplicar esta metodología convencional con datos georeferenciales, llevará a estimadores ineficientes; por la violación de los supuestos de homocedasticidad, sesgo de especificación<sup>18</sup> y ausencia de autocorrelación en los residuales. Cometiendo el error tipo I o II en las decisiones tomadas en las pruebas de hipótesis tradicionales sobre los coeficientes. Implicando que los resultados obtenidos para cuantificar efectos marginales, elasticidades, disponibilidades a pagar, estimación de curvas de ofertas y demandas entre otros, estén sesgados al igual que políticas adoptadas a partir de los resultados erróneos.

La dependencia espacial, es uno de los aspectos más importantes de resaltar en este tipo de modelos, porque el problema no es tan fácil de solucionar en los datos de corte transversal como en los de longitudinal. En el espacio, hay que dar un tratamiento especial, dado que la influencia se da por sus vecinos y no por la fricción (de atrás hacia delante, series de tiempo). La vecindad, puede influir en el sentido de los cuatro puntos cardinales, que es más conocido como el desplazamiento de la torre o por sus vecinos y vértices, que se asemeja al movimiento de la reina en el juego de ajedrez. Esta dependencia multidireccional, puede representarse mediante la siguiente función:

$$y_i = f(y_1, y_2, y_3, \dots, y_n) \quad (4)$$

---

<sup>16</sup> Hace referencia a la autocorrelación espacial.

<sup>17</sup> Hace referencia a la estructura espacial, Heteroscedasticidad.

<sup>18</sup> Una forma funcional inadecuada del modelo.

La solución al problema multidireccionalidad, está definido por la denominada matriz  $W$  de pesos espaciales, de retardos o contactos:

$$W = \begin{bmatrix} 0 & W_{12} & \cdot & W_{1n} \\ W_{21} & 0 & \cdot & W_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ W_{n1} & W_{n2} & \cdot & 0 \end{bmatrix}$$

Es una matriz cuadrada, no estocástica cuyos elementos  $W_{ij}$  reflejan la intensidad de la interdependencia existente para cada par de zonas  $i$  y  $j$ . La construcción de esta matriz no tiene una definición unánimemente aceptada, destacando el cumplimiento de pesos no negativos y finitos (Anselin, 1980). Sin embargo, la forma más habitual recurre al concepto de contigüidad utilizado por primera vez por Moran (1948) y Geary (1954), donde  $W_{ij}$  es igual a uno si las zonas  $i$  y  $j$  son físicamente adyacentes o a cero en caso contrario, asumiendo por definición que  $W_{ii}=0$ . Otros autores consideran la definición de la matriz  $W$  a partir del concepto de proximidad física, basados en la distancia entre regiones. De manera que la intensidad de interdependencia espacial entre dos puntos, disminuye conforme aumenta la distancia que separa sus respectivos centros<sup>19</sup>.

Otra forma de construir la matriz  $W$ , es basada en el concepto de distancia económica entre regiones<sup>20</sup>; donde las ponderaciones consideran la intensidad comercial entre los sectores estudiados. Es importante resaltar que en cualquier proceso de contraste y estimación de  $W$ , la matriz debe considerarse exógena, salvo que en la especificación del modelo se considere explícitamente la endogeneidad.

En el proceso anterior, la dependencia espacial se asociaba a un proceso autorregresivo en series de tiempo como se expresaba en la ecuación (4), en pocas palabras a nivel univariante. Sin embargo, es posible que el efecto del espacio, sea consecuencia de la existencia de variables sistemáticas (endógena y exógena), correlacionadas espacialmente consecuencia de la autocorrelación espacial del término del residual. Este tipo de fenómeno, están representados en el denominado *modelo mixto autorregresivo* o *modelo de retardo espacial* ecuación (5).

$$y_i = \rho W y_i + \mathbf{X} \boldsymbol{\beta} + e_i \text{ donde } e_i \sim N(0, \sigma^2 I) \quad (5)$$

Donde  $y$  es un vector ( $T \times 1$ ), siendo  $T$  el número de observaciones,  $W$  y el retardo espacial de la variable dependiente,  $\mathbf{X}$  una matriz de  $K$  variables independientes,  $\boldsymbol{\beta}$  el vector de coeficientes que acompaña a cada variable independiente,  $e$  el

<sup>19</sup> En este aspecto se recurre a la matriz inversa de distancia sugerida por Anselin (1980).

<sup>20</sup> Donde los pesos de  $W$  recogen el grado de relación entre regiones analizadas. Es una matriz de correlaciones espaciales.

termino ruido blanco y  $\rho$  el parámetro autorregresivo que recoge la intensidad de las independencias entre las observaciones muestrales de la variable endógena. De igual manera, es posible incluir solo retardos espaciales para las variables exógenas, más conocido como *modelo mixto regresivo espacial cruzado-regresivo* ecuación (6):

$$y_i = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + W_1 R \beta_{k+1} + e_i \text{ donde } e_i \sim N(0, \sigma^2 I) \quad (6)$$

Donde las variables incluidas  $R$  pueden coincidir o no con la exógenas  $\mathbf{X}$ .

El tratamiento de la autocorrelación espacial en los residuales, lo contiene el *modelo de regresión lineal con perturbaciones espaciales autorregresivas* o *modelo del error espacial* ecuación (7).

$$y_i = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \varepsilon_i, \text{ dado que } \varepsilon_i = \lambda W \varepsilon_i + e_i \text{ y } e_i \sim N(0, \sigma^2 I) \quad (7)$$

Donde  $e_i$  es el término ruido blanco y  $\lambda$  el parámetro autorregresivo que refleja la intensidad de las interdependencias en el término del error. Una combinación de los modelos (6) y (7) abre lugar al *modelo mixto regresivo espacial con perturbaciones autorregresivas y heteroscedastica*<sup>21</sup> ecuación (8).

$$y_i = \rho W_1 y_i + \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + W_2 R \beta_{k+1} + \varepsilon_i \quad (8)$$

Donde:

$$\varepsilon_i = \lambda W \varepsilon_i + e_i, \quad e_i \sim N(0, \Omega) \text{ y } \Omega_{ii} = h_i(Z\alpha) \text{ para } h_i > 0$$

En términos de notación,  $y_i$  es la variable endógena (un vector (Tx1)),  $\mathbf{X}$  las variables exógena (matriz (TxK<sub>1</sub>), K<sub>1</sub>, la cantidad de variables explicativas involucradas),  $R$  las variables exógenas retardadas espacialmente (matriz (TxK<sub>2</sub>), K<sub>2</sub>, la cantidad de variables explicativas involucradas rezagadas),  $\varepsilon$  incorpora la dependencia con estructura espacial autorregresiva (especificada mediante un esquema de Markov de orden uno) y  $e$  distribuido normalmente con una matriz heteroscedastica  $\Omega$ . Utilizando el símil de los modelos ARMA, la fundamentación expuesta hace referencia a los Procesos Autorregresivos Espaciales, SAR<sup>22</sup>, estructura que es más utilizada a nivel teórico y empírico. Pero es posible modelar el término de error a través de procesos de Medias Móviles Espaciales, SMA<sup>23</sup>

$$y_i = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \varepsilon_i, \quad \varepsilon_i = \theta W_2 u + u \text{ donde } u \sim N(0, \sigma^2 \mathbf{I}) \quad (9)$$

Donde,  $\theta$  es el parámetro de SMA y  $u$  es la variable de perturbaciones autocorrelacionadas. La mezcla de las estructuras SAR y SMA conlleva a un

<sup>21</sup> Anselin (1980).

<sup>22</sup> Es diferente a Procesos Autorregresivos Estacionales, SAR, en series de tiempo.

<sup>23</sup> Representa las externalidades que no son fácilmente observables y cuantificables.

modelo combinado Autorregresivo de Media Móvil Espacial SARMA, ecuación (10):

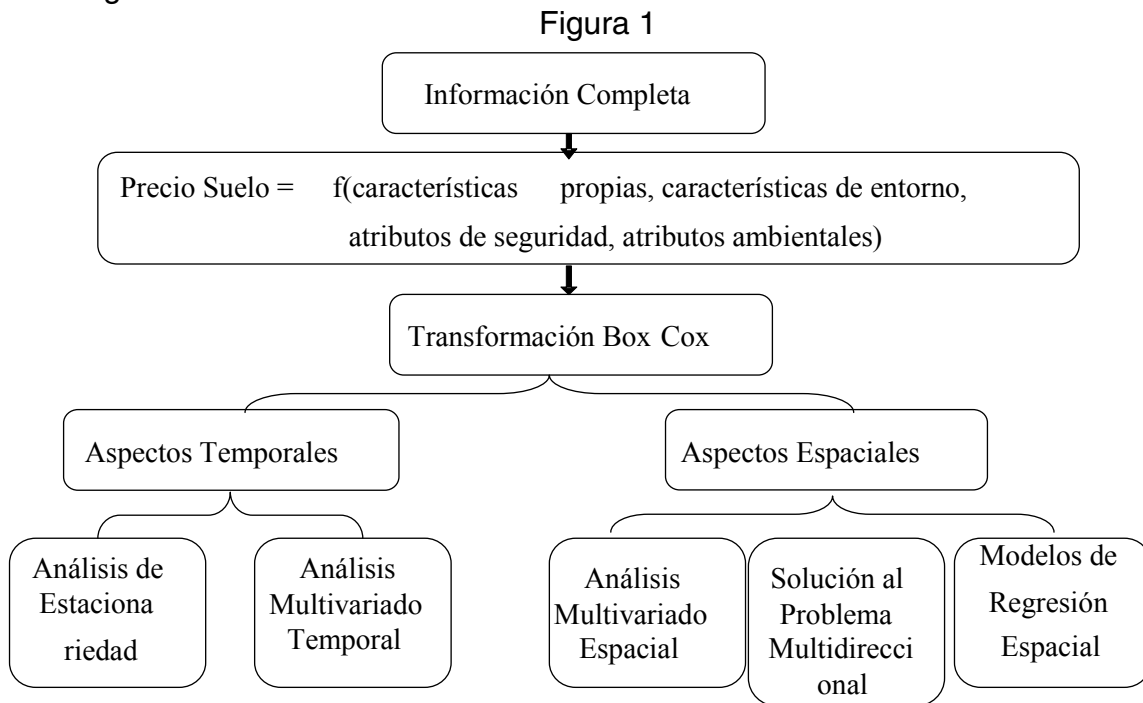
$$y_i = \rho W_1 y + \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \varepsilon_i, \varepsilon_i = \theta W_2 u + u \text{ donde } u \sim N(0, \sigma^2 \mathbf{I}) \quad (10)$$

La modelación espacial es una aproximación muy importante en distintas ramas y puede ser determinante en políticas de impuestos o tarifas, provisión de bienes públicos, averiguar las externalidades asociadas al desempleo y pobreza en las ciudades entre otras alternativas de índole económica, social y geográfica.

Es indispensable el manejo de Geoda en esta parte de la investigación, para detectar la autocorrelación espacial a nivel local y global mediante las pruebas de Moran<sup>24</sup> y Lisa<sup>25</sup>, realizar gráficas de dispersión espacial y construir la matriz de ponderadores, para realizar las regresiones espaciales del caso por el método de Máxima Verosimilitud. En la siguiente sección se presenta la estrategia de Modelamiento seguida en el estudio.

## 5. Estrategia de Modelación

De acuerdo con la información disponible para el estudio se pueden tener los escenarios de modelación bajo información completa e información incompleta. La estrategia de modelación bajo el escenario de información completa se describe en la figura 1:

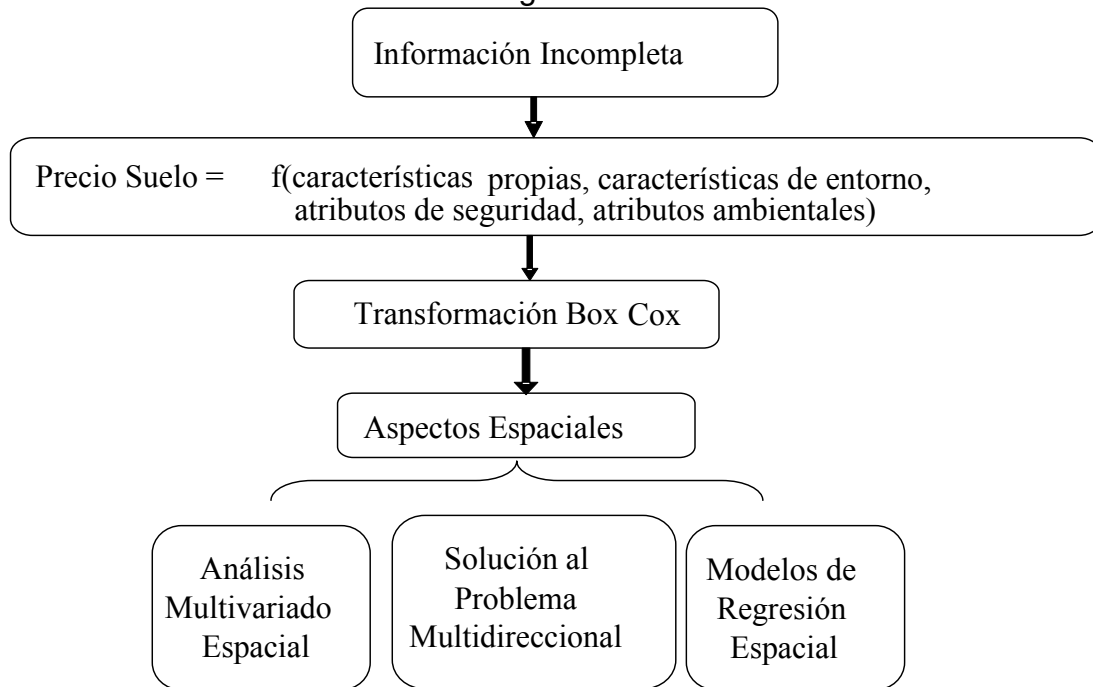


La estrategia de modelación bajo el escenario de información incompleta se describe en la figura 2:

<sup>24</sup> Estadístico Global de dependencia espacial.

<sup>25</sup> Estadístico Local de dependencia espacial.

Figura 2



Estos escenarios describen el procedimiento para el tratamiento de la información. En el primero se tienen en cuenta los aspectos espaciales y temporales de los datos y en el segundo solo el componente espacial. En el segundo únicamente el componente espacial. Luego, en ambos casos se tiene en cuenta el espacio como la principal fuente de análisis, esto se debe a la naturaleza de la misma información que cuenta con aspectos georeferenciales estratégicos para ubicar los predios con cercanía inmediata, media y distante del sistema de Transmilenio en la ciudad.

Los anteriores esquemas representan la antesala al procedimiento econométrico que se debe seguir para lograr el objetivo principal de la investigación de acuerdo con la información disponible del estudio. En vista de las limitaciones de información enfrentadas por el estudio solo se consideran observaciones de corte transversal. A partir de la estimación de la forma funcional para la ecuación hedónica, el siguiente paso es realizar un análisis multivariado espacial que permita conocer la relación espacial entre los inmuebles en las diferentes zonas con la información disponible. Una vez detectada la relación espacial se procede a estimar los modelos hedónicos espaciales. El modelo contiene la matriz de pesos espaciales  $W$  y su coeficiente asociado  $\rho$  ( $\rho$ ).

Una vez desarrollada esta etapa dentro del trabajo de modelación econométrico se procederá a la interpretación los coeficientes estimados que representan el precio implícito asociado con su respectiva variable (características y/o atributo). Estos precios implícitos, dependiendo del signo, se interpretarán en términos de una disponibilidad a pagar (si las características o atributos impactan positivamente el precio del inmueble) o en términos de disponibilidad a aceptar (si las características o atributos impactan negativamente el precio del inmueble).

En el caso específico de la accesibilidad a Transmilenio, el coeficiente asociado con esta variable se interpretará como una disponibilidad a pagar por que el inmueble se encuentre más próximo al sistema, y se hablará de disponibilidad a aceptar en el caso contrario (lejanía). En la siguiente sección se presenta la especificación del modelo hedónico espacial empírico.

## 6. Especificación del Modelo Empírico

Los modelos hedónicos especificados toman en cuenta las observaciones compuestas por propiedades ubicadas alrededor de los carriles principales de Transmilenio y para los alimentadores. En la siguiente tabla se presentan las zonas que serán tenidas en cuenta para la estimación de los modelos de precios hedónicos:

Tabla 3: Definición de las Zonas para la Elección de Observaciones para los Modelos Hedónicos.

| Zona  | Distancia                                    |
|---|--|
| 1 – contacto directo                                | Hasta 200 metros a lado y lado del corredor  |
| 2 – hasta máxima distancia permisible <sup>26</sup> | Hasta 500 metros a lado y lado del corredor  |
| 3 – una distancia mayor a la permisible             | Hasta 1000 metros a lado y lado del corredor |

Fuente: Los Autores.

Estas zonas originadas, teniendo en cuenta la distancia desde la propiedad hasta la estación más cercana de Transmilenio, buscan averiguar en términos promedios la influencia de la distancia sobre el precio de la propiedad. Para cada una de estas zonas se estimaron modelos hedónicos espaciales para propiedades residenciales, comerciales y mixtas<sup>27</sup>. Esta última para tener en cuenta propiedades que pueden tener más de un tipo de uso, como por ejemplo, residencial y local comercial o residencial y oficinas. Toda la información relacionada con las características convencionales del inmueble y las características de entorno, sin incluir las ambientales y las de seguridad, salieron de la base de datos del Departamento Administrativo de Planeación Distrital. La información de calidad del aire proviene de los monitoreos realizados por el IDEAM y la base sobre seguridad de la Policía Metropolitana. Regresando al tema de las observaciones para el modelo Hedónico, el cálculo del tamaño muestral debe tomar en cuenta en total de predios para las zonas definidas y por tipo de inmueble. En la siguiente tabla se presenta la distribución de la población sujeto de estudio teniendo en cuenta las diferentes fases de Transmilenio y las zonas de influencia definidas en el estudio:

<sup>26</sup> Esta es la distancia máxima permisible, según documento CONPES 3185 (2002), que los usuarios de Transmilenio se encuentran dispuestos a desplazarse caminando hasta la estación más cercana.

<sup>27</sup> Esta información será desagregada a este nivel una vez se tenga la base de datos final totalmente organizada.

Tabla 4: Tamaño de la Población de Predios por Fases de Transmilenio y por Zonas de Influencia.

| Fases | Zona 1   |            | Zona 2   |            | Zona 3    |            |
|-------|----------|------------|----------|------------|-----------|------------|
|       | Cantidad | Porcentaje | Cantidad | Porcentaje | Cantidad  | Porcentaje |
| 1     | 120.104  | 32,12 %    | 266.119  | 33,41 %    | 490.043   | 33,21 %    |
| 2     | 74.687   | 19,96 %    | 179.371  | 22,52 %    | 387.670   | 26,27 %    |
| 3     | 179.228  | 47,92 %    | 351.160  | 44,07 %    | 597.943   | 40,52 %    |
| Total | 374.019  | 100 %      | 796.650  | 100 %      | 1.475.656 | 100 %      |

Fuente: Cálculo de los Autores a partir de Información suministrada por DAPD.

A partir de este universo de predios se calculó el tamaño de la muestra para cada una de las zonas siguiente el enfoque de muestreo propuesto por Hernández et. al. (1998):

$$n = \frac{\frac{z^2}{\epsilon^2} PQ}{1 + \frac{z^2 PQ}{\epsilon^2 N}}$$

Donde, n es el tamaño de la muestra total, N es el tamaño total de la población, ambos para cada zona y por fases, z es el percentil de la distribución de probabilidades normal asociado con el nivel de confianza,  $\epsilon$  es el error máximo admisible en la estimación de la proporción (en nuestro caso del 2.5%), P es la proporción de hogares con las características del estudio que se realiza, en cada estrato y Q= (1 – P).

Aplicando la fórmula anterior y considerando los diferentes tamaños de N (totales por zona) encontramos que el tamaño muestral converge a 383 por zona. Luego, para las tres zonas el total de observaciones sería de 1.149.

Una vez calculado el tamaño de la muestra, con estas observaciones se construyó la base de datos para estimar los modelos Hedónicos utilizando el procedimiento de búsqueda de rejilla bajo transformaciones Box Cox para encontrar el valor óptimo del parámetro lambda que ayuda a obtener una forma funcional no restringida. La especificación general del modelo de precios hedónicos tiene la siguiente estructura:

$$\text{Precio del Suelo} = f(\text{características propias del inmueble, características del entorno, atributos de seguridad, atributos ambientales, variables de accesibilidad al sistema de transporte masivo transmilenio})$$

Las variables que harán parte de éste modelo Hedónico, se encuentran agrupadas en cinco grupos: (1) características convencionales del inmueble, (2) atributos estructurales de entorno, (3) variables de seguridad del vecindario, (4) atributos de calidad ambiental del vecindario en que se encuentra ubicado el inmueble, (5) variables de accesibilidad al sistema de transporte masivo Transmilenio. Las

variables representadas en términos de distancias fueron calculadas utilizando un software de sistema de información geográfica. En la siguiente tabla se especifica el nombre de cada una de estas variables.

Tabla 5: Variables Dependiente e Independientes del Modelo Hedónico.

|   |   |
|---|---|
| PRECIO                                      | Variable dependiente que representa el precio del inmueble en pesos Colombianos de 2005   |
| Características Convencionales del Inmueble |   |
| AREA  | Variable independiente que representa el área activa construida del inmueble en metros cuadrados  |
| NCUARTOS                                    | Variable independiente que representa el número de cuartos del inmueble   |
| NBAÑOS                                      | Variable independiente que representa el número de baños completos del inmueble   |
| NGARAJES                                    | Variable independiente que representa el número de garajes del inmueble   |
| ANTIGUE                                     | Variable independiente que representa la edad en años de construido el inmueble   |
| Atributos Estructurales de Entorno          |   |
| DBANCOS                                     | Variable Independiente que representa la Distancia Euclidiana medida en metros desde el Inmueble hasta el Banco más Cercano             |
| DBIBLIOT                                    | Variable Independiente que representa la Distancia Euclidiana medida en metros desde el Inmueble hasta la Biblioteca más Cercana        |
| DCAJERO                                     | Variable Independiente que representa la Distancia Euclidiana medida en metros desde el Inmueble hasta el Cajero Automático más Cercano |
| DCOMER                                      | Variable Independiente que representa la Distancia Euclidiana medida en metros desde el Inmueble hasta el Centro Comercial más Cercano  |
| DCLINICA                                    | Variable Independiente que representa la Distancia Euclidiana medida en metros desde el Inmueble hasta la Clínica más Cercana           |
| DCOLEG                                      | Variable Independiente que representa la Distancia Euclidiana medida en metros desde el Inmueble hasta el Colegio más Cercano           |
| DPARQU                                      | Variable Independiente que representa la Distancia Euclidiana medida en metros desde el Inmueble hasta el Parqueadero más Cercano       |
| DRESTA                                      | Variable Independiente que representa la Distancia Euclidiana medida en metros desde el Inmueble hasta el Restaurante más Cercano       |
| DSUPERM                                     | Variable Independiente que representa la Distancia Euclidiana medida en metros desde el Inmueble hasta el                               |



|   |   |
|---|---|
|   | Supermercado más Cercano  |
| DUNIVER                                       | Variable Independiente que representa la Distancia Euclidiana medida en metros desde el Inmueble hasta la Universidad más Cercana                     |
| DVIA  | Variable Independiente que representa la Distancia Euclidiana medida en metros desde el Inmueble hasta la Vía Principal más Cercana                   |
| DENSIE  | Variable Independiente que representa la densidad total de empleos (total de empleos/kilómetro cuadrado)  |
| DENSIP  | Variable Independiente que representa la densidad total poblacional (total de personas/kilómetro cuadrado)  |
| Variables de Seguridad del Vecindario         |   |
| ACOMERC                                       | Variable Independiente que representa el Número de Atracos a Establecimiento Comerciales en la Zona donde se encuentra Ubicado el Inmueble en el 2005 |
| APERSO  | Variable Independiente que representa el Número de Atracos a Personas en la Zona donde se encuentra Ubicado el Inmueble en el 2005                    |
| ARESID  | Variable Independiente que representa el Número de Atracos a Residencias en la Zona donde se encuentra Ubicado el Inmueble en el 2005                 |
| HOMIC   | Variable Independiente que representa el Número de Homicidios en la Zona donde se encuentra Ubicado el Inmueble en el 2005                            |
| HMOTOS  | Variable Independiente que representa el Número de Hurtos de Motos en la Zona donde se encuentra Ubicado el Inmueble en el 2005                       |
| HVEHIC  | Variable Independiente que representa el Número de Hurtos de Vehículos en la Zona donde se encuentra Ubicado el Inmueble en el 2005                   |
| RCOMERC                                       | Variable Independiente que representa el Número de Robos a Establecimiento Comerciales en la Zona donde se encuentra Ubicado el Inmueble en el 2005   |
| RPERSO  | Variable Independiente que representa el Número de Robos a Personas en la Zona donde se encuentra Ubicado el Inmueble en el 2005                      |
| RRESID  | Variable Independiente que representa el Número de Robos a Residencias en la Zona donde se encuentra Ubicado el Inmueble en el 2005                   |
| ESTRATO                                       | Variable Independiente que representa el Estrato Socioeconómico en la Zona donde se encuentra Ubicado el Inmueble                                     |
| Atributos de Calidad Ambiental del Vecindario |   |
| RUIDO   | Variable Independiente que representa el Nivel de Ruido en decibeles en la Zona donde se encuentra Ubicado el Inmueble                                |

|   |   |
|---|---|
| PSUSP   | Variable Independiente que representa las Partículas Suspendidas en miligramos por metro cúbico en la Zona donde se encuentra Ubicado el Inmueble |
| Variables de Accesibilidad al Sistema de Transporte Masivo Transmilenio |   |
| DISTE   | Variable Independiente que representa la Distancia Euclidiana medida en metros desde el Inmueble hasta la Estación más cercana a Transmilenio     |
| DISTEM  | Variable Independiente que representa el Tiempo de caminata en minutos desde el Inmueble hasta la Estación más cercana a Transmilenio             |
| DISTC   | Variable Independiente que representa la Distancia Euclidiana medida en metros desde el Inmueble hasta el Corredor más cercano a Transmilenio     |
| DISTCM  | Variable Independiente que representa el Tiempo de caminata en minutos desde el Inmueble hasta el Corredor más cercano a Transmilenio             |

Fuente: Los Autores.

La forma funcional de los modelos hedónicos para inmuebles residenciales, comerciales y mixtos elegida a partir de realizar todo el procedimiento econométrico sirvió para estimar los precios implícitos de los determinantes del precio de los inmuebles y luego proceder a su interpretación.

La interpretación presentada en la siguiente sección hará énfasis en la interpretación de los resultados encontrados y su importancia para la determinación de los cambios en el valor de la propiedad derivados de la influencia del sistema de transporte masivo “Transmilenio”.

## 7. Resultados del Modelo Hedónico Espacial Empírico

La finalidad del modelo de precios hedónico espacial es la de cuantificar el valor de los inmuebles residenciales comerciales y terrenos originado por la influencia del sistema de transporte masivo “Transmilenio”, considerando diferentes distancias. Para alcanzar dicho objetivo, se estimó una forma funcional para la ecuación hedónica tiene como variable dependiente el precio del inmueble y como variables independientes a las características convencionales del activo, el inmobiliario urbano en el vecindario, variables de seguridad del vecindario, variables ambientales y la variable clave que mide la distancia euclidiana (es la distancia de una línea recta entre dos puntos) del inmueble hasta la estación más cercana a Transmilenio.

El trabajo de obtención del modelo hedónico inició con la especificación de la forma funcional y su posterior estimación mediante el método de Máxima Verosimilitud. Luego se detectó y corrigió el problema de Heteroscedasticidad presente en el modelo, a continuación se comprobó la existencia de problemas de Autocorrelación Espacial y se siguió el respectivo procedimiento para su solución. Por último, se obtuvieron los coeficientes estimados para cada una de las

variables explicativas del modelo bajo la forma funcional elegida previamente a partir de las transformaciones Box Cox. Para la definición de la muestra, se optó por seleccionar de la base de datos de inmuebles de Planeación Distrital 2000 observaciones, de manera aleatoria. La ubicación espacial de estas observaciones, alrededor de los corredores de Transmilenio considerando diferentes distancias, se puede observar en el anterior mapa. Al final, la muestra total con la que se estimó el modelo de precios hedónicos fue de 1547 observaciones obtenidas de la muestra original de 2000 observaciones.

**Figura 3 Muestra de Predios Seleccionados**



Fuente: Departamento Administrativo de Planeación Distrital y Transmilenio.

Esta reducción en el número de observaciones de la muestra original se tiene después de eliminar las observaciones con información incompleta resultante de la elección aleatoria de las observaciones<sup>28</sup>. La elección de las observaciones de la

<sup>28</sup> Una consecuencia negativa de esta eliminación de observaciones es que en la muestra nos quedamos sin observaciones sobre terrenos a partir de los cuales podamos hacer las estimaciones de los modelos. De igual

muestra se realizó considerando aquellos inmuebles con distancias hasta 200 metros de la estación más cercana de Transmilenio, con distancias hasta 500 metros y para observaciones con distancias mayores a 500 metros. Para la muestra final de 1547 observaciones se ensayaron diferentes formas funcionales para el modelo hedónico. A continuación se presentan dichos resultados.

**Tabla 6: Modelo Hedónico con y sin efecto de la autocorrelación espacial.**

| MODELO                                    | BOX-COX NO RESTRINGIDA | BOX-COX NO RESTRINGIDA |
|---|------------------------|------------------------|
| VARIABLE                                  | BCNR                   | BCNR ESPACIAL          |
| CONSTANTE                                 | 32.70027***            | 31.89546***            |
| WVALORAVA                                 | -                      | 0.0211684***           |
| <b>VARIABLES ESTRUCTURALES</b>            |                        |                        |
| AREA                                      | 0.0373884***           | 0.037968***            |
| ESTRATO                                   | 0.1959437***           | 0.1973415***           |
| <b>VARIABLES VECINDARIO</b>               |                        |                        |
| DBANCOS                                   | 0.0074926***           | 0.0080312***           |
| DTERMIN                                   | (-0.0152401)***        | (-0.0154594)***        |
| DCCOMERCIAL                               | 0.0020992***           | 0.0021317***           |
| DCOLEGIO                                  | (-0.006051)***         | (-0.0061233)***        |
| DDROGUERIA                                | 0.0167877***           | 0.0166508***           |
| DEMBAJADAS                                | 0.0050146***           | 0.005243***            |
| DESTSERVICIO                              | (-0.004666)***         | (-0.0046697)***        |
| DESTPOLICIA                               | (-0.0064944)***        | (-0.0063487)***        |
| DSUPERMERCADOS                            | (-0.0088919)***        | (-0.008976)***         |
| DUNIVERSIDAD                              | (-0.0061165)***        | (-0.0062156)***        |
| <b>VARIABLES AMBIENTALES</b>              |                        |                        |
| DPARQUE                                   | 0.0034946***           | 0.0031119***           |
| <b>VARIABLES DE SEGURIDAD</b>             |                        |                        |
| APERSONA                                  | (-0.0040737)***        | (-0.0039409)***        |
| <b>VARIABLE TRANSMILENIO</b>              |                        |                        |
| DISTE                                     | (-0.0007638)**         | (-0.0008902)***        |
| <b>PARÁMETROS DE TRANSFORMACIÓN</b>       |                        |                        |
| LAMBDA                                    | 0.499328***            | 0.4966802***           |
| THETA                                     | 0.0618282***           | 0.0617118***           |
| <b>ESTADÍSTICOS DE PRUEBAS DEL MODELO</b> |                        |                        |
| LOG LIKELIHOOD                            | -4739695.9             | -4739693.8             |
| AIC                                       | 9479396                | 9479392                |
| BIC                                       | 9479406                | 9479402                |
| LR  | 14222.72***            | 14226.94***            |
| RAÍZ DE SIGMA                             | 3.620425               | 3.613039               |
| BREUSCH-PAGAN                             | 178.4598***            | -                      |
| LR ESPACIAL                               | -                      | 4.808712**             |
| T NÚMERO DE OBS                           | 1547                   | 1547                   |

Variable significativa al (\*) 10 por ciento, (\*\*) cinco por ciento y (\*\*\*) uno por ciento.

Fuente: Estimación de los Autores en Stata y Geoda.

Como se puede apreciar en la tabla 6, la especificación del modelo hedónico considera cinco grupos de variables: variables estructurales, variables de vecindario, variables ambientales, variables de seguridad y la variable

manera, esto se produjo en vista de que a la hora de elegir de manera aleatoria las 2000 observaciones, solo algunas de ellas correspondían a información de terrenos y todas tenían problemas de falta de información para varias de las variables.

Transmilenio. Los coeficientes estimados muestran los signos esperados. En la segunda columna se muestra el modelo hedónico inicialmente especificado a partir del cual se hizo la detección de los problemas de Heteroscedasticidad y de Autocorrelación Espacial.

El modelo que se presenta en la tercera columna de la tabla 6 es el modelo final con la corrección de los problemas antes mencionados. Los coeficientes estimados tienen diferentes niveles de significancia estadística (10, 5 y 1 %). En la tabla 7 se presentan los resultados de la prueba estadística de bondad de ajuste para elegir la forma funcional. Se aprecia que ninguna de las formas funcionales conocidas sirve para modelar los datos del estudio.

De acuerdo con conclusión obtenida a partir de los resultados de la tabla 7, la forma funcional del modelo que mejor se ajusta a la información disponible para los predios seleccionados en el estudio, es una forma funcional Box Cox no restringido<sup>29</sup>. Con la prueba de LR espacial y Breush Pagan se determinó que el modelo presenta problemas de Autocorrelación Espacial<sup>30</sup> y Heteroscedasticidad<sup>31</sup>. Por consiguiente, los parámetros de transformación Theta y Lambda resultaron significativos. Todas las variables seleccionadas son importantes en la explicación del precio del inmueble y cuenta con el signo esperado.

**Tabla 7: Pruebas de Hipótesis para Elegir la Forma Funcional.**

| Nombre de la Función | Condición de $\theta$ y $\lambda$ | Log Likelihood Box-Cox restringido | Log Likelihood Box-Cox no restringida | Razón de verosimilitud | Conclusión |
|----------------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|------------|
| Lineal               | $\theta = \lambda = 1$            | -5337909.9                         | -4739693.8                            | 1196432.2***           | Rho        |
| Logarítmica          | $\theta = \lambda = 0$            | -4741987.4                         | -4739693.8                            | 4587.2***              | Rho        |
| Recíproco en X y Y   | $\theta = -1; \lambda = -1$       | -5099431.9                         | -4739693.8                            | 719476.2***            | Rho        |

Fuente: Estimación de los Autores en Stata.

Una vez cuantificada la relación existente entre Transmilenio y el precio del inmueble a través del coeficiente que acompaña a la variable “DISTE”, se procede con el cálculo de la plusvalía generada por Transmilenio en el caso de inmuebles localizados hasta 200 metros, hasta 500 metros y más de 500 metros.

Luego, se estiman las elasticidades distancia a Transmilenio precio del inmueble considerando los diferentes tipos de usos encontrados en la muestra con la finalidad de tener una cuantificación de la relación de valor por tipo de uso que puede ser de gran interés a la hora de soportar políticas que capturen de valor.

<sup>29</sup> De acuerdo con la Razón de Verosimilitud, RV. Se rechaza la hipótesis nula en favor de la forma funcional conocida y directamente estimable por Mínimos Cuadrados Ordinarios, MCO.

<sup>30</sup> Corregido con un proceso autorregresivo Espacial, multiplicado por la matriz de peso espacial **W**, (WVALORAVA). Matriz obtenida a partir de estimaciones realizadas en Geoda.

<sup>31</sup> Corregido mediante una estimación Robusta en Stata 9.2.

**Tabla 8: Tamaño de la Población de Predios para cada una de las tres Fases de Transmilenio y por Zonas de Influencia según distancia.**

| Fases | Zona 1   |            | Zona 2   |            | Zona 3    |            |
|-------|----------|------------|----------|------------|-----------|------------|
|       | Cantidad | Porcentaje | Cantidad | Porcentaje | Cantidad  | Porcentaje |
| 1     | 120.104  | 32,12 %    | 266.119  | 33,41 %    | 490.043   | 33,21 %    |
| 2     | 74.687   | 19,96 %    | 179.371  | 22,52 %    | 387.670   | 26,27 %    |
| 3     | 179.228  | 47,92 %    | 351.160  | 44,07 %    | 597.943   | 40,52 %    |
| Total | 374.019  | 100 %      | 796.650  | 100 %      | 1.475.656 | 100 %      |

Fuente: Cálculo de los Autores a partir de Información suministrada por DAPD.

En la tabla 6 se presentan el universo de inmuebles impactados y a impactar por las diferentes fases de Transmilenio para la zona 1 que corresponden a los ubicados hasta una distancia de 200 metros, correspondientes a 374.019<sup>32</sup>. Luego, el universo de inmuebles de la zona 2 equivalente a 796.650, que corresponde a aquellos ubicados entre 200 y hasta 500 metros de distancia de la estación más cercana de Transmilenio y la zona tres que contiene el universo de inmuebles con distancias mayores a 500 metros, este último correspondiente a un total de 1'475.656.

Dentro de cada zona también se debe tener en cuenta que se tienen usos residenciales, comerciales y terrenos para los cuales se debe hacer la estimación de la plusvalía generada y esperada.

Antes de iniciar la cuantificación de plusvalías por influencia de Transmilenio debemos interpretar los valores encontrados en términos de cambios en bienestar. En la tabla 9, en la segunda columna, se presenta el efecto marginal de la variable distancia desde el inmueble a la estación más cercana de Transmilenio. Como se puede observar en el caso de los inmuebles localizados en la zona 1 (distancia hasta 200 metros), la disponibilidad a aceptar de un propietario porque su vivienda se encuentre un metro más lejos de la estación más cercana de Transmilenio es de \$ 1.182 en promedio. Esta misma medida de bienestar encontrada también se puede interpretar en términos de disponibilidad a pagar. En este caso se interpretaría como que el dueño del inmueble debería estar dispuesto a pagar en promedio la suma de \$ 1.182 por que su vivienda esté un metro más cerca de la estación más cercana de Transmilenio. Esta última interpretación es la de utilidad si estamos pensando estimar la plusvalía generada por Transmilenio.

<sup>32</sup> En total para las tres fases de Transmilenio, las dos primeras con impactos sobre el valor de la propiedad y la última fase "fase 3" por construirse. Por consiguiente, los valores totales producidos por la fase tres se interpretarían como beneficios esperados derivados del proyecto de transporte masivo.

**Tabla 9: Información Básica para Calcular la Plusvalía por Grupos de Distancia<sup>33</sup>.**

| Zona | Efecto Marginal* | Elasticidad | Precio Promedio | Número de Predios |
|------|------------------|-------------|-----------------|-------------------|
| 1    | - 1182.33        | -0.36%      | 48.6            | 374.019           |
| 2    | -1506.22         | -0.55%      | 106             | 796.650           |
| 3    | -526.01          | -1.13%      | 66.9            | 1.475.656         |

\*El efecto marginal en pesos por metro (el precio promedio en millones de pesos de 2005).

Fuente: Cálculo de los Autores.

Para poder obtener un cálculo más sencillo y directo de la plusvalía podríamos pensar en usar la elasticidad valor del inmueble – distancia a Transmilenio y así calcular la mínima plusvalía resultando de un cambio en el margen de un 1%. Para poder hacer dichos cálculos recurrimos a la estimación de intervalos de confianza para las variables involucradas en el análisis. Estos valores se presentan en la tabla 10.

**Tabla 10: Intervalo de Confianza del 95% para el Cálculo de la Plusvalía.**

| Zona | Nombre      | Límite Inferior | Promedio | Límite Superior |
|------|-------------|-----------------|----------|-----------------|
| 1    | Precio      | 38.2            | 46.8     | 55.3            |
|      | Elasticidad | -0.37%          | -0.36%   | -0.35%          |
| 2    | Precio      | 56.2            | 106      | 155             |
|      | Elasticidad | -0.55%          | -0.54%   | -0.53%          |
| 3    | Precio      | 49.2            | 66.9     | 84.7            |
|      | Elasticidad | -0.12%          | -0.11%   | -0.11%          |

Precio expresado en millones de pesos de 2005.

Fuente: Cálculo de los Autores.

Con esta información podemos cuantificar para el universo de predios localizados para las tres zonas estudiadas (hasta 200 metros, hasta 500 metros y más de 500 metros) la plusvalía generada por Transmilenio por un cambio en uno por ciento. Estos resultados se presentan en la Tabla 11.

Como se observa en la tabla 11, para las tres zonas estudiadas, la plusvalía generada por la influencia de Transmilenio implica unos recursos significativos. Se puede observar también que los mayores valores de plusvalía se generan para el conjunto de inmuebles ubicados a una distancia media entre 200 y 500 metros.

<sup>33</sup> Esta tabla fue construida a partir de los cálculos presentados en el conjunto de tablas del anexo 6.

**Tabla 11: Plusvalías estimadas bajo un intervalo de confianza por Zona y Total para el Universo de Predios registrados por DAPD.**

| Zona  | Límite Inferior    | Promedio           | Límite Superior      |
|-------|--------------------|--------------------|----------------------|
| 1     | \$ 52,863,845,460  | \$ 63,014,721,120  | \$ 723,913,774,500   |
| 2     | \$ 246,244,515,000 | \$ 456,002,460,000 | \$ 654,447,975,000   |
| 3     | \$ 87,122,730,240  | \$ 108,593,525,040 | \$ 137,486,869,520   |
| Total | \$ 386,231,090,700 | \$ 627,610,706,160 | \$ 1,515,848,619,020 |

Precio expresado en pesos de 2005.

Fuente: Cálculo de los Autores.

Por un cambio en uno por ciento en la proximidad de la propiedad a la estación más cercana de TM, el cambio en el valor del suelo, considerando el universo de predios impactados por el proyecto en sus diferentes fases, es de aproximadamente 627 mil millones de pesos colombianos de 2005. Este valor es aproximadamente el 0.978% del PIB de Bogotá en 2005.

Otro aspecto importante a destacar a partir de los anteriores resultados es que las estimaciones se originan con datos del Departamento Administrativo de Catastro Distrital, datos que pueden estar subvalorados considerablemente. Debido a lo anterior, la mejora en la calidad de la información sobre el valor de la propiedad sería de gran importancia para cuantificar con exactitud las plusvalías generadas por Transmilenio. El anterior análisis también se puede hacer si se cuenta con toda la información sobre el universo de predios discriminada por uso residencial y comercial con miras a calcular la plusvalía por zona (por distancia) y por tipo de uso de los inmuebles. Este cálculo se haría utilizando la información provista en la tabla 12.

**Tabla 12: Información Básica para Calcular la Plusvalía generada por Transmilenio considerando los Usos Residenciales y Comerciales.**

| Zona | Efecto Marginal  |          | Elasticidad |        | Precio Promedio |       |
|------|------------------|----------|-------------|--------|-----------------|-------|
|      | Resid            | Comer    | Resid       | Comer  | Resid           | Comer |
| 1    | -<br>1283.0<br>3 | -1030.04 | -0.35%      | -0.38% | 50.8            | 40.5  |
| 2    | -<br>1505.0<br>0 | -1469.42 | -0.54%      | -0.54% | 104.0           | 107.0 |
| 3    | -476.28          | -818.78  | -0.12%      | -0.10% | 57.4            | 123.0 |

Precio promedio expresado en millones de pesos de 2005.

Fuente: Cálculo de los Autores.

Los anteriores resultados sirven de ejemplo para cuantificar y tener una idea de la magnitud de las plusvalías generadas por proyectos de transporte masivo como Transmilenio. Sin embargo, un análisis más útil para el cálculo y estimación de plusvalía con el objetivo de diseñar y ejecutar una política de captura de valor



sería la de relacionar los diferentes usos establecidos por Departamento Administrativo de Planeación Distrital y el Departamento Administrativo de Catastro Distrital con miras a hacer efectivo el recaudo.

## 8. Conclusiones del Estudio

A partir del modelo hedónico espacial se encuentra que las plusvalías promedio totales generadas por el proyecto de transporte masivo Transmilenio para las tres zonas estudiadas (hasta 200 metros, hasta 500 metros, mayor a 500 metros) alrededor de los corredores de las fases ejecutadas y planeadas de Transmilenio son:

Tabla 13: Plusvalías Generadas por Transmilenio para las Fases II Establecidas y para la Fase III en Perspectiva de Construcción.

| Zona  | Límite Inferior    | Promedio           | Límite Superior      |
|-------|--------------------|--------------------|----------------------|
| 1     | \$ 52,863,845,460  | \$ 63,014,721,120  | \$ 723,913,774,500   |
| 2     | \$ 246,244,515,000 | \$ 456,002,460,000 | \$ 654,447,975,000   |
| 3     | \$ 87,122,730,240  | \$ 108,593,525,040 | \$ 137,486,869,520   |
| Total | \$ 386,231,090,700 | \$ 627,610,706,160 | \$ 1,515,848,619,020 |

Pesos de 2005.

Fuente: Cálculo de los Autores.

Por un cambio en uno por ciento en la proximidad de la propiedad a la estación más cercana de TM, el cambio en el valor del suelo, considerando el universo de predios impactados por el proyecto en sus diferentes fases, es de aproximadamente 627 mil millones de pesos colombianos de 2005. Este valor es aproximadamente el 0.978% del PIB de Bogotá en 2005. Esta es una cuantía de recursos importantes y se puede considerar como una cuantificación discreta si se tiene en cuenta que los datos sobre valores de los inmuebles utilizados en el estudio pueden tener un importante margen de subvaloración.

La principal recomendación originada de este estudio es que el Gobierno Distrital debe trabajar en la consolidación de una base de datos que vaya registrando en el tiempo los precios y demás características de interés de los inmuebles y del vecindario con la finalidad de llegar a contar con un volumen adecuado de información con un buen nivel de calidad que permita hacer estudios más específicos sobre la dinámica de generación de usos del suelo urbano en Bogotá.

También se sugiere tener en cuenta el modelo hedónico espacial como una herramienta metodológica para la determinación de las plusvalías generadas por Transmilenio a partir de su aplicación a cada uno de los mercados establecidos en las diferentes localidades de la ciudad. Solo con una aplicación más detallada y cuidadosa lo cual implicaría contar con una base de datos muy completa se podría alcanzar este objetivo.

En términos de la conformación de una base de datos completa para el estudio de este tema se sugiere la creación de convenios con las diferentes instituciones del gobierno (Secretaría Distrital del Ambiente - SDA, Instituto de Estudios Ambientales - IDEAM, Instituto de Desarrollo Urbano - IDU, Policía Metropolitana) y entidades privadas (como metrocuadrado.com) para que sistemáticamente se recolecte información de corte transversal con la finalidad de contar con una gran base de datos que permita servir de soporte para los diferentes estudios que puedan generar evidencia empírica sobre la generación valores del suelo y su cambio ante variaciones en la dinámica de uso del suelo urbano.

De igual manera, para la iniciación de estudios en el tema de cambios en el uso del suelo urbano sería muy conveniente que Planeación Distrital lidere un proyecto de recolección, organización y disposición de datos sobre variables macroeconómicas relacionados con el mercado de la propiedad y del suelo en Bogotá con la finalidad de poder estudiar, por ejemplo, la relación existente entre del número de licencias de construcción sobre el PIB Bogotano y otros temas que se pueden analizar a partir de la aplicación de técnicas econométricas.

Por último, debido a que la información sobre los diferentes tipos de inmuebles del Departamento Administrativo de Catastro Distrital solo esta disponible en términos de índices cualitativos de las características estructurales, se recomienda trabajar en la recolección de información sobre los atributos cuantitativos de dichos inmuebles como por ejemplo número de cuartos, número de baños, número de garajes, etc. Esta información también debe ser actualizada en el tiempo. Todo esto contribuirá grandemente a los procesos de evaluación ex antes y ex post de proyectos urbanos a desarrollarse en el futuro.

## **9. Recomendaciones para Desarrollar Estudios Futuros**

En vista del enorme potencial de éste enfoque para la evaluación de proyectos de infraestructura de transporte urbanos la complementación del presente estudio sería lo más acertado a partir del desarrollo de una estrategia de ejecución de estudios es un componente importante para seguir avanzando en este tema.

- Un primer estudio complementario al actual necesario dentro de éste tema de investigación es de Dinámica de cambios de usos de los usuarios de Transmilenio y su impacto sobre la generación de nuevos usos urbanos que pueden llegar a generar cambios importantes en el valor del suelo urbano. Este estudio puede utilizar modelos probabilísticos para hacer las respectivas estimaciones.
- Un segundo estudio debería analizar en detalle la conducta de los propietarios de establecimientos comerciales para entender como capturan las plusvalías provenientes de proyectos de interés público con Transmilenio, con miras a generar algún tipo de política más específica para este grupo de beneficiarios.
- Un tercer estudio dentro de éste tema de investigación es la proposición de un estudio de captura de valor “considerando diferentes instrumentos” que tome en cuenta la fragmentación de mercados y los cambios en los valores del suelo

urbano, que nos permitan proponer una política de captura de valores eficiente y equitativa.

- Un cuarto estudio debería incluir la proposición de diferentes estudios que cuantifiquen el impacto de las externalidades positivas (mejoras sobre la salud, o mejoras sobre el valor de la propiedad, generación de nuevos mercados) y negativas (afectaciones de algunas propiedades, fragmentación de algunos mercados) que genera Transmilenio para entender como funcionarían los esquemas de compensaciones potenciales siguiendo el criterio de bienestar económico de Kaldor y Hicks, y así poder identificar a los agentes ganadores y perdedores de este proyecto.
- Un quinto estudio dirigido a establecer el efecto de la asimetría de información en la información reportada al Departamento Administrativo de Catastro Distrital y su impacto sobre la estimación de plusvalías y cambios de valor a partir de modelos hedónicos espaciales y otras técnicas disponibles.
- Un último proyecto debería estar encaminado a la consolidación de una base de datos en la que se encuentre información en cantidad y calidad de tal manera que permita la aplicación de los instrumentos utilizados en el presente estudio para la cuantificación de plusvalías por zonas residenciales y comerciales.

## **10. Referencias Bibliográficas**

- Abelson, P.W., (1979). Property Prices and the Value of Amenities. *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 6, pp. 11-28.
- Abreu, M., de Groot, H.L.F., and Florax, R.J.G.M. (2004), "Space And Growth: A Survey Of Empirical Evidence And Methods", Tinbergen Institute Discussion Paper, TI 2004-129/3.
- Anselin, L., Syabri, I., Kho (2004). *Geoda: An Introduction to Spatial Data Analysis*. Department of Agricultural and Consumer Economic. University of Illinois, Urbana – Champaign.
- Anselin, L. (2003). *An Introduction to Spatial Autocorrelation Analysis with Geoda*. Department of Agricultural and Consumer Economic. University of Illinois, Urbana – Champaign.
- Anselin, L., (1980), "Estimation Methods for Spatial Autorregresive Structures", *Regional Science Dissertation and Monographs series*, 8, Cornell University, Ithaca NY.
- Badiane, O., Shively, G.E. (1998). Spatial Integration, transport cost, and the response of local prices to policy changes in Ghana. *Journal of Development Economics*. Vol. 56, pag 411-431.
- Batt, H. W., (2001). *Value Capture as a Policy Tool in Transport Economics. An Exploration in Public Finance in the Tradition of Henry George*. *American Journal of Economics and Sociology*, Vol. 6, No. 1, pag 195-228.
- Becker, G., (1968). *Crime and Punishment: An Economic Approach*. *The Journal of Political Economy* 76: 169-217.
- Braden, J.B., and Kolstad, C.D., (1998). *Measuring the Demand for Environmental Quality*. *Contributions to Economic Analysis*. Elsevier.

- Brookshire, D.S., Thayer, M.A., Schulze, W.D., and D'Arge, R.C., (1982). Valuing Public Goods: A Comparison of Survey and Hedonic Approach, *American Economic Review*, vol. 72, no. 1, pp. 165-177.
- Cheshire, P., and Sheppard, S., (1995), On the Price of Land and the Value of Amenities, *Economica*, Vol. 62, pp. 247-267.
- Cropper, M.L., Deck, L.B., Kishor, N., and McConnell, K.E., (1993). Valuing Product Attributes using Single Market Data: A Comparison of Hedonic and Discrete Choice Approaches, *Review of Economics and Statistics*, Vol. 75, No. 2, pp. 225-232.
- Damm, D., Lerman, R. L., Lerner-Lam, E., and Young J., (1980). Response of Urban Real State Values in Anticipation of the Washington Metro. *Journal of Transport Economics and Policy*. Vol. XIV No. 3, pag 315-336.
- Darmofal, D., (2006), *Spatial Econometrics and Political Science*. Department of Political Science. University of South Carolina. USA.
- Departamento Administrativo de Planeación Distrital (2004), *Equidad en las Tarifas de Servicios Públicos. Impacto en la Capacidad de Pago de los Hogares de Bogotá D. C.* Centro de Investigaciones para el Desarrollo. Universidad Nacional de Colombia. Cede Bogotá.
- Departamento Administrativo de Planeación Distrital (2006). [www.dapd.gov.co](http://www.dapd.gov.co). Mapas electrónicos de Bogotá.
- Departamento Nacional de Planeación (2002). Documento CONPES 3185. Propuesta para Mejorar la Movilidad entre Bogotá y Soacha: Extensión de la Troncal Norte- - Quito – Sur del Sistema Transmilenio. DNP: DIE – GEINF. Versión Aprobada.
- Díaz, R. B., and Schneck, D. C., (2000). Bus Rapid Transit Technologies in the Americas – An Overview. *Transportation Research Record*, 1731, pp. 3 – 9.
- Ehrlich, L., (1973). Participation in Illegitimate Activities: A Theoretical and Empirical Investigation. *Journal of Political Economy*, 81 (3), 521 – 565.
- Fernández, C.J. (2005). *La Influencia del Transmilenio en las Vías Aledañas al Sistema*. Proyecto de Grado Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de Los Andes. Bogotá. Colombia.
- Florax, R. H., and Folmer, H., (1992). Specification and Estimation of Spatial Linear Regression Models: Monte Carlo Evaluation of Pre-Test Estimators. *Regional Science and Urban Economics*, 22; pp. 22-32.
- Geary, R. (1954). The Contiguity Ratio and Statistical Mapping. *The Incorporated Statistician*, 5; pag 115-45.
- Gottlieb, P., (1996). *Hedonic Models: Valuation of Urban Parks*. Department of Agricultural and Resources Economics. University of Maryland at College Parks. Draff.
- Graves, P., Murdoch, J.C., Thayer, M.A., and Waldman, D., (1988). The Robustness of Hedonic Price Estimation: Urban Air Quality, *Land Economics*, vol. 64, no. 3, pp. 220-233.
- Green, W. H. (2000). *Econometric Analysis*. 4th Edition. Prentice Hall, Inc.
- Haab, T. and McConnell, K. E. (2002). *Valuing Environmental and Natural Resources. The Econometric of Non Market Valuation*. Edward Elgar Publishing.

- Halcrow Fox (2000). World Bank Urban Transport Strategy Review – Mass Rapid Transit in Developing Countries. Report Commissioned by the World Bank (London Halcrow Inc).
- Hernandez, R., Fernández, C., Baptista, P., (1998). Metodología de la Investigación. McGraw-Hill.
- Hidalgo, D., (2004<sup>a</sup>). Transmilenio Bus Rapid Transit System Expansion 2002 – 2005 Bogotá, Colombia in Proceedings of the Eleventh International CODATU conference, 2004, Bucharest, Rumania.
- Hidalgo, D., (2004b). A Technical and institutional instrument for improving urban transportation: the case of Bogotá's Bus Rapid Transit (BRTs) Transmilenio, Infrastructure and financial markets review, Vol 10, No. 3, pag 1 – 6.
- Jaramillo, Samuel. (1994), Hacia una teoría de la renta del suelo urbano, Primera edición, Santafé de Bogotá: Ediciones Uniandes.
- Lansford, N.H., and Jones, L.L., (1995). Marginal Prices of Lake Recreation and Aesthetics: An Hedonic Approach, Journal of Agricultural and Applied Economics, vol. 27, no.1, 212-223.
- Levinson, H. S., Zimmerman, S., Clinger, J., and Rutherford, S., (2002). Bus Rapid Transit: An Overview, Journal of Public Transportation, 5 (2), pp. 1 - 30.
- Medrano, H.A., (2003). La Accidentalidad en un Medio Masivo de Transporte Público para la Ciudad de Bogotá, Transmilenio. Proyecto de Grado Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de Los Andes. Bogotá. Colombia.
- Méndez, M.C., (2004). Análisis de Intervención: Efectividad de las Políticas para la Reducción de la Contaminación por Fuentes Móviles en Bogotá. Tesis de Magíster en Economía del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales. Facultad de Economía. Universidad de Los Andes.
- Mendoza, C., (2005). Value Capture for Founding Colombian BRTS Infrastructure: The Case of Transmilenio in Bogota. Thesis Master Course in Urban Management and Development – 1. Institute for Housing and Urban Development Studies. Erasmus University Rotterdam.
- Milon, J.W., Gressel, J., and Mulkey, D., (1984). Hedonic Amenity Valuation and Functional Form Specification, Land Economics, vol. 60, no. 4, pp.378-387.
- Moran, P., (1948). The Interpretation of Statistical Maps. Journal of the Royal Statistical Society B, vol. 10; pp. 243-251.
- Moreno, A.J., (2004). Impacto de Transmilenio en el Crimen de la Avenida Caracas y sus Vecindades. Tesis de Magíster en Economía. Facultad de Economía. Universidad de Los Andes.
- Litman, T., (2005). Evaluating Transportation Equity. Guidance for Incorporating Distributional Impacts in Transportation Planning. Victoria Transport Policy Institute. Canada.
- Palmquist, R. B., (2003), Property Value Models. Department of Economics. North Carolina State University. Raleigh, NC 27695-8110. USA. Forthcoming.

- Polzin, S. E., and Baltes, M. R., (2002). Bus Rapid Transit: A Viable Alternative?, *Journal of Public Transportation*, 5 (2), pp. 47-70.
- Quigley, J.M., (1982). Nonlinear Budget Constraints and Consumer Demand: An Application to Public Programs for Residential Housing, *Journal of Urban Economics*, vol. 12, pp. 177-201.
- Rodríguez, D.A., and Targa, F., (2004). Value of Accesibility to Bogota´s Bus Rapid Transit System. *Transport Reviews*, Vol. 24, No. 5, pag 587-610.
- Rosen, S., (1974), Hedonic Prices and Implicit Markets: Product Differentiation in Pure Competition, *Journal of Political Economy*, 82(1), pp 34-55.
- Spengler, E.H., (1930). *Land Values in New York in Relation to Transit Facilities*. New York. Columbia University Press.
- Transmilenio (2006), Mapas del Sistema obtenidos en [www.transmilenio.gov.co](http://www.transmilenio.gov.co).
- US General Accounting Office (2001). *Bus Rapad Transit Shows Prmise: GAO ' 01 ' 984* (Washington, D.C: General Accounting Office).
- Vuchic, V., (2002). Bus Semirapid Transit Mode Development and Evaluation, *Journal of Public Transportation*, 5(2), pp. 71-96.
- Weicker, J.C., Zerbst, R.H., (1973). The Externalities of Neighborhood Parks: An Empirical Investigation, *Land Economics*, vol.49, pp. 99-105.
- Wright, L., (2001). Latin American Busways: Moving People rather than Cars, *Natural Resources Forum*, 25(2), pp. 121-134.