UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

**PRECIOS DEL SUELO E
INFRAESTRUCTURA DE
TRANSPORTE:
Caso aplicado al Sistema de Transmilenio
en Bogotá.**

**Julián Alberto Gutiérrez López
Michael Andrés Díaz Jiménez**

Universidad Santo Tomás
Facultad de Economía
Maestría en Ciencias Económicas
Bogotá, Colombia
2017

PRECIOS DEL SUELO E INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE: Caso aplicado al Sistema de Transmilenio en Bogotá.

**Julián Alberto Gutiérrez López
Michael Andrés Díaz Jiménez**

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ciencias Económicas

Director:

Doctor Oscar Arcos Palma

Línea de Investigación:

Economía Pública

Universidad Santo Tomás
Facultad de Economía
Maestría en Ciencias Económicas
Bogotá, Colombia
2017

Agradecimientos.

El presente trabajo queremos agradeceré a nuestros padres Lilia López, Isabel Jiménez, Luis Gutiérrez y Leónidas Díaz por su apoyo incondicional en estos años de estudio, no sólo en los cursados en la Maestría de Ciencias económicas, sino a lo largo de nuestras vidas, a nuestros hermanos y demás familiares por su constante respaldo y motivación.

Así mismo agradecemos al Dr. Oscar Arcos Palma, por su acompañamiento, sus conocimientos y por su orientación en este trabajo, a su vez agradecemos al cuerpo docente que nos acompañó y nos formó durante nuestros estudios de maestría.

Gracias a nuestros compañeros por su colaboración en este proceso, por su hospitalidad y su amistad, a nuestros amigos y mentores Alex Araque y Alejandra Patiño por encaminarnos en las labores investigativas e impulsarnos a culminar esta importante fase de nuestras vidas.

En nombre propio yo Julián Gutiérrez agradezco a mi hijo, el cual es en una motivación más para finalizar este largo camino y seguir creciendo como persona y como profesional.

Resumen.

La presente tesis muestra el diseño y aplicación de un Modelo de Precios Hedónicos con el que se determina la elasticidad precio de la distancia a las estaciones de Transmilenio, en función de variables estructurales, socioeconómicas y de localización. Para tal fin, se utiliza información cartográfica de la totalidad de manzanas de la ciudad y de todas las fases y estaciones de Transmilenio existentes al año 2016, además de emplear la base de Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital [IDECA], información socioeconómica suministrada por la Secretaría de Planeación Distrital, y el inventario del Sistema Vial del Instituto de Desarrollo Urbano [IDU].

Los resultados muestran una relación inversa entre la distancia a las estaciones de Transmilenio y los precios del suelo, indicando que, a mayor distancia entre un predio y una estación, el precio del suelo de dicho predio es más bajo. Desagregando el modelo a nivel socioeconómico se encuentra un mayor impacto para los estratos 1 y 2 con 15,5% y 6% respectivamente. Por otro lado, el efecto generado por áreas de influencia es más significativo para las distancias entre 200 y 500 metros, con un impacto de 4,4%; lo que indica que, los agentes optan por localizaciones cercanas, pero no inmediatas a una estación de Transmilenio.

Palabras clave.

Precios Hedónicos, Transmilenio, infraestructura de transporte, precios del suelo.

Código JEL.

R40, R42, H23, H54.

Abstract.

This thesis shows the design and application of a *hedonic price model* with which the price elasticity of the distance to the Transmilenio stations is determined, based on structural, socioeconomic and location variables. For this purpose, cartographic information is used on all the city's blocks and on all Transmilenio phases and stations in 2016, in addition to using the Spatial Data Infrastructure database for the Capital District [IDECA], socioeconomic information provided by The Secretary of District Planning, and the inventory of the [IDU] Urban Development Institute Road System.

The results show an inverse relationship between the distance to Transmilenio stations and soil prices, indicating that, at a greater distance between a property and a station, the price of the land of that property is lower. Disaggregating the model at the socioeconomic level shows a greater impact for strata 1 and 2 of 15.5% and 6% respectively. On the other hand, the effect generated by areas of influence is more significant for distances between 200 and 500 meters with an impact of 4.4%; Which indicates that, the agents opt for locations near, but not immediate to a Transmilenio station.

Keywords.

Hedonic prices, Transmilenio, transport infrastructure, soil prices.

JEL code.

R40, R42, H23, H54.

Contenido.

	Pág.
Resumen.....	VII
Lista de figuras.....	X
Lista de tablas.....	XI
Introducción.	1
1. Teoría de ordenamiento urbano neoclásico.	7
1.1 Orden espacial urbano.....	7
1.2 Los centros distritales de empleo en Bogotá.	16
2. Precios Hedónicos.	24
2.1 La concepción del valor.	24
2.2 Historia de los Precios Hedónicos.....	25
2.3 Modelo de Precios Hedónicos.....	27
2.3.1 Transformaciones Box Cox.	29
3. Distribución espacial de las estaciones de Transmilenio.....	33
3.1 Análisis de las variables en función de las troncales de Transmilenio.....	39
4. Metodología.....	43
4.1 Datos Utilizados.....	43
4.2 Estimaciones modelo de precios del suelo.....	50
4.2.1 Análisis e interpretación.	53
4.2.2 Detección de autocorrelación espacial.	55
5. Conclusiones y recomendaciones	59
Anexo A: Estadísticos descriptivos de las variables de análisis.....	63
Anexo B: Estimación del precio del suelo por troncal.....	65
Bibliografía	67

Lista de figuras.

	Pág.
Figura 1.1: Modelo de Von Thünen.	9
Figura 1.2: Curvas de Indiferencia.	12
Figura 1.3: Oferta de renta para una curva de indiferencia y una distancia dadas... 15	
Figura 1.4: Modificaciones de la oferta de renta ($r(t, u)$ y del consumo de espacio $Z(t, u)$	16
Figura 1.5: Gradiente de precios de la ciudad de Bogotá.	17
Figura 1.6: Precios del suelo en ciudad policéntrica.	19
Figura 1.7: Nuevos gradientes de precios de la ciudad de Bogotá.	19
Figura 1.8: Mapa 1 - Centralidades de la Ciudad de Bogotá.	21
Figura 1.9: Mapa 2 - Número de empleados por manzana.	22
Figura 1.10: Mapa 3 - Sitios de interés	23
Figura 1.11: Mapa 4 - Densidad sitios de interés	23
Figura 3.1: Troncales de Transmilenio.	33
Figura 3.2: Mapa 5 - Entradas a las estaciones de Transmilenio.	35
Figura 3.3: Mapa 6 - Áreas de influencia de las entradas a las estaciones de Transmilenio.	37
Figura 3.4: Mapa 7 - Áreas de influencia de las entradas a las estaciones de Transmilenio y paradas de alimentador.	38
Figura 3.5: Mapa 8 Precios del suelo por troncal.	39
Figura 4.1: Transformación ejes en el centroide [ACP].	47
Figura 4.2: Transformación ACP.	48
Figura 4.3: I de Moran para el valor del metro cuadrado de terreno.	56
Figura 4.4. I de Moran para los residuos del modelo.	58

Lista de tablas.

	Pág.
Tabla 2.1: Nociones de valor.	25
Tabla 2.2: Formas Funcionales para la Función Hedónica.	30
Tabla 2.3: Formas Funcionales anidadas en la Función Hedónica Box-Cox.	31
Tabla 3.1: Valor promedio de metro cuadrado de terreno.	40
Tabla 3.2: Datos de población.	41
Tabla 3.3: Datos de empleo.	42
Tabla 4.1: Variables del modelo.	44
Tabla 4.2: Análisis de componentes principales de la variable sitios de interés.	49
Tabla 4.3: Modelos de precios del suelo.	51

Introducción.

En varias ciudades del mundo, las autoridades encargadas de la planificación urbana se interesan por encontrar herramientas que les permita cuantificar los efectos económicos generados por las inversiones en infraestructura de transporte público. De allí surgen interrogantes, como: ¿estas inversiones valorizan los predios cercanos? ¿Cómo se pueden cuantificar los efectos económicos generados? ¿Qué utilidad podría tener esta información en términos de financiación?

El mercado, aunque juega un papel poco visible en la política pública de ordenamiento, es el factor principal de planificación en todas las ciudades. Sus dinámicas tienen una causalidad de doble vía con la política pública, es por esto que frecuentemente se discuten sobre algunas de estas relaciones, mediante los diferentes estudios que permiten ver cómo los precios del mercado inmobiliario se ven afectados por la inversión en infraestructura de transporte. Dichos impactos tienden a no ser uniformes, debido a que estos dependen de la expansión del espacio urbano y de la dinámica de crecimiento en las que se pueden encontrar ciertas similitudes a lo largo del tiempo y el espacio.

Con base en lo anterior, Damm, Lerman, Lerner y Young (1980) demuestran que “*la provisión de infraestructura pública tiene un fuerte impacto sobre el desarrollo urbano y la distribución espacial de las propiedades urbanas*” (p. 315), evidenciando los cambios en los precios del suelo, producto de la inversión en infraestructura del metro en la Ciudad Washington. Esta concepción en términos empíricos es fundamental, en la medida en que permite dar cuenta de que sí es posible cuantificar estos cambios en los precios del suelo, y por ende que podría ser una manera eficiente de financiar la inversión en infraestructura; a este propósito, Batt (2001) muestra la manera en que los proyectos de infraestructura de transporte son financiados “*desde una perspectiva económicamente eficiente,*

administrativamente simple, justa financieramente y factible socialmente” (p. 195). En ese orden de ideas, las dinámicas de los precios del suelo, se dan gracias a:

Las ventajas de localización relativa que obtiene la producción industrial y de servicios al localizarse en áreas urbanas, debido a que se empiezan a generar economías de escala, una disminución de costos de transporte y externalidades positivas, generadas por el efecto de la aglomeración de los mercados; lo que puede implicar en un aumento indiscriminado de la demanda por suelo para uso residencial y productivo que no está vinculado con el crecimiento demográfico y generaría algunas expectativas especulativas en el precio del suelo. (Mendieta & Perdomo, 2007, p. 5)

Por otro lado Spengler (1930), logra demostrar que existe una relación positiva entre la valorización de un terreno y los proyectos de transporte público, centrando su análisis en la variación de los precios del suelo, ante la construcción de una línea de ferrocarril a inicios del Siglo XX; sin embargo, es de resaltar que en dicho caso este impacto no es uniforme sino que se ve principalmente concentrado en los predios contiguos a la intervención, lo que resulta afectado por diferentes factores como: buena movilidad, disponibilidad de sitios de acceso y se da en mayor proporción, en los sectores que presentan una alta aglomeración de población.

Un aspecto adicional para resaltar en el estudio de Spengler (1930), tiene que ver con que logra determinar la existencia de un efecto marginal decreciente en la intervención en mallas de transporte; lo cual, quiere decir que, en zonas donde exista una buena disponibilidad de líneas de transporte o sectores con alto nivel de desarrollo urbano, una línea adicional genera un impacto menor que el impacto que se genera en sectores donde no haya una presencia previa.

En la actualidad se han realizado diferentes análisis para determinar los cambios en los precios del suelo implementando la metodología de *Propensity Score Matching*; en tanto, autores como Vinha (2005), han venido utilizando estos planteamientos para determinar el impacto del Sistema de Metro en Washington D.C. en los patrones de desarrollo de la Ciudad, combinando dicha metodología con econometría espacial. Siguiendo el mismo planteamiento, McMillen y McDonald (2002) incluyen un valor agregado fundamental al

estudio, relacionado con la determinación de las diferentes categorías del uso de la tierra: residencial, comercial y mixta.

En el caso particular de la Ciudad de Bogotá, algunos estudios muestran la influencia de las estructuras de transporte público sobre el precio de las propiedades cercanas, utilizando diferentes metodologías entre las que se encuentran los Precios Hedónicos. Por ejemplo, Rodríguez y Targa (2004) desarrollan su estudio sobre el valor del arrendamiento de los predios cercanos a dos corredores principales del sistema Transmilenio; para lo cual, incluyen variables geográficas, demográficas, sociales, de uso de la tierra, vivienda, educación, delincuencia, servicios de transporte y características ambientales, en un área de influencia de 1,5 km alrededor del acceso al sistema. En resumen, los resultados demuestran que la valorización de los predios aledaños al Sistema, depende de los puntos de acceso a las estaciones, así mismo señalan que ante un aumento en el tiempo de desplazamiento en dirección a una estación, hay disminución en el valor de los predios entre un 7% y 9%.

En esta misma línea, Rodríguez y Mojica (2008) analizaron los cambios en los precios del suelo, mediante un estudio temporal de la existencia de Transmilenio en la Ciudad de Bogotá. Los datos utilizados para el abordaje de esta investigación provienen de una muestra de propiedades en el área metropolitana de Bogotá entre 2001 y 2006 para la fase II de Transmilenio en un área de impacto de 1 km alrededor de las estaciones. Los resultados muestran una influencia directa sobre el valor de los predios observados en términos de acceso y cobertura por la ampliación del sistema.

Adicionalmente, Mendieta y Perdomo (2007) analizaron los impactos económicos del Transmilenio en términos de las externalidades positivas y negativas generadas por las fases I y II, mediante un modelo espacial, el cual, se fundamenta en establecer la variable distancia mínima a una estación de Transmilenio y su relación con el valor catastral. Dentro de los datos utilizados en este modelo, se encuentran variables estructurales, tanto de los inmuebles analizados como de los predios aledaños como: seguridad, calidad

ambiental y accesibilidad al sistema de transporte de Transmilenio. Los resultados hallados son los siguientes:

La elasticidad de proximidad al Transmilenio precio del predio, mostraron valores promedio de -0,36%, -0,55% y -1,13% hasta 200, 500 y 1000 metros respectivamente. De este modo, el cambio sobre el valor del suelo fue aproximadamente de 627 mil millones de pesos colombianos de 2005; considerando el universo de predios impactados por el proyecto en sus diferentes fases. (Mendieta & Perdomo, 2007, p. 40).

Así mismo, Perdomo (2010) determinó el cambio en el valor de las viviendas de Bogotá por su cercanía a una estación de Transmilenio, mediante el uso de los Precios Hedónicos espaciales, en dos zonas de la Ciudad (localidad de suba y la primera de mayo con Boyacá); determinando aspectos como que las viviendas con fácil acceso a una estación de Transmilenio, presentan un diferencial de precios con los predios sin fácil acceso al Sistema, a través de la metodología de *Propensity Score Matching*, con la cual reafirma los resultados encontrados en 2007.

Por otro lado, Mendoza (2005), resalta que el Sistema de Transporte de Transmilenio es uno de los proyectos de infraestructura urbana más influyentes en las dinámicas sociales de la ciudad; a partir del abordaje del trabajo desarrollado por Damm, et. al (1980) proponiendo que la principal fuente de financiamiento para la infraestructura de Transmilenio, tiene que ver con poder realizar captura de valor. Sobre la captura de valor Mendoza (2005) destaca como en la Bogotá de 1987, se implementó “*el estatuto de valorización, el cual permite que el Instituto de Desarrollo Urbano [IDU] se encargue del diseño y recolección de las ganancias para obtener fondos para las construcciones públicas*” (Citado en Mendieta & Perdomo, 2007, p. 9), aspecto que encamina a dicha Institución como una de las principales interesadas en este tipo de investigaciones.

Expuesto lo anterior, es evidente que uno de los hechos que transformó las dinámicas sociales en términos de localización y desplazamiento, fue la incorporación del Sistema Integrado de Transporte Público en Bogotá, Transmilenio; de tal forma, que a partir de su funcionamiento, se plantean diferentes necesidades en cuanto a la determinación del impacto económico generado por las obras de infraestructura de este tipo.

Frente a este contexto, el objetivo de la presente tesis es determinar la elasticidad precio de la distancia a las estaciones de Transmilenio en la ciudad de Bogotá, a partir de un Modelo de Precios Hedónicos que evidencie los cambios en los precios del suelo. Este Modelo permite valorar indirectamente los bienes de no mercado, a través del análisis de un bien de mercado, mediante el cálculo de las demandas implícitas para cada uno de los atributos en que se desagrega dicho bien. Al respecto, Azqueta (1994) y Mendieta (2005) señalan que un bien, en este caso la vivienda, se compone de un conjunto de atributos, por lo cual el precio de mercado del mismo corresponderá al agregado de los precios de tales atributos.

Con ese propósito, el objetivo del *primer capítulo* se centra en analizar el orden espacial urbano de la Ciudad de Bogotá, abordando las posturas de los autores más representativos sobre el tema, además de realizar una revisión del modelo de Von Thünen aplicable a la Ciudad; el cual muestra la transformación urbana de la misma a lo largo de los años. Por otro lado, el *segundo capítulo* tiene como objetivo el abordaje metodológico, examinando el componente histórico, conceptual y formal de los Precios Hedónicos.

En tanto, en el *tercer capítulo* se realiza una caracterización del Sistema de Transmilenio, determinando la influencia de cada una de las estaciones por medio de áreas geográficas con el uso de los Polígonos de Thiessen; en el *cuarto capítulo* se describen las particularidades y variables utilizadas en el Modelo de Precios Hedónicos, así como las estimaciones respectivas; en el *quinto capítulo* se realiza el análisis de los resultados encontrados; y finalmente se describen las *conclusiones y perspectivas* de investigaciones futuras.

Expuesto lo anterior, la presente tesis contribuye tanto en el ámbito académico como en la toma de decisiones sobre el diseño y ejecución de políticas públicas de regulación y planificación urbana, dado que se articula con las necesidades de valoración (modelos en términos de valores comerciales) y sirve de referente en la construcción de proyectos de infraestructura de transporte en la Ciudad; en cuanto desagrega una fuente de información precisa y actualizada que utiliza tanto la totalidad de las manzanas de la Ciudad, como

todas las fases y estaciones de Transmilenio, además de presentar un modelamiento desagregado en términos de estrato, de las áreas de influencia y con respecto a cada troncal. Conviene subrayar que, a diferencia de los trabajos existentes, el análisis de influencia se realizó discriminando espacialmente la ubicación del acceso a cada estación, dada la heterogeneidad y extensión de dichas estructuras, así mismo se incluyeron variables de economía urbana e igualmente la modelación en términos de valores comerciales.

En ese mismo sentido, aporta a la teoría de formación de precios del suelo, puesto que incorpora -en términos empíricos- la aplicación de la literatura referente al ordenamiento neoclásico, la cual se encuentra ausente en las metodologías de valoración actuales. Adicionalmente, otros trabajos consideran como unidad de análisis una muestra, omitiendo información sobre el comportamiento de los centros de empleo en la Ciudad, aspecto que es necesario en la elaboración de políticas de ordenamiento basadas en las centralidades, con el fin de incluir el papel del mercado en la formación de Ciudad.

1. Teoría de ordenamiento urbano neoclásico.

1.1 Orden espacial urbano.

Antes de realizar cualquier análisis de ciudad, la pregunta fundamental que se debe tener en cuenta para desarrollar estudios de este tipo tienen que ver con ¿Cómo se construye el orden urbano espacial? teniendo en cuenta que el ordenamiento territorial intraurbano no es aleatorio e implica el estudio de ciertos planteamientos que podrían ser identificados en los discursos de las Ciencias Sociales. En este sentido, se hace necesario analizar la evolución teórica que gira en torno al modelo de ordenamiento intraurbano (Abramo, 2001).

Partiendo de que la historia del pensamiento económico contempla el espacio como un factor importante en las decisiones de los individuos; autores clásicos como: “*Cantillon, Smith y Ricardo ya consideraban la importancia de la mano de obra y su relación con el espacio, sus consecuencias en temas productivos y la reciprocidad entre el campo y la ciudad*” (Becerra, 2010, p. 9).

Paralelamente Ricardo (2003) en su análisis de la renta de la tierra, particularmente en el estudio sobre las “*leyes de granos*”, argumenta que la renta diferencial “*surge cuando se cultivan porciones de tierra con una fertilidad decreciente o debido a una localización diferencial*” (Citado en Becerra, 2010, p.12). Otros autores como Wilhem Roscher y Albert Schaffle, contribuirán a la evolución y desarrollo de las ideas de localización agrícola hacia una percepción más urbana e industrial, llegando a influir en los

planteamientos de Von Thünen (1826)¹ acerca de la localización óptima de cultivos agrícolas aplicada a las decisiones de localización de las industrias (Muiños, 2001).

Por su parte Alonso (1960), describe el diseño metodológico de Von Thünen (1826) como un modelo que parte de la configuración urbana de una ciudad mono-céntrica; basándose en la relación precio-distancia al centro, y en el establecimiento de localizaciones distintas que implican ofertas de rentas diferentes para los propietarios del suelo. En este sentido, se puede determinar que la renta ofrecida es función de la distancia al centro y de las ofertas urbanas de bienes públicos, en el caso poblacional se configuran a partir del diferencial de ventas y costos de producción. Para el efecto, los beneficios de una localización en particular se encuentran definidos por la Ecuación (1.1).

$$\pi_i(r, ou) = \varphi_i(r, ou) - R_i(r) \quad (1.1)$$

Por lo cual, sí el marco institucional de operación de los mercados es de competencia en el desarrollo de actividades, los beneficios de los productores, π_i , se establecen en términos de las tensiones entre promotores, φ_i , y propietarios del suelo, $R_i(r)$, de forma que la concurrencia obliga la cesión de todo excedente por encima de la sumatoria del costo de usos de los factores al propietario del suelo. En consecuencia, la renta de equilibrio implica que (ver Ecuación 1.2).

$$R^* = \max\{\max \varphi_i(r, ou), 0\} = \max = \{(p_i q_i - c_i), 0\} \quad (1.2)$$

De esta forma, la renta de equilibrio es la envolvente de todas las funciones de renta de cada uso o la que brinda cada producto inmobiliario ofrecido. En la Figura 1.1, se puede apreciar lo señalado.

¹ Der isolirte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie

Figura 1.1: Modelo de Von Thünen.

Fuente: Elaboración propia a partir de (Abramo, 2001).

En el eje de las ordenadas se tiene el valor de la renta, “P”, y en el de las abscisas, la distancia al centro, “D”. Se aprecia que, en un lugar determinado de la ciudad, se pueden ofrecer distintos espacios edificados con diferentes rentas del suelo. Se muestra, además, que, en los terrenos bajo los gradientes de renta anteriormente señalados, se puede desarrollar al menos una actividad. Si se desarrollan dos actividades, vinculadas tecnológicamente, estas ofrecerían la misma renta del suelo (Fujita & Thisse, 2002). La actividad que ofrezca la mayor renta se quedará con la localización, como lo señala la Ecuación (1.2); este es el principio que debe regir toda localización de hogares y de empresas. En ese orden de ideas, se queda con una localización, aquel que ofrezca la mayor renta del suelo.

Ahora bien, $\varphi_1(r, ou)$ en la Figura 1.1, se observa la actividad económica que mayor renta del suelo puede ofrecer, de forma que se localiza en las cercanías al centro dado que allí habrá una gran concentración de empleo. Por su parte $\varphi_3(r, ou)$ tenderá a una menor aglomeración de empleo en virtud de su lejanía del centro. En este sentido, se supone que

altos precios del suelo generados por las demandas del mismo, exigen aprovechar al máximo su capacidad, de forma que la aglomeración de empleo descende en el gradiente descrito por la envolvente marcada por la Ecuación (1.2) y la curva punteada en la Figura 1.1, es decir, la envolvente de las diversas rentas diferenciales (Alonso, 1960).

El modelo de Von Thünen (1826) es abordado por Alonso (1960) en un cuadro de elecciones individuales, el cual estructura lo que él mismo denomina como *un orden espacial Thüneniano* más amplio y en el que define el foco de la problemática sobre *distribución espacial de los agentes en la elección racional*, tal como lo muestra Abramo, (2001) así:

La distribución "geográfica" de los agentes en el espacio sería el resultado agregado de un conjunto de decisiones estrictamente individuales cuyo fin único sería maximizar una función de utilidad. De modo que el punto de partida de una teoría espacial que intentase definir la lógica de la distribución espacial según los principios de un agente maximizador racional (*homo economicus*) sería definir una teoría de la elección espacial de los individuos. (p. 11)

Esta consideración económica, configura la organización espacial dada por las decisiones heterogéneas de los agentes económicos, y a su vez, define la "teoría" de las elecciones residenciales constituyendo así mismo, la síntesis neoclásica de ordenamiento territorial, la cual será el punto de partida de la elección en términos de localización que se desarrollará en el modelo econométrico del presente trabajo.

El método a desarrollar contempla la maximización de la utilidad de un consumidor en el cual, ante una determinada ubicación o localización, esta es traducida en "grados" de satisfacción que generan estos bienes. La canasta óptima estará compuesta por dos tipos de bienes; el primer tipo hace referencia a los bienes y servicios que configuran la dimensión espacial, los cuales se dividen en dos: la parte de terreno usado por los agentes (q) y la distancia de la residencia al centro de la ciudad (t); el segundo corresponde a los otros tipos de bienes que no pertenecen a esa dimensión residencial propiamente dicha y están agrupados en un único bien calificado como "compuesto" y representado por (z) (Abramo, 2001).

En este caso la función de utilidad va a estar descrita por la Ecuación (1.3):

$$U = U(z, q, t) \quad (1.3)$$

Con el objetivo de poder establecer las curvas de indiferencia, supondremos que uno de los tres factores permanece constante, así la curva de indiferencia devela las combinaciones entre el consumo de espacio y el bien compuesto (ver Figura 1.2), el consumo del bien compuesto y distancia al centro de negocios o el consumo de espacio y distancia. Los individuos racionales siempre preferirán consumir más espacio y más bienes compuestos. Al contrario, la distancia genera menor satisfacción cuando aumenta su consumo, en palabras de Abramo (2001):

Si el individuo es racional, dado que los empleos y los bienes compuestos están disponibles en el CBD (centro de negocios), él siempre va a preferir vivir lo más cerca posible del centro de la ciudad, o sea, desde que el individuo privilegie las comodidades de acceso a esos bienes, su satisfacción será tanto más importante cuanto más próximo del centro él estuviera. Es lo mismo que decir que el aumento de la distancia entre el lugar de residencia y el centro de la ciudad tenderá a producir una utilidad negativa o descontento (insatisfacción). (Abramo, 2001, p15)

Figura 1.2: Curvas de Indiferencia.

Fuente: Tomada de (Abramo, 2001, p. 14).

Dadas las condiciones enunciadas por Fujita (1989) referentes a la función de utilidad, por un lado, $U(z, q)$ y al costo de transporte, por el otro, Abramo (2001) plantea las siguientes hipótesis:

Hipótesis 1: la función de utilidad es continua y creciente para todo $z > 0$ y $q > 0$; por tanto, todas las curvas de indiferencia son estrictamente convexas y continuas y no cortan los ejes.

Hipótesis 2: el costo de transporte $k(t)$ es continuo y creciente para todo $t > 0$, donde $0 < k(t) < Y$ y donde Y es el ingreso familiar. (p. 22)

El individuo podrá ordenar las curvas de indiferencia de la ubicación residencial a partir del criterio de satisfacción que las mismas representan. Dicho orden de preferencia entre las canastas de cada una de las curvas, establece lo que la literatura microeconómica llama "pre-orden"; este concepto y el entendimiento de la tasa marginal de sustitución entre z y q , al igual que la relación entre sus utilidades marginales, conlleva a incluir la restricción presupuestaria en el proceso de maximización del consumidor. Lo anterior, con el propósito de mostrar la interacción entre: los gastos en bienes compuestos, el consumo de espacio y los costos de transporte, teniendo en cuenta la localización de la residencia.

En ese orden de ideas y debido a que el individuo no ahorra, su ingreso estará representado por la Ecuación (1.4):

$$Y = pz_z + k(t) + Rq \quad (1.4)$$

En esta ecuación la variable pz corresponde al precio de los bienes compuestos z , $k(t)$ el costo de transporte y R el ingreso por unidad de espacio q . En un análisis singular la oferta de renta (r) corresponde al monto más alto que cada agente está dispuesto a ofertar por un espacio en una determinada localización. Por lo tanto, la oferta de renta estará representada por la Ecuación (1.5):

$$R(t, u) = \max \{ Y - k(t) - z/q \mid U(z, q) = u \} \quad (1.5)$$

Por lo tanto, si un agente se localiza a una distancia t del centro distrital de negocios y consume una canasta (z, q) , la cantidad de dinero disponible para ofrecer como renta esta representada por $Y - k(t) - z$. Para obtener la renta ofrecida por unidad de área en t se divide en las unidades de espacio q .

Sí se resuelve el problema de maximización de la oferta de renta en una localización t , sujeta a una restricción de utilidad $u(z, q) = u$, se obtiene una curva de indiferencia u cuya tangente representa la restricción presupuestal.

Teniendo en cuenta el presupuesto del individuo ($pzz + Rq = YK(t)$) y suponiendo que pz es el numerario, esa recta será entonces:

$$Z = Y - k(t) - Rq \quad (1.6)$$

A partir de la Figura 1.3, se puede evidenciar que, a mayor renta fundiaria², cambia la pendiente de la recta presupuestaria. Por lo tanto, al incrementar la renta manteniendo constantes las variables z y q , se consigue una recta que se extiende hasta el punto A donde intercepta con z en el punto A.

En este caso, el individuo que desee mantener su nivel de satisfacción no podrá pagar la renta cobrada, ya que la nueva recta de presupuesto estará situada debajo de la curva de indiferencia. En consecuencia, para que los individuos tengan el mismo nivel de satisfacción en relación a z y a q , cuando la renta fundiaria cambia, es preciso que sus gastos con desplazamiento también cambien. (Abramo, 2001, p.27)

Es por ello, que, ante variaciones de las distancias sobre una misma curva de indiferencia, se observa que la oferta de renta del suelo cambia ante las variaciones en la distancia. Al tomar aleatoriamente una curva de indiferencia, con un nivel de utilidad u , y se introducen dos localizaciones $t_1 < t_2$ las cuales cumplen la condición que $(t_1 < t_2)$, se tiene que $k(t_1) < k(t_2)$, lo que significa que el nivel de ingreso relativo es mayor en t_1 que en $(Y - k(t_2))$.

Lo anterior, se puede ver expresado en un par de rectas presupuestarias las cuales se le atribuyen a las distancias t_1 y t_2 . No obstante, se sabe que la oferta de renta r a la distancia t con un nivel de satisfacción $u(r(t, u))$, está representado por la pendiente de la recta presupuestaria tangente a la curva de indiferencia u . De esta forma, se puede apreciar que la pendiente de la recta t_1 , es mayor que la pendiente de t_2 , por lo cual se deriva que la oferta de renta para t_1 sobrepasa la renta ofrecida para t_2 ($r(t_1, u) > r(t_2, u)$); por ende, como lo expresa Abramo (2001): “*este contexto se encuentra claramente la idea Thüneniana, en la cual la oferta de renta decrece a medida que la distancia aumenta*” (p. 26).

²La renta fundaría es considerada como aquella que produce la tierra sola, libre de mejoras, por el sólo hecho de ser un elemento indispensable para la actividad humana y perfectamente limitado.

Figura 1.3: Oferta de renta para una curva de indiferencia y una distancia dadas.

Fuente: Tomada de (Abramo, 2001, p. 26).

En conclusión, cuando la distancia es más amplia, el ingreso de las familias neto se reduce dado el crecimiento de los gastos de desplazamiento. Sí los “grados” de satisfacción permanecen inalterados, los individuos deben reducir la oferta de renta. Dicha reducción va acompañada de una sustitución de suelo por el bien compuesto, donde $Q(t_1, u) < Q(t_2, u)$. Lo que significa: “*que la teoría de la renta de localización aquí sometida a una lógica utilitarista que le confiere, claramente, un ‘fundamento microeconómico’, esto es, una racionalidad concerniente a las decisiones tomadas por las familias en relación a la localización*” (Abramo, 2001, p. 28); así mismo, es el resultado de las acciones de funcionalidad, razón y “voluntad revelada” de los individuos en un mercado.

Figura 1.4: Modificaciones de la oferta de renta ($r(t, u)$) y del consumo de espacio $Z(t, u)$.

Fuente: Tomada de (Abramo, 2001, p. 28).

1.2 Los centros distritales de empleo en Bogotá.

Para analizar el ordenamiento urbano de la Ciudad de Bogotá, se hace necesario realizar un recorrido histórico sobre las diferentes etapas que han propiciado su estado actual; por lo cual, es de resaltar que a través de los años, la Ciudad ha tenido distintos epicentro de actividad urbana; concepto que define, aquellas zonas geográficas donde se concentra el mayor flujo de actividades económicas. De tal forma, que en los años cuarenta, el principal epicentro gravitaba sobre la Avenida Jiménez de Quesada, entre las carreras Sexta y Novena; luego de una etapa de guerra, esta actividad urbana comenzó a desplazarse hacia el norte, a lo largo de las carreras Séptima y Décima; para el decenio de los cincuenta, el centro se revitalizó a causa de la oferta de tierras, acompañado por la apertura de nuevas vías, espacios públicos y la incorporación de grandes fincas, además de contar, para esta época, con las tasas de crecimiento poblacional más altas del mundo. Lo anterior coincidió con los estudios del nuevo aeropuerto, del Hotel Tequendama y de la sede principal de Esso y Mobil; de modo que se introdujo un nuevo concepto de localización central en la urbe, consolidando a Bogotá como una Ciudad monocéntrica.

Para los años 60 y 70, el agotamiento de los predios ubicados en el Centro Internacional³ generó un salto hacia el norte, por el corredor de la Carrera Séptima y la Avenida Caracas, (sobre el sector de Chapinero y la avenida Chile), lo cual configuraría un nuevo centro de actividad empresarial y financiera, al igual que estos, se generaron dos polos de desarrollo, uno en la Calle Cien, con la construcción del *World Trade Center*, y otro en Unicentro, alrededor de la ciudadela comercial.

El distrito capital para esta época, se configuró bajo la perspectiva económica “del lugar central”, la cual establece un ordenamiento de usos y un ordenamiento paralelo de precios y rentas del suelo basado en la relación precio-distancia, el cual no es más que el ordenamiento de rentas, entendido este último -en términos pragmáticos- como la envolvente de las diversas rentas diferenciales del modelo de Von Thünen (como se aprecia en la Figura 1) (Alonso, 1960).

Figura 1.5: Gradiente de precios de la ciudad de Bogotá.

Fuente: Tomado de (Araque & Vizcaíno, 2009, p. 5)⁴.

³ El Centro Internacional de Bogotá [CIB] es una zona del Centro de Bogotá ubicado entre las calles 26 y 39 y las carreras 7 y 14 o Avenida Caracas.

⁴ Las Centralidades en el POT: aproximación desde el empleo recuperado de <http://institutoestudiosurbanos.info/descargasdocs/eventos/seminarios-de-investigacion-urbano-regional-aciur/memorias-vii-seminario-aciur-2008/mesa-2/168-centralidades-y-aglomeraciones-de-empleo-en-bogota/file>

Al pasar los años y con el incremento poblacional, se configuraron diferentes presiones en los precios del suelo dada la escasez del mismo, y con el objetivo de mermar la saturación en los epicentros existentes, se generaron iniciativas para la formación de actividad urbana hacia el occidente, con aspectos fundamentales como el Aeropuerto de Bogotá junto con la vía que lo conectaba con el Centro Internacional y la conformación del Centro Administrativo Nacional [CAN]; estos proyectos consolidaron el inicio del desarrollo urbanístico más grande de Colombia: Ciudad Salitre como eje central en la configuración urbana de Bogotá, en la cual el gradiente de precios no sólo se rige por un centro (estructura de Von Thünen) sino que este gradiente principal se ve afectado por la cercanía o lejanía a uno de los subcentros; y en esta dinámica de incremento de los costos de desplazamiento surge de un nuevo lugar de adquisición de bienes.

El Distrito Capital se configura entonces, bajo un patrón policéntrico, en el cual el modelo de ciudad está enmarcado bajo un gradiente principal, dictaminado por el centro núcleo, y unos gradientes secundarios, determinados por unos subcentros (ver Figura 1.6):

Esta dualidad espacial exige a su vez, en términos de la eficiencia económica, la jerarquización de los centros y su especialidad funcional. El principal lugar central ofrecerá bienes y servicios de alta jerarquía y los demás lugares ofrecerán los de menor jerarquía, la oferta de altas rentas del suelo de las primeras actividades soporta esta configuración (Araque & Vizcaíno, 2009, p. 4).

Dicha distribución en la oferta de bienes y servicios indica que los diferenciales de precios se dan en mayor cuantía en el centro principal que en los subcentros, y a su vez, en los subcentros más que en el resto de la ciudad, razón por la cual *“los precios del suelo son un buen indicador de los lugares centrales, así como lo serán el empleo y la jerarquía de las actividades desarrolladas en los lugares centrales”* (Bourdeau & Huriot, 2004, p. 10).

Figura 1.6: Precios del suelo en ciudad policéntrica.

Fuente: Elaboración propia a partir de (Araque & Vizcaíno, 2009)⁵.

Figura 1.7: Nuevos gradientes de precios de la ciudad de Bogotá.

Fuente: Tomada de (Araque & Vizcaíno, 2009, p. 5)⁶.

⁵ Este esquema de ciudad policéntrica delimita la existencia de condiciones locales que modifican esa estructura general del gradiente inicial. Si el predio está localizado en el centro mayor de la ciudad, tendrá un precio distinto a sí se encuentra en la vecindad de una centralidad periférica, es decir, de acuerdo con la función renta distancia, las localizaciones 12, 13 y 14 deberían tener precios distintos en una ciudad monocéntrica, no así en una policéntrica en donde tienen el mismo precio. En esencia el gradiente de cada subcentro captura las condiciones locales y particulares de cada localización.

⁶ Las Centralidades en el POT: aproximación desde el empleo recuperado de <http://institutoestudiosurbanos.info/descargasdocs/eventos/seminarios-de-investigacion-urbano-regional-aciur/memorias-vii-seminario-aciur-2008/mesa-2/168-centralidades-y-aglomeraciones-de-empleo-en-bogota/file>

En Bogotá se pueden apreciar las diferencias de precios en las isodistancias al centro de la Ciudad (ver Figura 1.7), razón por la cual es importante delimitar la estructura espacial de los centros y subcentros de la ciudad. Para tal caso, se tomará la siguiente definición:

Un centro se define como un conjunto continuo de sectores censales con densidades de empleo superiores y juntas reúnen al menos E empleos. Así, todas las zonas inmediatamente adyacentes a un centro tienen una densidad inferior a DE . Además, todas las zonas que presenten alta densidad de empleo serán pertenecientes a un centro, a menos que al mismo tiempo tengan empleo menor a E y sean aisladas, es decir, que no compartan al menos d millas de límite común con otras zonas de alta densidad. (Araque & Vizcaíno, 2009, p. 11)

De la misma forma, se trabaja bajo la metodología desarrollada por Araque y Vizcaíno, (2009), la cual identifica las centralidades atendiendo a los criterios de Giuliano y Small (1991) sobre las centralidades identificadas en la Ciudad de Los Ángeles a partir del volumen y la densidad de empleo de sus zonas de análisis de transporte.

Estos elementos metodológicos de Giuliano y Small (1991), fueron adaptados a la realidad de la Ciudad Bogotá, teniendo en cuenta diferencias como: la extensión y la concentración en comparación con la Ciudad de Los Ángeles. De tal forma, que el análisis se lleva a cabo mediante la información de empleo por manzana del censo de 2005, y queda establecido bajo los siguientes parámetros: densidad mayor a 10 empleos por acre y número de empleos mínimo de 267 (promedio del último decil de empleo de Bogotá). Los resultados georreferenciados de la metodología desarrollada se presentan en el Mapa 1.

Figura 1.8: Mapa 1 - Centralidades de la Ciudad de Bogotá.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos suministrados por la Secretaría Distrital de Planeación.

Esta metodología permite evidenciar un total de 36 centralidades repartidas principalmente en tres macroterritorios de localización del empleo:

- El eje carrera 7 – Avenida Caracas-Autopista Norte.
- El eje Calle 13 – Avenida El Dorado.
- El eje comprendido entre la Avenida 68 y la Avenida Boyacá.

Es importante resaltar que dos grandes territorios en donde no se aprecia fuerte aglomeración del empleo son Bosa y Suba, puntualmente porque allí se localizan hogares de bajos ingresos, sin embargo, se pueden apreciar islotes de bajo empleo y zonas de

expansión de la aglomeración en sectores de núcleos dispersos. En el Mapa 2 se confirma lo mostrado en el Mapa 1 y se encuentra relacionado con la falta de centralidades en los territorios de bajos ingresos en especial en la parte del occidente y en el sur de la Ciudad. A su vez, muestra la conformación histórica anteriormente mencionada de la conocida L de los dos primeros corredores hasta el Aeropuerto.

Figura 1.9: Mapa 2 - Número de empleados por manzana.

Fuente: Tomado de (Araque, Gutiérrez & Quenguan, 2017).

En concreto, la dinámica de la Ciudad queda vista en términos del gradiente de precios y de la distribución del empleo, pero a su vez queda reforzado con la distribución en términos de dotacionales y equipamientos dado que estas zonas es donde se presenta una mayor oferta y a su vez presentan una mayor cobertura de sitios de interés⁷, entendidos como aquellos que cumplen alguna(s) de las siguientes características: alojamiento y

⁷ Palabra Sitios de interés: Concepto que sirve para designar rasgos o cualidades geográficas. Estos representan importante elementos del paisaje, proporcionado un sistema de referencia esencial para la ubicación. http://www.ideca.gov.co/sites/default/files/SDS-Especificacion_Tecnica_IPS_V1_0_2011.pdf

alimentación, servicio comercial, deporte, entretenimiento, educación, salud, infraestructura pública, manufactura y producción (ver Mapa 3 y 4) con lo cual queda enmarcado que el ordenamiento de la Ciudad se encuentra soportada bajo tres grandes estructuras: “1. La estructura ecológica principal, 2. La funcional y de servicios y, 3. La socioeconómica, referida esta última a las centralidades sobre las que se establecen un conjunto de operaciones estratégicas” (Araque & Vizcaíno, 2009, p. 3).

Figura 1.10: Mapa 3 - Sitios de interés. **Figura 1.11: Mapa 4 - Densidad sitios de interés.**

Fuente: Elaboración propia a partir de datos suministrados por la IDECA (2016).

2. Precios Hedónicos.

2.1 La concepción del valor.

El concepto de valor económico que sustenta la presente investigación, es el fundamento de la teoría utilitarista de Jeremy Bentham, según la cual el origen del valor proviene del nivel de satisfacción que un bien le genera a un individuo, esta perspectiva desvela que el valor se genera en la medida en que proporciona beneficios al individuo y conforma el principio fundamental de los métodos de valoración económica; por lo tanto, el valor de una acción o de un bien público, debe provenir del cambio en el bienestar de los individuos que son afectados por el mismo, y dado que los cambios en el bienestar pueden ser expresados en términos monetarios, es posible acercarse al valor de los bienes.

Esta aproximación revela que la valoración económica se puede asociar bajo el criterio de valor utilitarista, debido a que todos los bienes pueden expresarse en términos monetarios:

Ya sea por la cantidad máxima de dinero que un individuo está dispuesto a pagar (DAP) por un incremento en la disponibilidad de un bien o por la mínima cantidad de dinero que el individuo está dispuesto a aceptar (DAA) como compensación por renunciar voluntariamente a una mejora en su bienestar. (Vásquez, Cerda & Orrego, 2007, p. 8).

Para entender la noción de valor implícita en el concepto de valoración, se hace necesario entender los diferentes criterios de valor evaluados por un consumidor, entre estos se encuentran:

Tanto el valor de uso como el de no uso. El primero consiste en los valores de uso directo, indirecto y de opción, mientras que el segundo considera los valores de legado y existencia y en lo que concierne a los bienes públicos este concepto de valor aborda una complejidad fundamental en la comparación de beneficios y costos, dados los principios de no exclusión y no rivalidad que presentan los mismos, razón por la cual las demandas de estos bienes nos son observables y el análisis de valor no puede ser determinado por los métodos convencionales. (Vásquez, Cerda & Orrego, 2007, p. 9)

Tabla 2.1: Nociones de valor.

Valor de uso			Valor de no uso	
Directo	Indirecto	Opción	Legado	Existencia
Productos de consumo directo	Funciones eco sistémicas	Valor futuro de uso directo o indirecto	Valor para futuras generaciones	Valor derivado de la existencia del recurso
Alimentos, recreación, aire	Regulación de cambios climáticos, formación de suelos	Biodiversidad, hábitats conservados	Hábitats, evitar cambios irreversibles	Hábitats, especies en vías de extinción

Fuente: Tomado de (Vásquez, Cerda & Orrego, 2007, p.19).

2.2 Historia de los Precios Hedónicos.

La literatura económica básica entre los diferentes supuestos plantea, asume la homogeneidad de los bienes que se transan dentro de un mercado, y este concepto en algunos casos puede ser correcto, aunque no siempre este supuesto desvela la verdadera naturaleza de algunos bienes, debido a que en ciertos mercados estas características diferenciadoras son aquellas valoradas por el consumidor, y por lo tanto las que terminan incidiendo directamente en el precio del bien; tal como se evidencia en el mercado de propiedades, en el que se incluyen tanto viviendas como terrenos, los cuales poseen características diferenciadoras como: tipo de construcción, edad, área, cercanías a centros urbanos, calidad ambiental, acabados, entre otros.

Estas características diferenciadoras intervienen directamente en la formación de la disponibilidad a pagar de los agentes por un bien, debido a que, por ejemplo, un consumidor está dispuesto a pagar un mayor precio por una vivienda ubicada en un barrio con mayor cantidad de espacio público, que por una con las mismas características y sin disponibilidad de éste. Teóricamente este supuesto es de fácil identificación, sin embargo, su cuantificación es compleja, en cuanto es muy difícil encontrar dos viviendas en las cuales el único criterio diferenciador sea únicamente la característica anteriormente descrita; y, por lo tanto se hace necesario descomponer cada atributo por separado, labor que termina siendo engorrosa, dados los grados de correlación entre las variables, los cuales podrían presentar problemas de multicolinealidad en los modelos.

Con el objetivo de cumplir esta labor, se utiliza el método de Precios Hedónicos, el cual ha venido tomando importancia en la valoración de bienes de no mercado. Actualmente existen contradicciones sobre quién fue el creador de la base de los Precios Hedónicos, debido a que algunos autores atribuyen a Zvi Griliches como el primero en iniciar con este método a principios de los años sesenta; no obstante, Allen Goodman, alude a Andrew Court el término “hedonic”, en tanto manifiesta que el uso de este término por Court en un artículo de 1939. Pero de lo que no existe duda es que fue Rosen (1974) fue el autor que popularizó dicho método.

Es de resaltar como el trabajo de Court estaba orientado a los precios de los automóviles, en los cuales el mercado no es homogéneo y existen características diferenciadoras para determinar el precio de cada uno. Dentro de estas características, Court evidenció la capacidad de frenado, el tamaño de ventana, la llanta y del asiento, además de la fuerza del motor; pero sólo se encaminó en analizar la relación del precio del automóvil con el peso del coche y la unidad de potencia del motor.

Otras aplicaciones del método de Precios Hedónicos se han desarrollado en análisis relacionados con el medio ambiente, como estudios de disponibilidad a pagar por parques forestales, entre otros y mercado inmobiliario. En efecto, algunos estudios ambientales están encaminados a cuantificar los precios de las distintas características implícitas que lo

componen, lo anterior mediante el uso de algunas herramientas estadísticas. Para lograr este cometido, es fundamental determinar la relación del precio de mercado de la vivienda y una serie de variables que determinan este precio; en este caso, una de ellas debe ser la variable medioambiental (cercanía al parque forestal), luego de esta determinación, se genera el modelo estadístico. A continuación, en el modelo estadístico se descompone el precio en cada una de sus variables, con el fin de establecer la importancia estadística de sus atributos en la formación del precio y así mismo, se procede a cuantificar en términos monetarios, la importancia relativa de cada una de dichas variables en la formación del precio.

2.3 Modelo de Precios Hedónicos.

Con el propósito de analizar la influencia del espacio público en la valoración del precio del suelo en Bogotá, se utiliza un modelo de Precios Hedónicos. Esta técnica, fue desarrollada por Rosen (1974) y establece una relación entre el precio de un bien heterogéneo y las características diferenciadoras que este contiene. Tal metodología determina la importancia cuantitativa de cada uno de los atributos que explican el precio del bien, con el fin de obtener la disponibilidad marginal a pagar [DMAP] por una unidad adicional de cada atributo (Santana & Núñez, 2011).

Para el presente caso, el precio ($P(z)$) de un predio está determinado por el valor de cada característica del inmueble, atributos y externalidades (Z) (Perdomo, 2010). El equilibrio hedónico representado, se genera cuando la postura o disponibilidad a pagar [DAP] de los consumidores de vivienda, se iguala con la disponibilidad a aceptar [DAA] de los productores. Por lo tanto, el modelo tiene en cuenta también que los consumidores tienen un ingreso M , un vector de parámetros α , que son observados y expresan las preferencias de los consumidores, y los demás bienes expresados en el vector Y (Duque, Velásquez & Agudelo, 2011, 99).

Donde la maximización de los consumidores está dada por la Ecuación (2.1):

$$\max u = u(Z, M, \alpha) \text{ Sujeto a } M \geq p(Z) + Y \quad (2.1)$$

Y se resuelve con el Langrangiano:

$$L = u(Z, M, \alpha) + \lambda[M - (P(Z) + Y)] \quad (2.2)$$

Cuyas condiciones de primer orden son:

$$\frac{\partial(L)}{\partial Z} = \frac{\partial(u(Z, M, \alpha) + \lambda[M - (P(Z) + Y)])}{\partial z} = \frac{\partial(u(Z, M, \alpha))}{\partial z} - \frac{\partial p(z)}{\partial Z}$$

$$\frac{\partial(L)}{\partial y} = \lambda \quad (2.3)$$

La función de Precios Hedónicos $P(Z)$ y $\frac{\partial p(z)}{\partial Z}$ es el precio hedónico de una característica. Sí establece como variable dependiente el precio del suelo, la especificación general del modelo es:

$$Psuelo = \beta_{0+} + \beta_i \sum_{i=1}^n Xi + \beta_i \sum_{i=1}^n Zi + u_i \quad (2.4)$$

Con $E(u_i) = 0$ y para $i = 1, 2, \dots, n$,

Donde x_i es un vector fila de K componentes correspondientes a las distancias de cada manzana a las diferentes variables y z_i es el vector de variables explicativas diferentes a distancia.

2.3.1 Transformaciones Box Cox.

Con el fin de no sobre o subestimar la DAPM de cada atributo, al ignorar la inestabilidad en la varianza de las variables seleccionadas se hace necesario aplicar una transformación de Box Cox (mejorar mejorar mejorar), en la Tabla 3.1, se observa la forma funcional para la función hedónica en la cual la variable y representa la variable dependiente, en este caso el valor comercial del metro cuadrado de terreno y las variables $x_1, x_2, \dots, x_k$ representan las variables independientes que intervienen en la formación de precios del suelo.

En esta tabla las variables $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$, representan los coeficientes de cada una de las variables $x_1, x_2, \dots, x_k$ del modelo hedónico, el signo arrojado en la estimación del modelo permite analizar si la variable tiene una relación directa o inversa en la formación del precio del suelo. Dicha relación se analiza de manera diferencial acorde a la forma funcional que más se adapte a los datos; sin embargo, *“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 a los diferentes atributos analizados en este trabajo”* (Mendieta y Perdomo, 2007, p. 20).

Continuando con el bosquejo anterior, la función con la transformación tipo Box Cox que permite determinar la forma funcional del modelo estará representada por la Ecuación (3.1):

$$y^\theta = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_k x_k^\lambda + e \quad (2.5)$$

En la cual $y^\theta = \frac{y^{\theta-1}}{\theta}$, $x_k^\lambda = \frac{x_k^{\lambda-1}}{\lambda}$, θ y λ son los parámetros de transformación, dado $-1 \leq \theta \leq 1$ y $-1 \leq \lambda \leq 1$, la forma funcional del modelo es no lineal por ende los parámetros de transformación no pueden ser estimados mediante mínimos cuadrados ordinarios” (Mendieta y Perdomo, 2007, p. 20).

Tabla 2.2: Formas Funcionales para la Función Hedónica.

FORMA FUNCIONAL CONOCIDA	ECUACIÓN	Efecto marginal DAMP $MG = \frac{\partial y}{\partial x}$	ELASTICIDAD $\epsilon = \frac{\partial y}{\partial x} \frac{x}{y}$
Lineal	$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k$	β	$\beta \frac{y}{x}$
Logarítmica	$Ln y = Ln \beta_0 + \beta_1 Ln x_1 + \beta_2 Ln x_2 + \dots + \beta_k Ln x_k$	$\beta \frac{y}{x}$	β
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	$Ln y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k$	βy	βx
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	$\frac{1}{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k$	$-\beta_i \frac{1}{(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k)^2}$	$-\beta_i \frac{1}{(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k)^2}$
Recíproco doble	$\frac{1}{y} = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{x_1} + \beta_2 \frac{1}{x_2} + \dots + \beta_k \frac{1}{x_k}$	$-\beta_i \frac{1}{(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k)^2}$	$-\beta_i \frac{1}{(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k)^2}$
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	$y = \beta_0 + \beta_1 \sqrt{x_1} + \beta_2 \sqrt{x_2} + \dots + \beta_k \sqrt{x_k}$	$\frac{\beta}{2\sqrt{x_i}}$	$\frac{\beta \sqrt{x}}{2y}$
Raíz cuadrada en Y	$\sqrt{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k$	$-\frac{2\beta_i(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k)}{y}$	$-\frac{2\beta_i(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k)}{y} \frac{x_i}{y}$
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: Tomado de(Mendieta y Perdomo, 2007, p. 20).

El resultado de las estimaciones debe estar dado por Máxima Verosimilitud-EMV, Por lo cual la estimación estará dada por:

$$Ln f(\sigma^2, \theta, \lambda, \beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k) = -\frac{T}{2} Ln(2\pi) - \frac{T}{2} Ln(\sigma^2) + (\lambda - 1) \sum_{i=1}^T Lny - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^T (y^\theta - \beta_0 - \sum_{k=1}^k \beta_k x_k^\lambda)^2 \quad (2.6)$$

Donde $Ln f$, representa el logaritmo de la función de verosimilitud, T , corresponde a la magnitud de la muestra, la variable σ^2 corresponde a la varianza y π , la constante que hace alusión al número phi.

Con el fin de determinar cuál es la forma funcional que más se adapta a la función Box Cox, se hace necesario estimar la prueba de razón de Verosimilitud- RV

$$RV = -2(Lnf_r - Lnf_{nr}) \sim \chi_q^2 \quad (2.7)$$

Donde:

Lnf_r , representa el logaritmo de la función de verosimilitud restringida a los valores de los parámetros θ y λ de la tabla 3; y Lnf_{nr} la anterior función no restringida. RV, sigue una distribución chi-cuadrado, χ_q^2 , con q grados de libertad que hace referencia al número de restricciones impuestas al modelo Box-Cox. (Mendieta y Perdomo, 2007, p.21).

Tabla 2.3: Formas Funcionales anidadas en la Función Hedónica Box-Cox.

Nombre de la Función	Condición de θ y λ	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	$\theta \neq \lambda \neq 0$	Máxima Verosimilitud
Box- Cox no restringida II	$\theta \neq \lambda \neq 0$	Máxima Verosimilitud

Fuente: Tomado de (Mendieta & Perdomo, 2007, p. 22).

Determinada la forma funcional del modelo, mediante la prueba de RV, la estimación de la DMP la varianza del modelo presenta estabilidad.

3. Distribución espacial de las estaciones de Transmilenio.

Para la realización del estudio, se tomó la base de datos de las zonas de Bogotá sobre las que Transmilenio tiene influencia, contemplando las fases I, II y III; y las troncales descritas a continuación:

Figura 3.1: Troncales de Transmilenio.

Fuente: Tomado de (Transmilenio, 2017).

De manera particular se contempla las siguientes centrales:

1. Caracas	5. NQS Central	9. Eje Ambiental
2. Auto Norte	6. Américas	10. Calle 16
3. Suba	7. NQS Sur	11. Carrera 10
4. Calle 80	8. Caracas Sur	12. Carrera 7

Para el abordaje del presente trabajo se georeferencian la totalidad de las entradas de acceso a las estaciones de Transmilenio, mediante el uso de la ortofoto digital de Bogotá y el visor tridimensional de Google Maps. Se toman las bocas de acceso y no las estaciones, porque hay algunas estaciones que tienen más de una boca y estas a su vez se encuentran ampliamente separadas, lo que podría generar errores en la medición de las distancias, afectando los cálculos de las estimaciones de las áreas de influencia. Con base en lo anterior con todos los puntos de acceso, se obtiene una superficie más fiable que muestra las distancias reales por donde transitaría la población, dicha distribución se presenta a continuación:

Figura 3.2: Mapa 5 - Entradas a las estaciones de Transmilenio.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos espaciales suministrados por (Transmilenio, 2016).

Contemplando la distribución espacial de las bocas de acceso a las estaciones de Transmilenio, es importante evaluar cuál sería la forma intuitiva de la distribución de estas. Para tal fin, se hace necesario utilizar los diagramas de Voronói o polígonos de Thiessen; estos diagramas se basan en criterios de distribución espacial que reflejan la localización más rentable que pueda ofrecer el plano, es decir, indica que un agente elegirá desplazarse a la estación más cercana a su domicilio. Esta técnica permite delimitar las áreas de influencia o los umbrales de alcance basados en el criterio de la distancia mínima

entre los puntos, con lo cual se obtiene una subdivisión del plano euclidiano (la región geográfica).

Inicialmente, dichas áreas de influencia se estimaban alrededor de un punto objetivo mediante buffers, pero este método resulta poco preciso para estudios de este tipo dado que, en las zonas urbanas, los umbrales deben estar en función de la distribución del espacio urbano (Mendoza, 2012).

Posteriormente y utilizando la distribución de los polígonos de Thiessen⁸, se le asocia una subdivisión a cada boca, la cual engloba todos los puntos más cercanos a esta (Aurenhammer, 1991). En otras palabras, se individualiza el espacio al cual pertenece cada boca mediante la asignación de un único polígono, hallando así el área de servicio de cada acceso; de esta forma, los umbrales que delimitan el área para cada boca, reflejan *“la máxima distancia a la que la mayoría de población está dispuesta a recorrer a pie para usar el transporte”* (Mendoza, 2012, p. 8).

Este análisis se realiza inicialmente con las estaciones de los articulados y con las paradas del sistema dual, obteniendo los siguientes resultados:

⁸ Cabe resaltar que esta técnica se emplea con el fin de analizar intuitivamente la distribución espacial de las estaciones, mostrando así, áreas atendidas y desatendidas, pero estas no intervienen en las estimaciones de los modelos.

Figura 3.3: Mapa 6 - Áreas de influencia de las entradas a las estaciones de Transmilenio.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos espaciales suministrados por (Transmilenio, 2016).

Figura 3.4: Mapa 7 - Áreas de influencia de las entradas a las estaciones de Transmilenio y paradas de alimentador.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos espaciales suministrados por (Transmilenio, 2016).

Aun con el acceso a los buses alimentadores, siguen existiendo áreas desatendidas en localidades como Suba, Usaquén, Barrios Unidos, Teusaquillo y Puente Aranda; generando así, que los habitantes de estas zonas realicen amplios desplazamientos para acceder al sistema aumentando los costos de transporte en la ciudad.

3.1 Análisis de las variables en función de las troncales de Transmilenio

Para una mejor lectura de la distribución de las troncales de Transmilenio, a continuación, se realiza una caracterización de cada una de ellas mostrando el comportamiento en cuanto al valor promedio del terreno, así como número promedio de habitantes, densidad de la población y estrato. Para dicha tarea se distribuyeron las manzanas de la ciudad, acorde a la troncal más cercana discriminando las que se encuentran de cero a 200 metros, de 200 a 500 metros y de 0 a 500.

Figura 3.5: Mapa 8 Precios del suelo por troncal.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos espaciales suministrados por Transmilenio.

De acuerdo con el valor promedio de metro cuadrado de terreno de la manzana más cercana a cada troncal, se evidencia que en las localizaciones contiguas a troncales como “JIMENENEZ”, “AUTOPISTA” y “SUBA” con un área de influencia de 0 a 200 metros, el valor promedio de metro cuadrado de terreno es más alto en comparación con las demás troncales (\$2.727.661; \$2.267.934 y \$1.860.237 respectivamente). Caso contrario ocurre en troncales como “TUNAL” “NQS SUR” “CARRERA 3” cuyos valores promedio son más bajos para la misma área de influencia (\$649.307; \$1.113.118 y \$1.195.366 respectivamente)

Realizando el análisis con un área de influencia de 200 a 500 metros se evidencia que en áreas cercanas a troncales como “AUTOPISTA”; “SUBA” y “NQS CENTRAL” el valor por metro cuadrado del terreno es más alto (\$1.865.151; \$1.722.170 y \$1,567,914 respectivamente) y en áreas cercanas a “TUNAL” “NQS SUR” y “CARRERA 10” en valor del metro cuadrado de terreno es menor.

Por otro lado, se evalúa que en la mayoría localizaciones (excepto “CALLE 80” y “AMERICAS”) cuanto más alejadas estén de la troncal más cercana, (o al pasar de un área de influencia de 0- 200 a una de 200-500) los precios del suelo son más bajos; y en las cercanías a troncales como “JIMENEZ” “AUTOPISTA” y “CALLE 26” la afectación es mayor. Lo anterior se describe en la siguiente tabla.

Tabla 3.1: Valor promedio de metro cuadrado de terreno.

Promedio de zhgvm2terr_ponder					
Troncal	Área de influencia	Total	Troncal	Área de influencia	Total
AMERICAS	buf200	\$1,242,155	CARRERA 3	buf200	\$1,195,366
	buf500	\$1,380,716		buf500	\$1,161,062
	Total	\$1,331,438		Total	\$1,172,497
AUTOPISTA	buf200	\$2,267,934	JIMENEZ	buf200	\$2,727,661
	buf500	\$1,865,151		buf500	\$1,118,712
	Total	\$1,987,077		Total	\$2,095,574
Calle 26	buf200	\$1,652,319	NQS CENTRAL	buf200	\$1,604,611

	buf500	\$1,263,250		buf500	\$1,567,914
	Total	\$1,406,591		Total	\$1,582,661
CALLE 80	buf200	\$1,397,020	NQS SUR	buf200	\$1,145,283
	buf500	\$1,400,673		buf500	\$1,113,118
	Total	\$1,399,326		Total	\$1,120,836
CARACAS	buf200	\$1,503,874	RAMAL TUNAL	buf200	\$649,307
	buf500	\$1,143,863		buf500	\$632,992
	Total	\$1,292,150		Total	\$636,799
Carrera 10	buf200	\$1,352,905	SUBA	buf200	\$1,860,237
	buf500	\$1,113,943		buf500	\$1,722,170
	Total	\$1,194,562		Total	\$1,771,118

Fuente: Elaboración propia a partir de datos espaciales suministrados por la Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital.

Por otro lado, al realizar el análisis por promedio de población y densidad de población en las mismas áreas de influencia mencionadas en el apartado anterior, se muestra como en cercanías a las troncales de “TUNAL” “NQS SUR” “AUTOPISTA” y “SUBA” el número promedio de habitantes por manzana es mayor, esto muestra que en general cuando existe una gran concentración de habitantes, los precios del suelo son más bajos; caso contrario ocurre en cercanías a troncales como “CARRERA 3”, “NQS CENTRAL”, “AMERICAS” y “JIMENEZ” en las cuales la concentración es más baja. Los análisis más detallados se podrán realizar a partir de la siguiente tabla:

Tabla 3.2: Datos de población.

Datos de Población							
Troncal	Área de influencia	Prom población	Prom dens_pob	troncal	Área de influencia	Prom población	Prom dens_pob
AMERICAS	buf200	121	152.45	CARRERA 3	buf200	1206	31.86
	buf500	180	140.50		buf500	88	46.23
	Total	159	144.57		Total	461	41.20
AUTOPISTA	buf200	289	252.44	JIMENEZ	buf200	135	40.19
	buf500	275	115.04		buf500	181	103.15
	Total	279	156.85		Total	153	65.84
Calle 26	buf200	157	87.61	NQS CENTRAL	buf200	191	133.79
	buf500	191	113.73		buf500	116	105.05
	Total	178	104.00		Total	146	116.08
CALLE 80	buf200	194	135.44	NQS SUR	buf200	297	104.96
	buf500	207	197.04		buf500	200	124.01
	Total	202	175.62		Total	223	119.46

CARACAS	buf200	193	92.36	RAMAL TUNAL	buf200	350	110.67
	buf500	179	127.97		buf500	452	146.93
	Total	185	113.19		Total	428	137.41
Carrera 10	buf200	181	70.39	SUBA	buf200	280	96.61
	buf500	155	104.46		buf500	217	117.52
	Total	164	92.67		Total	239	110.35

Fuente: Elaboración propia a partir de datos espaciales suministrados por la Secretaría Distrital de Planeación.

Adicionalmente se incluyeron datos del promedio de personas empleadas por manzana, quienes estarían interesados a un acceso cercano a una estación para desplazarse a lugar de trabajo, encontrando que en troncales como “CARRERA 3”, “CALLE 26”, “JIMENEZ” y “CARRERA 10”; presentan un mayor número de personas empleadas; caso contrario en cercanías a troncales como “TUNAL” “CALLE 80”, “NQS SUR” y “CALLE 26” en donde presentan un menor número de personas empleadas.

Tabla 3.3: Datos de empleo.

Datos de empleo							
Troncal	Área de influencia	Promedio de tot_est_mz	Prom de tot_emp_mz	troncal	Área de influencia	Promedio de tot_est_mz	Prom tot_emp_mz
AMERICAS	buf200	16	86.50	CARRERA 3	buf200	19	420.00
	buf500	14	61.70		buf500	9	74.31
	Total	15	70.38		Total	13	195.30
AUTOPISTA	buf200	14	108.67	JIMENEZ	buf200	68	215.67
	buf500	9	61.52		buf500	20	76.18
	Total	11	75.78		Total	49	159.54
Calle 26	buf200	23	235.87	NQS CENTRAL	buf200	15	89.06
	buf500	11	52.19		buf500	15	79.98
	Total	16	120.34		Total	15	83.56
CALLE 80	buf200	15	96.25	NQS SUR	buf200	11	63.25
	buf500	8	44.40		buf500	10	47.91
	Total	11	63.32		Total	10	51.48
CARACAS	buf200	21	149.37	RAMAL TUNAL	buf200	16	57.90
	buf500	11	53.45		buf500	16	39.92
	Total	15	93.14		Total	16	44.42
Carrera 10	buf200	38	163.75	SUBA	buf200	14	75.55
	buf500	13	65.47		buf500	11	68.13
	Total	22	98.46		Total	12	70.76

Fuente: Elaboración propia a partir de datos suministrados por la Secretaria Distrital de Planeación

4. Metodología

4.1 Datos Utilizados.

Determinada la distribución de las estructuras del Sistema de Transporte masivo y consigo la dinámica de influencia en la Ciudad, se hallaron las variables que influyen en los precios del suelo para el año 2016. Para la construcción de estas variables se usaron los datos de la base de Catastro Distrital, la base de Infraestructura de datos espaciales para el Distrito Capital [IDECA], las bases espaciales de Transmilenio, la información alfanumérica de la Secretaría de Planeación Distrital, y el inventario del sistema vial del Instituto de Desarrollo Urbano [IDU].

Con esta información cartográfica vigente a 2016, se construyen las variables de corte transversal (debido a la inexistencia de datos espaciales o alfanuméricos que permitieran la configuración de datos tipo panel) para la totalidad de las manzanas del área urbana de Bogotá; en el caso de las variables referentes a las distancias, se utiliza el software ArcGis, el cual permite calcular las distancias Euclidianas de cada manzana al punto o polígono más cercano en el plano; estos puntos y polígonos representan la ubicación en el plano de las vías, las paradas del SITP, los parques, etc. ArcGis también es utilizado para calcular las áreas de influencia de las estaciones mediante el desarrollo de buffer con respecto al polígono; las variables utilizadas se describen a continuación:

Tabla 4.1: Variables del modelo⁹.

Variable	Descripción
Valor del terreno	Corresponde al logaritmo natural del valor comercial del metro cuadrado de terreno ponderado por área de cada predio en la manzana ¹⁰
Densidad de población	Corresponde al logaritmo natural del índice de población de la manzana
Servicios públicos	Corresponde al logaritmo natural del índice de servicios públicos de la manzana
Educación	Corresponde al logaritmo natural del índice de educación de las personas que conforman la manzana
D. Transmilenio	Corresponde al logaritmo natural de la distancia Euclidiana mínima de la manzana a la boca de una estación o una parada de Transmilenio
D. SITP	Corresponde al logaritmo natural de la distancia Euclidiana mínima de la manzana a una parada del SITP (incluyendo servicio urbano, especial, complementario)
D. alimentador	Corresponde al logaritmo natural de la distancia Euclidiana mínima de la manzana a una parada de alimentador
D. centralidad	Corresponde al logaritmo natural de la distancia Euclidiana mínima de la manzana a una centralidad de Bogotá calculada mediante la metodología de Guillian y Small
D. vía arterial	Corresponde al logaritmo natural de la distancia Euclidiana mínima de la manzana a una vía arterial
D. vía troncal	Corresponde al logaritmo natural de la distancia Euclidiana mínima de la manzana a una vía troncal
No. pisos	Corresponde al logaritmo natural del promedio del número de pisos de la manzana
Población	Corresponde al logaritmo natural de la población de la manzana
Sitios de interés	Corresponde al logaritmo natural de la primera componente principal de las distancias Euclidianas mínimas de la manzana a cada uno de los puntos de sitios de interés definidos por IDECA.
Educación	Corresponde a la distancia Euclidiana de la manzana al establecimiento educativo más cercano de la base de sitios de interés de la IDECA.
Entretenimiento	Corresponde a la distancia Euclidiana de la manzana al establecimiento de entretenimiento más cercano de la base de sitios de interés de la IDECA

⁹ Los estadísticos descriptivos de las variables se encuentran en el Anexo 1 – Estadísticos descriptivos de las variables de análisis.

¹⁰ Esta variable corresponde al valor de las zonas homogéneas Geoeconómicas las cuales son el proceso por el cual se establece, a partir de puntos de investigación económica dentro de las zonas homogéneas físicas, el valor en el mercado inmobiliario para los terrenos ubicados en ellas.

Comerciales y de abastecimiento	Corresponde a la distancia Euclidiana de la manzana al establecimiento comerciales y de abastecimiento más cercano de la base de sitios de interés de la IDECA
Infraestructura civil	Corresponde a la distancia Euclidiana de la manzana al establecimiento de infraestructura civil (Edificios de política, edificios de justicia, edificios civiles) de infraestructura más cercano de la base de sitios de interés de la IDECA
Salud	Corresponde a la distancia Euclidiana de la manzana al establecimiento de salud más cercano de la base de sitios de interés de la IDECA
Religioso	Corresponde a la distancia Euclidiana de la manzana al establecimiento religioso más cercano de la base de sitios de interés de la IDECA
Transporte	Corresponde a la distancia Euclidiana de la manzana al establecimiento de transporte (Terminales) más cercano de la base de sitios de interés de la IDECA
estrato	Corresponde al estrato predominante de la manzana
Área de influencia 200 mts.	Corresponde al logaritmo de la distancia de las manzanas que se encuentran a menos de 200 metros de una boca de una estación de Transmilenio
Área de influencia 500 mts.	Corresponde al logaritmo de la distancia de las manzanas que se encuentran a más de 200 metros y menos de 500 metros de una boca de una estación de Transmilenio
Área de influencia 1000 mts.	Corresponde al logaritmo de la distancia de las manzanas que se encuentran a más de 500 metros y menos de 1000 metros de una boca de una estación de Transmilenio
Área de influencia más de 1000 mts.	Corresponde al logaritmo de la distancia de las manzanas que se encuentran a más de 1000 metros de una boca de una estación de Transmilenio
D. Estrato 0	Corresponde al logaritmo de la distancia mínima a una boca de una estación de Transmilenio de las manzanas que son estrato 0
D. Estrato 1	Corresponde al logaritmo de la distancia mínima a una boca de una estación de Transmilenio de las manzanas que son estrato 1
D. Estrato 2	Corresponde al logaritmo de la distancia mínima a una boca de una estación de Transmilenio de las manzanas que son estrato 2
D. Estrato 3	Corresponde al logaritmo de la distancia mínima a una boca de una estación de Transmilenio de las manzanas que son estrato 3
D. Estrato 4	Corresponde al logaritmo de la distancia mínima a una boca de una estación de Transmilenio de las manzanas que son estrato 4
D. Estrato 5	Corresponde al logaritmo de la distancia mínima a una boca de una estación de Transmilenio de las manzanas que son estrato 5
D. Estrato 6	Corresponde al logaritmo de la distancia mínima a una boca de una estación de Transmilenio de las manzanas que son estrato 6

Fuente: Elaboración propia.

Un problema fundamental en los modelos que involucran datos multivariados consiste en lograr disminuir su dimensionalidad. En este sentido se busca un método o técnica que permita reflejar con precisión los valores de un número de variables p en un conjunto de variables menor con una mínima pérdida de información.

En este escenario, la técnica de *Análisis de Componentes Principales* [ACP], facilita la representación óptima de un amplio número de observaciones en un grupo de datos más reducido; esto mediante la transformación de variables inicialmente correlacionadas en un menor número de variables intercorrelacionadas. Araque (2016) describe esta técnica como aquella que “... *permite resumir la información contenida en las variables y facilitar su análisis. El ACP transforma un conjunto de variables originales en un conjunto de variables no correlacionadas denominadas componentes principales resultado de la combinación lineal de las variables originales*” (p. 4).

Los componentes de dicha técnica se derivan de la matriz de correlaciones o de las covarianzas, el primero se usa fundamentalmente en el caso en el que las variables tomen la misma importancia, y el segundo cuando se quiera discriminar variables acorde a su grado de variabilidad.

La estructura del ACP parte de una matriz de datos aleatorios X con n observaciones y p variables (Johnson, & Wichern, 2001):

$$X_{np} = [X_1 \ X_2 \ X_3 \ \cdots X_{p-1} \ X_p] \quad (4.1)$$

La matriz de varianzas y covarianzas Φ y la matriz de correlaciones ρ configuran la base de la técnica ACP. Partiendo del vector de raíces características λ y la matriz de vectores propios E y el conjunto de combinaciones lineales se conforma el vector de componentes principales z , donde los coeficientes se determinan mediante las ponderaciones determinadas así:

$$r_{x_i y_i} = \frac{a_{ki} l_k}{\sqrt{s_{ii}} \sqrt{l_k}} = \frac{a_{ki} \sqrt{l_k}}{\sqrt{s_{ii}}} \quad (4.2)$$

Dichas ponderaciones permiten evidenciar el grado de asociación de cada variable con la componente principal. La transformación ortogonal $z = E'X$ permite realizar el cálculo de cada componente, determinados los valores y vectores propios, ya sea de la matriz de correlaciones o de la matriz de varianzas y covarianzas, se determinan la razones entre los vectores propios y la sumatoria de los mismos, con el fin de determinar la proporción de la varianza que es explicada por la k-ésima componente, en donde la sumatoria acumulada de cada razón muestra la proporción agregada del conjunto de componentes mostrando así el número de componentes que se tornan relevantes.

En términos gráficos, este análisis parte de una nube de puntos, a los cuales les aplica una rotación en los ejes con el objetivo de determinar la máxima variabilidad de los datos, identificando así los gradientes mas importantes (Araque, 2016)

Figura 4.1: Transformación ejes en el centroide [ACP].

Fuente: Tomado de Palmer, (2017)

En la Figura 4.1 se parte de una nube de puntos formadas por tres variables, en la cual se aprecia que la variable x_2 toma valores negativos con el fin de mostrar que es

indiferente la escala inicial de las variables. En la imagen de la derecha, se aprecia como la transformación aplicada, (en este caso la división en la desviación estándar a la resta de la observación menos la media) ocasiona que el centroide de todos los datos se convierta en cero, estandarizando de esta manera la información. Dicha modificación permite la identificación de un gradiente en el cual x_1 y x_2 aumentan conjuntamente, lo que implica que existe información redundante entre las variables.

Según este análisis, el ACP traza una línea por dicho gradiente permitiendo seleccionar el eje que posibilite la disminución de la distancia al cuadrado de cada punto a la línea, seleccionando el primer eje de la ACP; el segundo eje presenta el mismo comportamiento, pero este debe estar completamente no correlacionado con el anterior, esto quiere decir que se localiza ortogonalmente al primer eje.

Figura 4.2: Transformación ACP.

Fuente: Tomado de Palmer, (2017)

Para este caso, la variable x_3 no aparece en la figura anterior debido a que esta no presenta asociación con las demás variables, si esto no fuera así, aparecería como otro eje ortogonal que pasa por el centroide de los datos. Es de rescatar que la longitud está

enmarcada por la variabilidad de la información, la cual se determina por la raíz característica de la matriz X .

Con la aplicación del ACP en esta investigación, se logra generar una variable resumida que captura la influencia que tienen los equipamientos y sitios de interés¹¹ de la ciudad (parques, centros comerciales, zonas de comercio, universidades, etc.) en la formación de precios. Para la construcción de esta variable se calculan las distancias a cada uno estas localizaciones creando la variable “Sitios de interés”, para la cual, se tuvo en cuenta el siguiente proceso:

Tabla 4.2: Análisis de componentes principales de la variable sitios de interés.

Principal components/correlation	Number of obs = 43,811
Number of comp. = 7	Trace = 7
Rotation: (unrotated = principal)	Rho = 1.0000

Componente	Valor propio	Proporción		Variable	Vectores propios
Comp1	4,69	0,67		Educación	0,33
Comp2	0,92	0,13		Entretenimiento	0,33
Comp3	0,45	0,06		Comerciales y de abastecimiento	0,41
Comp4	0,42	0,06		Infraestructura civil	0,42
Comp5	0,25	0,03		Salud	0,39
Comp6	0,13	0,01		Religioso	0,42
Comp7	0,12	0,01		Transporte	0,28

Fuente: Elaboración propia.

¹¹ Los sitios de interés son determinados por la Infraestructura de Datos Espaciales del Distrito Capital [IDECA].

Este proceso integra las variables distancias mínimas a los sitios de interés de educación, entretenimiento, sitios comerciales y de abastecimiento, a la infraestructura civil, a los sitios de salud, a los sitios religiosos y a los de infraestructura de transporte. En el análisis de componentes principales, la primera raíz característica toma un valor de 4.6937 y la segunda 0.92101, razón por la cual se puede hablar de correlación en las variables; a su vez la primera componente asociada, determina el 67% de la variabilidad de los datos. Los diferentes coeficientes indican el peso de cada variable, esto indica que las distancias a los puntos de religión representan un mayor peso relativo y los puntos de transporte reflejan un menor peso. Por lo tanto, la ecuación que describe la variable sitios de interés estará representada por:

$$acp_{sitios}: 0.3366 * Educación + 0.3381 * Entretenimiento + 0.4160 * \\ Comerciales\ y\ de\ abastecimiento + 0.4239 * Infraestructura\ civil + \\ 0.3939 * Salud + 0.4256 * Religioso + 0.2885 * Transporte \quad (4.3)$$

Determinada esta variable, se incluye en la estimación de los precios del suelo de la ciudad de Bogotá, la cual se desarrolla en la siguiente sección.

4.2 Estimaciones modelo de precios del suelo.

Una vez calculadas las variables a usar en el modelo de precios del suelo, se procede a estimar: i) un modelo general para toda la ciudad, ii) un modelo desagregado por estratos y, iii) un modelo desagregado por áreas de influencia; obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 4.3: Modelos de precios del suelo.

Observaciones	38178	38167	38178
F (13,38164)	3265,20	3433,88	2695,49
Prob> F	0	0	0
R-cuadrado	0,56986	0,6132	0,5657
Raíz MSE	0,5453	0,51697	0,54484
Regresión robusta del valor del logaritmo natural del metro cuadrado de terreno- ZHGE			
Modelo	General	Por estratos	Por áreas de influencia
Variable	coeficiente/ Error	coeficiente/ Error	coeficiente/ Error
Densidad de población	-0,171*** (0,008)	-0,1386*** (0,007)	-0,1620*** (0,0079)
Servicios públicos	0,137*** (0,014)	0,1145*** (0,011)	0,1311*** (0,0138)
Educación	0,040*** (0,009)	0,030*** (0,007)	0,0376*** (0,0091)
D. Transmilenio	-0,063*** (0,009)		
D. SITP	0,039*** (0,001)	0,0019** (0,0009)	0,0033** (0,001)
D. alimentador	-0,005*** (0,001)	0,00117* (0,009)	-0,0043 (0,001)
D. centralidad	-0,002*** (0,0002)	-0,0029*** (0,0002)	-0,0022*** (0,0002)
D. vía arterial	-0,003* (0,001)	-0,0017 (0,0015)	-0,0032* (0,0016)
Empleo	0,014*** (0,0002)	0,0035*** (0,0002)	0,0043*** (0,0002)
No. Pisos	0,004*** (0,001)	0,0108*** (0,0012)	0,0080*** (0,0011)
Población	-0,012*** (0,0005)	-0,009*** (0,0005)	-0,0118*** (0,0004)

Sitios de interés	-0,341*** (0,013)	-0,2728*** (0,101)	-0,2615*** (0,0112)
estrato	0,291*** (0,004)	0,1577** (0,054)	0,2858*** (0,0039)
D. Estrato 0		-0,055*** (0,039)	
D. Estrato 1		-0,111*** (0,018)	
D. Estrato 2		-0,032*** (0,012)	
D. Estrato 3		-0,00265* (0,014)	
D. Estrato 4		-0,00152 (0,0021)	
D. Estrato 5		0,007 (0,0063)	
D. Estrato 6		0,111 (0,029)	
Área de influencia 200 mts.			-0,0373*** (0,0124)
Área de influencia 500 mts.			-0,0442*** (0,01011)
Área de influencia 1000 mts.			-0,0395*** (0,0103)
Área de influencia más de 1000 mts			-0,057*** (0,0089)
Constante	16,31*** (0,9667)	15,80 *** (0,0846)	16,66*** (0,0969)

Fuente: Elaboración propia.

Nota: *** p < 0.01, ** p < 0.05, * p < 0.1

4.2.1 Análisis e interpretación.

En la primera estimación se puede apreciar que entre más alta es la densidad de población, el precio del metro cuadrado del terreno es más bajo, esto de acuerdo con la teoría y la evidencia empírica, que muestra que las zonas altamente pobladas presentan precios del suelo menores. A su vez, se puede ver que los predios con índices de servicios públicos altos, presentan un mayor precio del suelo, esto se da en función al desarrollo urbanístico y la cobertura de los mismos, el índice de educación que funciona como una proxy del ingreso muestra que los hogares en los cuales el cabeza de hogar tiene mayor nivel de escolaridad se localizan en las zonas de la ciudad con mayores precios del suelo. Así mismo, en el caso del promedio de pisos, variable que funciona como proxy de la edificabilidad se puede notar que, al aumentar el número promedio de pisos, dichas localizaciones reflejan un precio más alto.

En cuanto a las características dotacionales, se puede evidenciar que la elasticidad precio de la distancia a una estación del Transmilenio es del 0,063%. Este aspecto es fundamental dado que evidencia que los hogares y las empresas están dispuestas a asumir mayores precios del suelo por la disponibilidad y cercanía a una estación del sistema, estos pagos son derivados de las ventajas anteriormente mencionadas que obtienen los predios que se encuentran en dichas localizaciones.

Con respecto a la distancia a la centralidad se encuentra que conforme se aleja la localización del centro de negocios o de los diferentes subcentros, el precio del suelo es menor, esto valida la hipótesis de que Bogotá, funciona como una ciudad policéntrica y las preferencias por dichas localizaciones.

La importancia de los sitios de interés en los precios del suelo es altamente representativa, su coeficiente indica la importancia en el precio del suelo, así mismo es esencial analizar la preferencia que tienen los hogares por localizaciones cercanas a paradas de alimentador, vías articuladas, dado que, al aumentar la distancia a las mismas, los precios del suelo son menores.

Con relación a la segunda estimación, está muestra información importante de la valoración en términos de distancia a las estaciones de Transmilenio por estratos. En la estimación encontramos que en el estrato 1 la elasticidad precio de la distancia a la estación es de un 11,1%, frente a un 3.2% del estrato 2. Como se puede observar, el impacto de la distancia a las estaciones de Transmilenio, en los precios del suelo es negativo y significativo para los estratos menores al tres, lo cual muestra la importancia que tienen los servicios de transporte público en los estratos bajos y cómo esta importancia se traduce en un aumento de la renta ofrecida por localizaciones cercanas a dicho servicio.

Estas diferencias en la elasticidad por estratos muestran cómo los agentes, ante la dificultad que se tiene de comprar vehículos de uso privado, tratan de disminuir los costos de transporte mediante localizaciones cercanas al sistema. De igual manera permite evidenciar que los estratos altos viven en sitios de mejor accesibilidad, rodeados de mejores condiciones urbanas y de actividades económicas, en estos la estación no discrimina, como ocurre con los hogares de bajos ingresos donde el acceso al sistema de transporte marca la diferencia.

Frente a la estimación por áreas de influencia se observa que el efecto de la distancia en los precios del suelo no es homogéneo, y esta varía acorde a su cercanía y a las externalidades tanto positivas como negativas que generen dichas localizaciones, en el caso del área de influencia, de 0 a 200 mts, encontramos que la elasticidad es 3,7%, dicha localización se ve demandada fundamentalmente por los negocios que encuentran más atractivo el flujo peatonal que genera el sistema en sus proximidades inmediatas, sobre la contaminación tanto ambiental como auditiva que generan el mismo.

Las localizaciones que se encuentran entre los 200 y 500 metros, presentan una elasticidad de 4,4%, cifra mayor a las localizaciones inmediatas al sistema, este incremento se ve explicado debido a que los agentes, aunque desean disminuir los costos de transporte, no están dispuestos a asumir los costos del ruido que generan las localizaciones inmediatas a la troncal, es por eso que optan por localizaciones cercanas (pero no inmediatas).

4.2.2 Detección de autocorrelación espacial.

Una vez estimados los modelos, se hace necesario determinar si estos presentan problemas de autocorrelación espacial, para realizar esto se usa un estadístico univariante el cual permita determinar este problema de dependencia a nivel global, en términos globales este indicador usa la información de la totalidad de los datos con el fin de determinar un valor promedio del espacio geográfico.

El estadístico más usado para la detección de este problema es el estadístico de la I de Moran (1950):

$$I = \frac{n}{S_0} * \frac{\sum_i \sum_j (y_i - \bar{y}) w_{ij} (y_j - \bar{y})}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad (4.4)$$

En donde, W es la matriz de pesos espaciales, y cada elemento de W , w_{ij} , es denominado peso espacial, los cuales permiten determinar las vecindad espacial de las observaciones, así mismo, n es el tamaño muestral y N la población, $\bar{y}$ la media de la muestra y $S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} = 1'W1$, siendo 1 un vector $(n * 1)$ de unos (cita).

Dicho índice toma valores que van desde -1 hasta 1, los valores cercanos a 1 indican autocorrelación positiva, indicando que los valores de determinada observación y sus vecinos son similares, si la índice toma valores cercanos a -1, indica autocorrelación negativa, lo que representa que los valores de la observación son bajos cuando sus vecinos presentan valores altos, como lo aborda Herrera (2015), tomando que la variable y se distribuye normal, los momentos del estadístico son:

$$E[I] = -\frac{1}{n-1} \quad (4.5)$$

$$V[I] = \frac{(3S_0^2 + S_1 n^2 - n S_2)}{S_0(n+1)(n-1)} - \frac{1}{(n-1)^2} \quad (4.6)$$

Donde $S_1 = (1/2) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (w_{ij} + w_{ji})^2$ y $S_2 = \sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^n w_{ij} + \sum_{j=1}^n w_{ji})^2$, esto implica que bajo normalidad, los momentos están determinados por los elementos que conforman la matriz espacial y su distribución asintótica es normal:

$$\sqrt{n}[I - E(I)] \sim N[0; V(I)] \quad (4.7)$$

Por consiguiente, se estima la I de Moran para el valor comercial del metro cuadrado de terreno de las manzanas del área urbana de la ciudad de Bogotá, mediante el criterio de contigüidad tipo reina, la cual toma como referente de análisis en un mapa de cuadrícula regular a todos los polígonos que comparten límite; es de resaltar que también existen los criterios de Torre y Alfil, que toman en cuenta los vecinos al norte-sur y este-oeste y vecinos al noreste-suroeste y noroeste-sureste respectivamente, aunque se resalta que el criterio tipo reina realiza un análisis más exhaustivo.

Figura 4.3: I de Moran para el valor del metro cuadrado de terreno.

Fuente: Elaboración propia, a partir de los datos suministrados por la Unidad Administrativa Especial Catastro Distrital.

El valor estimado en la parte izquierda (Indicador calculado con orden de contigüidad de 1) muestra una autocorrelación positiva, aspecto que indica que los valores altos de precios del suelo en la ciudad se encuentran acompañados de vecinos con precios altos,

continuamente el valor calculado en la parte derecha, el cual fue calculado con un orden de contigüidad de 5 indica un menor grado de correlación espacial, aspecto que cumple con la ley de la geografía descrita por Tobler (1970) en la que indica que: *“todas las cosas están relacionadas entre sí, pero las cosas más próximas en el espacio tienen una relación mayor que las distantes”* (p. 236).

Determinada la autocorrelación espacial de la variable dependiente, se hace necesario analizar si esta es real o aparente, si esta es real es:

Debido a la propia estructura de difusión de la variable, o puede ser aparente, debido a la existencia de otras variables que pueden explicar la dependencia espacial detectada. Por lo tanto, incorporar variables explicativas puede generar que se reduzca o aún se anule la dependencia espacial de la variable dependiente. (Herrera, 2015, p. 24)

Para ello se hace necesario analizar si el término de error es independiente e idénticamente distribuido, esto quiere decir que el término de error no presenta autocorrelación espacial. De no ser así se hace necesario la inclusión de variables espaciales en la estimación.

Para tal fin se estima el test de la I de Moran para los residuos del modelo¹² bajo los mismos parámetros expuestos en la variable del metro cuadrado de terreno, obteniendo los siguientes resultados:

¹² Ver Cliff & Ord (1972).

Figura 4.4. I de Moran para los residuos del modelo.

Fuente: Elaboración propia, a partir de los datos suministrados por la Unidad Administrativa Especial Catastro Distrital.

Conforme a que el test de la I de Moran, no se rechaza la hipótesis nula, existe evidencia que afirma que no se hace necesario incluir elementos espaciales, esto debido a que la autocorrelación espacial que presenta la variable dependiente “valor comercial del metro cuadrado de terreno” es aparente, es decir que no solo es explicada por la estructura de difusión de la variable, sino que las variables abordadas en términos de localización en el modelo, permiten explicar tanto la formación del valor, como la dependencia espacial detectada inicialmente, lo que afirma la viabilidad del modelo general no espacial estimado anteriormente.

Es importante aceptar que la asociación espacial podría cambiar los coeficientes, no obstante, también es importante dar alcance a la misma; aunque el valor de un atributo de una manzana puede estar asociado con el valor de las manzanas contiguas, es claro que aquí las variables “distancia a” capturan de cierto modo, la asociación de los atributos en el espacio. Por definición este modelo asume la asociación de los valores en el espacio y se incluyen en las variables de localización.

5. Conclusiones y recomendaciones

Una vez revisada la teoría económica y dada la evidencia empírica sobre proyectos de infraestructura de transporte, desarrollados por otros autores, tanto en el contexto nacional como internacional, se encontró que dichos proyectos afectan las dinámicas urbanas, traduciéndose esto, en incrementos en los precios del suelo. De tal forma, que estos incrementos se derivan de los beneficios que se obtienen por localizaciones cercanas o inmediatas a los proyectos de infraestructura, anteriormente señalados.

Es importante señalar, que entre las ventajas positivas que generan estos proyectos y que configuran las disponibilidades a pagar por dichas localizaciones, se encuentran: disminuciones en los tiempos de viaje, integración entre las zonas de las periferias y los centros de negocio, mejoramiento del paisaje urbanístico, mejores ganancias y oportunidades de negocio, entre otras. Sin embargo, las ventajas positivas tienen una influencia diferencial dependiendo del estrato socioeconómico del sector y de la proximidad al punto nodal.

En ese orden de ideas, para estimar los cambios en los precios del suelo ocasionados por la cercanía al Sistema de Transporte masivo de transporte de Bogotá, se abordó el modelo de Precios Hedónicos; de acuerdo a los planteamientos iniciales planteados por Rossen (1974), teniendo en cuenta, que este modelo permite valorar indirectamente los bienes de no mercado a través del análisis de un bien de mercado, mediante el cálculo de las demandas implícitas para cada uno de los atributos en que se desagrega dicho bien.

Con ese propósito, se estimó un modelo de precios del suelo en la Ciudad de Bogotá en función de variables estructurales, socioeconómicas y de localización. Para ello se calcularon las variables a nivel de manzana, encontrando que algunas variables como el

índice de servicios públicos, índice de educación, promedio de número de pisos y estrato socioeconómico predominante, presentan una influencia positiva en los precios del suelo; indicando que, si aumenta alguna de estas variables, el precio del suelo se es mayor.

En contraste con lo que ocurre con variables como: las distancias de cada manzana a una parada de alimentador, a una centralidad, a una vía arterial, a una vía troncal, a sitios de interés, y el aumento de la densidad poblacional, evidenciando que, frente a un aumento en alguna de estas variables, el precio del suelo es menor.

Con respecto a la influencia de las estaciones de Transmilenio en los precios del suelo, se encontró una relación inversa entre estas; lo que indica que, a mayor distancia entre un predio y una estación, el precio del suelo de dicho predio es más bajo. Tal disminución no es homogénea a lo largo del sistema (Ver Anexo 2) ni tampoco es lineal en términos de distancia, en consecuencia, se realizó un modelo desagregado en términos de estratos socioeconómicos y otro por áreas de influencia, con el fin de determinar la curva de impacto.

El modelo desagregado a nivel socioeconómico presenta que la distancia a las estaciones de Transmilenio en los estratos 1 y 2, generan un impacto en los precios del suelo mayor, esto como resultado de la reducida capacidad de pago de los hogares localizados en dichos estratos y de la incapacidad de tomar medios alternativos de transporte como el automóvil y el taxi. En otras palabras, entre más bajo es el estrato socioeconómico, la preferencia por la cercanía a una estación es mucho más alta.

En relación al análisis realizado por áreas de influencia, desagregadas en distancias de 200, 500, 1000 y más de 1000 metros a la estación de Transmilenio, se encuentra que el mayor impacto en los precios del suelo se da en el segundo anillo (de 200 a 500 metros), lo que quiere decir que los agentes aunque prefieren ubicarse cerca de las estaciones de Transmilenio, no están dispuestos a soportar los costos del ruido y la contaminación generados por el sistema; es decir, que buscan localizarse en áreas cercanas al acceso del

Transmilenio, pero no inmediatas. Estas últimas han sido aprovechadas por el sector comercio que buscan localizaciones con alto flujo peatonal.

Finalmente, y en concordancia con los resultados encontrados, se recomienda que en futuras investigaciones ya sea el caso de Bogotá u otras ciudades, los diferentes organismos públicos o privados generen datos más detallados de las características propias de cada manzana, entre ellas información más completa y desagregada en términos de población, empleo, calidad ambiental y cambio histórico de uso del suelo contemplando el desarrollo de nueva infraestructura.

Así mismo es fundamental analizar el histórico de los precios del suelo, no solo en un año anterior a la ejecución del proyecto, sino antes del trazado del diseño, puesto que una vez es conocido, empiezan a darse las dinámicas especulativas sobre el terreno y las transformaciones de las variables mencionadas.

Anexo A: Estadísticos descriptivos de las variables de análisis.

Estadísticos descriptivos				
Variable	Media	Desviación Estándar	Máximo	Mediana
ZHGVM2TERR_prom	941.922,48	810.759,53	25.600.000,00	840.000,00
Densidad de población	201,60	1.155,93	96.366,92	144,25
Ind_ser_pub	81,79	134,14	5.207,64	55,90
Ind_educa	29,20	46,44	1.895,61	21,14
dist_trami7	1.398,96	1.540,02	66.237,10	1.130,89
dist_sitp	122,72	982,21	59.504,15	76,09
dist_alime	1.005,19	1.685,55	59.906,91	357,65
dist_centG&S	1.789,55	1.960,98	67.595,32	1.342,53
dist_Vart	237,79	930,01	55.799,25	159,10
dist_Vtronc	1.456,99	1.608,13	66.428,66	1.176,28
Ave_PISOS	2,77	6,40	99,00	1,58
ind_pob	53,95	77,65	3.313,00	40,00
dist_educa	306,92	408,70	18.218,24	234,04
dist_entre	2.406,50	2.145,33	66.282,42	1.819,31
dist_estab	945,90	1.358,80	64.534,03	644,23
dist_infra	802,41	1.132,56	59.940,51	648,90
dist_relig	535,41	987,56	56.224,89	427,97
dist_salud	959,00	1.120,37	55.872,57	783,40
dist_transporte	4.456,64	2.946,60	70.863,50	3.963,19
acp_sitios	3.541,94	2.943,35	145.970,44	3.066,47
estrato	2,00	1,34	6,00	2,00

Fuente: Elaboración propia

Anexo B: Estimación del precio del suelo por troncal

Con el fin de mostrar la heterogeneidad de los precios del suelo realizamos un gráfico Boxplot con los precios del suelo de las manzanas asociadas a cada troncal de Transmilenio, el criterio de asociación se da con respecto a la distancia mínima de cada manzana a la respectiva troncal.

Figura B.1: Precios del suelo por troncal.

Fuente: Elaboración propia a partir de la información proporcionada por Catastro Distrital.

Así mismo se estima el modelo por cada una de las troncales de Transmilenio:

l zhgvm2terr ~r	Coef.	Robust Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
Servicios públicos	-.134046	.0067625	-19.82	0.000	-.1473007	-.1207913
Educación	.0961135	.0119336	6.05	0.000	.0727233	.1195038
D. Transmilenio	.0434648	.0090677	4.76	0.000	.0256526	.0612769
D. SITP	-.0556036	.0136669	-4.02	0.000	-.0630264	-.0285812
D. alimentador	.0047512	.0009566	4.96	0.000	.0026723	.0066302
D. centralidad	-.005523	.0010269	-5.37	0.000	-.0075397	-.0035064
D. vía arterial	-.0022991	.0002469	-9.24	0.000	-.002767	-.0018111
D. vía troncal	-.0010136	.0014763	-0.69	0.492	-.0039072	.0016601
No. Pisos	-.0201476	.006746	-2.30	0.021	-.03729	-.0030053
Población	.0065279	.0011917	5.48	0.000	.0041922	.0086636
Sitios de interés	-.0063065	.0004934	-16.84	0.000	-.0092735	-.0073395
Servicios públicos	-.3766067	.012056	-31.40	0.000	-.4022369	-.3549786
estrato	.246361	.0040005	62.09	0.000	.2405399	.256222
t autopista	.0372162	.001861	20.00	0.000	.0335667	.0406638
t américas	.0465703	.0017752	26.23	0.000	.043091	.0500497
t calle 26	.0293434	.0020974	13.99	0.000	.0252325	.0334543
t calle 60	.0556473	.0020263	27.46	0.000	.0516757	.0596169
t caracas	-.027391	.0017328	-15.81	0.000	-.0307874	-.0239947
t carrera10	-.0317092	.0020239	-15.67	0.000	-.0356761	-.0277423
t carrera3	-.0242746	.0167963	-1.29	0.197	-.0611159	.0125668
t Jiménez	-.1116903	.0066395	-16.85	0.000	-.1249036	-.0986766
t nqscentral	.0246967	.0024369	10.14	0.000	.0199223	.0294751
t nqssur	-.0269195	.0019555	-13.77	0.000	-.0307524	-.0230666
t ramaltunal	-.0729622	.0066923	-8.21	0.000	-.0904114	-.055553
t suba	.02499	.0026257	9.52	0.000	.0196435	.0301364
Empleo	.0048704	.000227	21.45	0.000	.0044254	.0053154
cons	1.675.164	.0660284	190.30	0.000	165.791	1.692.418

Fuente: Elaboración Propia.

Bibliografía

- Abramo, P. (2001). *Mercado y orden urbano: del caos a la teoría de la localización*. Brasil: Bertrand brasil.
- Allen C. Goodman (1998). *Andrew Court and the Invention of Hedonic Price Analysis*. *Journal of Urban Economics*: 44, 291-298 1998.
- Alonso W. (1960) A theory of the urban land market. *Papers and Proceedings Regional Science Association*, 6, 149 - 157.
- Araque, A. & Vizcaino, J. (2009). Las centralidades en el POT: aproximación desde el empleo. Instituto de Estudios Urbanos - IEU, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Recuperado el 13 de Febrero de 2017, de <http://institutodeestudiosurbanos.info/descargasdocs/eventos/seminarios-de-investigacion-urbano-regional-aciur/memorias-viii-seminario-aciur-2009/mesas-tema>
- Araque, A. (2016). Evaluación del efecto del anuncio de proyecto de la PLMB sobre los precios del suelo en Bogotá 2009-2015. Bogotá, Colombia, Manuscrito no publicado.
- Araque, A., Gutiérrez, J. & Quenguan, L. (2017). *El espacio público en la Ciudad: Una aproximación desde los precios hedónicos*. Revista sociedad economía 33(2) , Cali, Colombia.
- Aurenhammer, F. (1991). Diagramas de Voronoi-una encuesta de una estructura de datos geométricos fundamentales. *ACM Computing Surveys [CSUR]*, 23(3), 345-405.
- Azqueta, D. (1994). *Valoración Económica de la Calidad Ambiental*. Madrid, España: McGraw-Hill.
- 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*, 6(1), pag 195-228.
- Becerra, L. G. (2010). *Aproximaciones Microeconómicas en la Teoría de los lugares centrales de Christaller*. Tesis de Grado Maestría en Ciencias Económicas. Recuperada el 13 de Febrero de 2017, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/4747/1/luisguillermobecerravalbuena.2010.pdf>
- Bourdeau, L. & Huriot, J. M. (2004). *On poles and centers: Cities in the French style*. Recuperado el 12 de Octubre de 2016, de http://leg.u-bourgogne.fr/images/stories/pdf/doc_trav2004/e2004-07.pdf

- Cliff, A. & Ord, K. (1972). Testing for spatial autocorrelation among regression residuals. *Geographical Analysis*, 4(3), 267-284.
- Damm, D., Lerman, S. R., Lerner, E. & Young, J. (1980). Response of Urban Real State Values in Anticipation of the Washington Metro. *Journal of Transport Economics and Policy*, XIV(3), 315-336.
- Duque, J., Velásquez, H. & Agudelo, J. (2011). Infraestructura pública y precios de vivienda: una aplicación de regresión geoFiguramente ponderada en el contexto de precios hedónicos. *Ecos de Economía*, 15(33), 95-122.
- Fujita, M., Thisse, J. (2002). *Economics of agglomeration. Cities, industrial location and regional growth*. UK: Cambridge University Press.
- Fujita, M., (1989) *Urban Economic Theory: Land Use and City Size*. Cambridge University Press.
- Guiliano, G & Small, K. A. (1991). Subcenters in the Los Angeles region Region. *Regional Science and Urban Economics*, 21, 163-182.
- Herrera, M. (2015). Econometría espacial usando Stata. Breve guía aplicada para. *ECONPAPERS*, (13), 1-54.
- Johnson, R. y Wichern, D. (2001). *Applied Multivariate Statistical Analysis*. 5a Edición. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, Upper Saddle River.
- McMillen, D. & McDonald, J. (2002). Land Values in a Newly Zoned City. *The Review of Economic and Statistic*, 84(1), 62-72.
- Mendieta J, (2005). Manual de valoración económica de bienes no mercadeables. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia
- Mendieta, J. C. & Perdomo, J. A. (2007). *Especificación y estimación de un modelo de precios hedónico espacial para evaluar el impacto de Transmilenio sobre el valor de la propiedad en Bogotá*. Series Documentos del Centro de Estudios sobre Desarrollo Económico [CEDE]. Centro de Estudios sobre Desarrollo Económico. Bogotá, Colombia: 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. Institute for Housing and Urban Development Studies. Rotterdam: Erasmus University Rotterdam [EUR].
- Mendoza, A., (2012). *Análisis de las estaciones del metro de Madrid según la distribución horaria de los viajeros*. Tesis de Maestría en Tecnología de la Información Geográfica. Universidad Complutense de Madrid.
- Moran, P. (1950). *Notes on Continuous Stochastic Phenomena*. *Biometrika* 37(1): 17-23.
- Muñoz, B. (2001). Territorio, movilidad de mano de obra y formación del mercado de trabajo. El pensamiento económico espacial hasta la II Guerra Mundial. *Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, V(94), 84.

- Palmer, M. (2017). Análisis de componentes principales. Recuperado el 15 de junio de 2017 de <http://ordination.okstate.edu/PCA.htm>
- Perdomo, J.; Mendoza, C; Mendieta, J & Baquero, A. (2007). Study of the Effect of the TransMilenio Mass Transit Project on the Value of Properties in Bogotá, Colombia. Recuperado el 15 de junio de 2017 de http://teknidataconsultores.com/publicaciones_path_archivos13_wp---Perdomo-Transmilenio-LILP-2007_12.pdf
- Perdomo, J. A. (2010). Una propuesta metodológica para estimar los cambios sobre el valor de la propiedad: estudio de caso para Bogotá aplicando Score Matching y Precios Hedónicos Espaciales. *Lecturas de Economía*, (73), 49-65.
- Ricardo, D. (2003). *Principios de Economía Política y Tributación*. (P. De La Núñez & C. Rodríguez, Trads.). Madrid, España: Ediciones Pirámide. (Trabajo original publicado en 1817).
- Rodríguez, D. & Mojica, C. (2008). *Land Value Impacts of Bus: The Case of Bogotá's TransMilenio*. Cambridge, MA: Lincoln Institute of Land Policy, WP08-04.
- Rodríguez, D. & Targa, F. (2004). Value of accessibility to Bogota's Bus Rapid Transit System. *Transport Reviews*, 24(5), 587-610.
- Rosen, S. (1974). Hedonic Prices and Implicit Markets: Product Differentiation in Perfect Competition. *Journal of Political Economy*, (82)1, 34-55.
- Santana V. L. & Núñez C. L. (2011). Una aproximación hedónica al efecto de las preferencias por segregación en el precio del suelo urbano en Bogotá. *Equidad y Desarrollo*, (16), 139-162.
- Spengler, E. H. (1930). *Land Values in New York in Relation to Transit Facilities*. New York. Columbia University Press.
- Tobler, W. R. (1970). A computer movie simulating urban growth in the detroit region. *Economic geography*, 46, 234 - 240.
- TransMilenio. (2017). Plano de estaciones y portales de TransMilenio. Recuperado el 11 de abril del 2017, de http://www.sitp.gov.co/plano_de_estaciones_y_portales_de_transmilenio
- Vásquez, F., Cerda, A. & Orrego, S. (2007). *Valoración Económica del Ambiente*. Buenos Aires: Thomson Learning International.
- Vinha, K. (2005). *The Impact of the Washington Metro on Development Patterns*. PhD Dissertation. University of Maryland, College Park