

Un modelo espacial de precios hedónicos y calidad de vecindario: una aplicación para Medellín, Colombia

Mildrey Urrea
Nathalia Cárdenas Mazo
Asesor: Gustavo García
Universidad EAFIT
Escuela de Economía y Finanzas

Resumen. Este trabajo tiene como objetivo estimar un modelo espacial de precios hedónicos para calcular un índice de calidad del vecindario para Medellín. A partir de la metodología propuesta por Dubin (1992) se calcula la Calidad del Vecindario la cual surge como un residuo de aquellos aspectos que no vienen determinados por las variables estructurales de la vivienda, sino por aquellas variables inobservables propias del vecindario. Se utilizan datos georreferenciados de precios de arrendamiento entre 2018-2019 para la ciudad de Medellín. Los resultados mostraron que el mejor modelo espacial hedónico fue aquel que incluía dependencia espacial, tanto en la variable dependiente como en el error (SARAR). Respecto al índice Calidad de Vecindario obtenido se encuentra una alta heterogeneidad evidenciando que en sectores de altos arrendamientos existen tanto barrios buenos como malos y viceversa, lo cual es característico del actual desarrollo urbano de las ciudades en vías de desarrollo.

Palabras clave: modelo de precios hedónicos, calidad del vecindario, econometría espacial, Medellín.

Introducción

Estudiar la calidad del vecindario se hace importante para determinar cómo el entorno afecta los comportamientos de cada individuo en aspectos como educación, salud, oferta laboral, calidad de vida, aspectos psicológicos, productividad, diseño de políticas públicas, decisiones de inversión, entre otros.

Múltiples análisis realizados sobre Calidad del Vecindario son de carácter subjetivo, utilizando medidas de satisfacción y apego a los atributos del inmueble. Estas medidas son limitadas por las aspiraciones o expectativas del individuo, y como resultado no se logra una medida objetiva de la calidad del vecindario (Connerly y Marans, 1985). Estas limitaciones que imponen el análisis subjetivo crean la necesidad de desarrollar un cálculo cuantitativo. La literatura ha sugerido el

uso del modelo de precios hedónicos para determinar los precios de la vivienda (Palmquist, 2006). Los modelos de precios hedónicos consideran como determinantes del precio de la vivienda características estructurales de la misma. Lo anterior hace relevante los problemas de especificación del modelo vinculados con la omisión de variables relevantes. En consecuencia, autores como Dubin (1992) agrupan las especificaciones de las viviendas en características físicas.

La metodología tradicional no suele valorar la correlación espacial de los datos, implicando que se omita la misma como causa de la variabilidad de las observaciones. Además, no consideran la heterogeneidad espacial de los datos, significando que los valores de los parámetros pueden cambiar en el espacio (Anselin, 1988). Los aspectos mencionados representan un problema debido a

que no se está reflejando la variabilidad espacial de los datos empleados.

Esta perspectiva se ha empleado a través del tiempo por diversos autores con el fin de cuantificar una proxy de la calidad del vecindario. Por ejemplo, la relación de los efectos del vecindario con los precios de la vivienda (Dubin, 1992) y la valoración social de cambios en la calidad de los hogares (Morales y Arias, 2003).

De acuerdo con Dubin (1992) existen dos importantes limitaciones en el cálculo de la calidad del vecindario. En primer lugar, la calidad del vecindario no es observable, es decir, hay errores de medición y por tanto debe abordarse mediante el uso de variables proxies. En segundo lugar, los límites de las unidades espaciales en el análisis pueden generar distorsiones en la medición. Dada estas limitaciones, Dubin (1992) propone el cálculo de la calidad del vecindario a partir de un modelo en el que se omitan las medidas de vecindad y accesibilidad del conjunto de variables explicativas. Por tanto, la calidad del vecindario queda definida como una variable relevante omitida del modelo, comprendida en el término de error.

Esta estrategia empírica ha sido ampliamente utilizada en países desarrollados (Tse, 2002; Sun et al, 2007; Palmquist, 2006). Sin embargo, para países en vías de desarrollo existe menos evidencia de la estimación de los modelos de precios hedónicos y el cálculo de la calidad del vecindario. En particular para Uruguay se encuentra el estudio de Bracco (2019) y para el caso colombiano se destacan los trabajos de Morales y Arias (2003), y Morales y Cardona (2015)

En este sentido esta investigación pretende ofrecer más evidencia empírica en la estimación de un modelo de precios hedónicos y el cálculo de la calidad de vecindario. Para ello se utiliza información sobre arrendamientos para la ciudad de Medellín entre febrero de 2018 y agosto de 2019. Se cuenta con datos georreferenciados de las viviendas y variables asociadas al precio de arrendamiento con sus características estructurales.

En términos metodológicos, primero se realiza un análisis exploratorio de datos espaciales para

determinar la existencia de dependencia espacial de los precios de arrendamiento. Luego se estiman modelos econométricos con dependencia espacial tanto en la variable dependiente como en el error para definir qué estructura explica mejor el precio de arrendamiento. Una vez se define el mejor modelo, se calcula el índice de calidad de vecindario estimando a partir de un promedio de los residuales a nivel de barrio.

Los resultados que se desprendan de esta investigación pretenden responder las siguientes preguntas: ¿Es la calidad del vecindario homogénea a través del territorio en Medellín? y ¿En dónde se localizan los mejores o peores niveles de la calidad del vecindario en Medellín?

Este artículo está dividido en seis secciones contando esta parte introductoria. En la siguiente sección se presenta una revisión de literatura sobre estudios aproximados a la medición de la calidad del vecindario empleando la metodología de precios hedónicos. La tercera sección define los datos y variables del modelo a estimar. La sección cuatro presenta la estrategia de modelación a seguir. La quinta sección divide los resultados en análisis exploratorio de datos espaciales, resultados econométricos e índice estimado de calidad del vecindario. Finalmente, en la sexta sección se exponen las conclusiones.

Revisión de literatura

Los dos trabajos seminales para el cálculo de la calidad del vecindario son los realizados por Rosen (1974) y Dubin (1992). El primer autor estableció los fundamentos teóricos para la metodología de precios hedónicos planteando que los bienes diferenciados se describen por un vector de características, cada entrada representa la cantidad de unidades de cada una de estas características. En este sentido, los precios hedónicos resultan de una estimación econométrica entre el precio del bien diferenciado y las cantidades asociadas a sus atributos (Castaño et al, 2013).

Por su parte, Dubin (1992) aplicó el enfoque propuesto por Rosen (1974) a los determinantes del precio de la vivienda para cuantificar la calidad del vecindario. Este autor plantea que el modelo debería incluir variables explicativas como área del

lote, número de habitaciones, número de baños, tipo de materiales de la vivienda y propiedad horizontal. El autor expone como hipótesis que los precios de la vivienda se componen de tres elementos: la estructura, la calidad y la accesibilidad. La estructura de la vivienda hace referencia a los atributos físicos del hogar como la cantidad de habitaciones, baños, parqueadero, entre otros, mientras que la calidad y la accesibilidad se recogen en el término de error del modelo.

El modelo de precios hedónicos es la base de diversos estudios donde intentan identificar todos los atributos de un bien que definen su precio, y también intentan darle un valor cuantitativo a cada uno de ellos. Algunos de estos trabajos son, valoración de la calidad en el aire en algunas ciudades en Estados Unidos (Smith y Huang, 1995), evaluación de los efectos causados por la contaminación acústica (Espey y López, 2000).

Para países desarrollados se aplica este modelo en países como Hong Kong con el trabajo de Tse (2002) y Sun et al. (2007) para Singapur. En el primer caso se estudia los efectos del vecindario dada la ubicación de las viviendas y en el segundo se investiga la segmentación del mercado a través de autocorrelaciones espaciales en el precio de la vivienda.

Por otro lado, para países en vías de desarrollo y especialmente para el caso de Latinoamérica se encuentra el trabajo realizado por Bracco (2019). Esta autora estima la calidad del vecindario a partir de modelos econométricos espaciales para Montevideo con la finalidad de estudiar los efectos de este en el desempeño educativo.

Para el caso colombiano la literatura utilizando el modelo de precios hedónicos es reducida. Se destaca el trabajo de Morales y Arias (2003), Duque et al (2011) y Morales y Cardona (2015). Los primeros autores hacen una medición de la calidad de la vivienda en Bogotá a partir del modelo de precios hedónicos aplicado a hogares. Para el caso de Medellín Duque et al (2011) analiza la influencia de la estación del metro en San Javier en los precios de la vivienda utilizando regresiones ponderada geográficamente.

Por su parte, Morales y Cardona (2015), también utilizando datos para Medellín, estudian los efectos

de la calidad del vecindario sobre la oferta laboral femenina. Los autores calculan la calidad del vecindario a través de diferentes índices que ponderan la accesibilidad al transporte, a lugares comerciales, a centros infantiles, además de la tasa de homicidio, el valor promedio del arriendo y la tasa de desempleo. Este cálculo de la calidad del vecindario tiene limitaciones ya que es la suma de diferentes índices más no la unificación de las diferentes características que miden la calidad del vecindario en una sola variable.

Adicional a esta literatura, en la cual se basa y contribuye esta investigación, sobresalen los trabajos aplicados al modelo de precios hedónicos de Chasco (2006), y Moreno y Alvarado (2011). El primer autor analiza la influencia que la geografía, tanto física como política puede tener sobre el precio de la vivienda de las principales ciudades de España. Utilizando instrumentos de la econometría espacial sobre el precio de la vivienda, muestra la influencia del entorno geográfico sobre el precio de la vivienda, no sólo en términos de vecindad física, sino también política.

Por su parte, Moreno y Alvarado (2011) se centran en las características de la vivienda en el espacio geográfico del área metropolitana de Monterrey (México). Estos autores proponen una aplicación del modelo de precios hedónicos considerando las preferencias de un individuo por las características del vecindario, socioeconómicas y del entorno físico. Los resultados de este estudio evidencian que las preferencias por ciertos atributos de la vivienda son distintas o de mayor impacto dependiendo el entorno social del vecindario.

La anterior revisión de literatura muestra pocos estudios que intenten cuantificar la calidad del vecindario en países en vías de desarrollo. Por tanto, esta investigación pretende mostrar más evidencia sobre este asunto, basado en la metodología de precios hedónicos para los determinantes del precio de la vivienda. Específicamente, se hará un cálculo de la calidad del vecindario para la ciudad de Medellín en el periodo 2018-2019.

Datos y variables

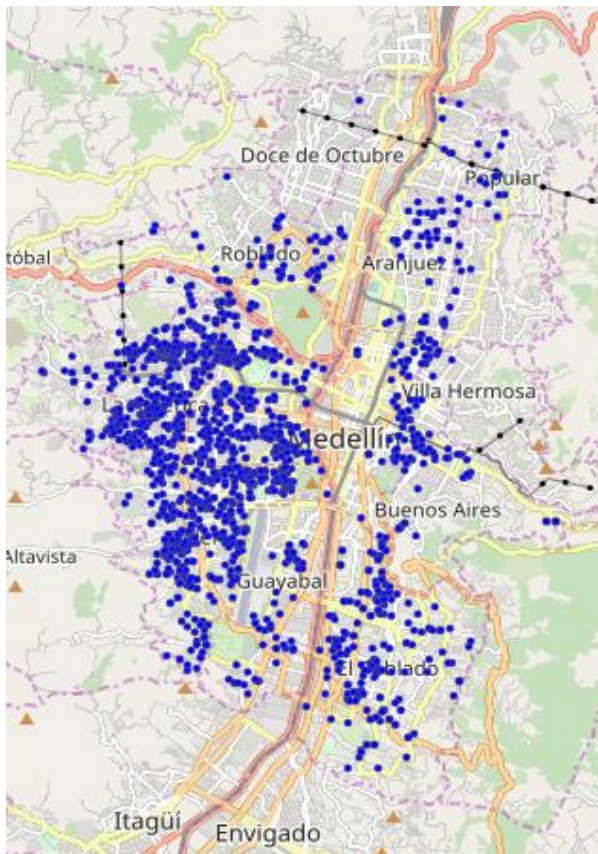
Los datos utilizados para este análisis empírico están a nivel de vivienda para el periodo comprendido entre febrero de 2018 y agosto de

2019. Estos fueron reportados por 636 fuentes entre inmobiliarias y personas naturales para el proyecto de la subsecretaría de Catastro llamado “Observatorio Inmobiliario de Medellín (OIME)”. El OIME¹ tiene como objetivo analizar el mercado y la dinámica del sector inmobiliario en la ciudad de Medellín.

Inicialmente la base contaba con 5,985 viviendas, se depuró eliminando los valores *missing* en alguna de las variables de interés, lo que generó una muestra final de 1,782 observaciones. Estas viviendas se localizan en 146 barrios de los 249, lo que nos da una cobertura a nivel de barrio del 59% de la ciudad de Medellín. En el gráfico 1 se muestra la distribución espacial de las viviendas utilizadas en el análisis. Se observa que las viviendas se encuentran distribuidas casi a lo largo de todo Medellín, con mayor peso en el oeste de la ciudad.

Gráfico 1

Distribución espacial de las viviendas



Observatorio Inmobiliario de Medellín (OIME), 2019
<http://catastroime.blogspot.com>

Adicional a la ubicación de la vivienda, se cuenta con información sobre el tipo de propiedad (casa o apartamento), si el predio es nuevo o usado, la comuna, el barrio, la manzana, el estrato, la agencia inmobiliaria, el área privada, el área lote, el precio de arrendamiento, el avalúo catastral, el material del piso, baño y cocina, el número de habitaciones, el número de baños, el número de garajes y si la vivienda cuenta o no con parqueadero.

Dentro de las opciones para definir la variable dependiente para el estudio, se contaba con el avalúo catastral y el precio del arriendo de los inmuebles. Se decidió emplear el precio del arriendo, debido a que es la variable que mejor define el precio implícito que está dispuesto a pagar una persona por la renta de su predio. De acuerdo con Azqueta (1994), el precio de arrendamiento es el más adecuado para aplicar a la teoría de precios hedónicos, dado que es el precio más actualizado del mercado.

Las variables empleadas para el desarrollo del modelo espacial de precios hedónicos se encuentran definidas en la tabla 1. La variable dependiente será el logaritmo del precio de arrendamiento y como variables explicativas se encuentran el área privada y área del lote, expresadas en logaritmo para aportar estabilidad a los regresores y reducir las observaciones atípicas. Adicionalmente se incluyen algunas características de la vivienda, como son: si la vivienda es nueva o usada, si es casa o apartamento, el número de habitaciones y baños, la calidad de piso, el número de garajes y presencia de parqueadero.

Tabla 1

Definición de variables esperadas

Variable	Definición
Ln(Precioarriendo)	Logaritmo del precio de arrendamiento
Ln(Áreaprivada)	Logaritmo del área privada
Ln(Árealote)	Logaritmo del área del lote
Estadopredio	Vivienda nueva (0) o usada (1)
Prophorizontal	Casa (0) o apartamento (1)
Nhabitaciones	Número de habitaciones que tiene la vivienda
Nbaños	Número de baños que tiene la vivienda
Calidadpiso	Calidad del piso de tipo regular (0) o bueno (1)
Ngarajes	Número de garajes en la vivienda
Parqueadero	Sin parqueadero (0) o tiene parqueadero (1)

En la tabla 2 se muestran algunas estadísticas descriptivas de las variables de interés. Se observa que la vivienda en arrendamiento promedio en Medellín tiene las siguientes características: es un apartamento usado con un precio de arrendamiento de \$1.566.129, un área privada de 99 m², 3 habitaciones, 2 baños, 1 garaje y buena calidad del piso.

En el precio de arrendamiento existe un valor mínimo de \$300.000 y máximo de \$10.000.000 lo cual evidencia una alta variación y heterogeneidad en los precios. En la cantidad de habitaciones se observa que existe un mínimo de 1 y máximo de 9. En cuanto al número de baños se evidencia un mínimo de 1 y un máximo de 6. Por otro lado, el 17% de las viviendas tienen una buena calidad del piso, lo cual es una proporción relativamente baja.

Tabla 2

Estadísticas descriptivas para variables usadas en modelo espacial de precios hedónicos

Variable	Media	Std.Error	Mediana	p25	p75	Mín	Máx
Precioarriendo	1566129	1108127	1250000	900000	1800000	300000	10000000
Ln(Precioarriendo)	14.0924	0.5589	14.0386	13.7101	14.4033	12.6115	16.1181
Áreaprivada	99.4718	61.83	85	63	118	12	1017
Ln(Áreaprivada)	4.4634	0.5111	4.4426	4.1431	4.7707	2.4849	6.9246
Árealote	72.93	159.759	41	24	83	1	5634
Ln(Árealote)	3.8188	0.9011	3.7136	3.1781	4.4188	0	8.6366
Estadopredio	0.8688	0.3376	1	1	1	0	1
Prophorizontal	0.9077	0.2895	1	1	1	0	1
Nhabitaciones	2.8019	0.9209	3	2	3	1	9
Nbaños	2.0861	0.8308	2	2	2	1	6
Calidadpisos	0.1666	0.3727	0	0	0	0	1
Ngarajes	0.6331	0.7066	1	0	1	0	4
Parquadero	0.1947	0.3961	0	0	0	0	1

Para capturar los efectos de vecindario, se considera el criterio de contigüidad en función de la distancia geográfica entre las viviendas. En la base de datos encontramos una distancia máxima de 1.65 km, donde al menos cada vivienda tiene un vecino. Con el fin de capturar efectos locales se decidió utilizar un umbral de 500 metros para definir vecindad (Bracco, 2019).

En el gráfico 2 se muestran todas las conexiones de viviendas existentes con una distancia Euclidiana de 500 metros. Se observa en verde que existen 5 viviendas sin vecinos. Estas viviendas se eliminan de la base de datos creando así el gráfico 3, donde

se exhiben las relaciones de vecindad finales que serán usadas en el modelo espacial de precios hedónicos.

Gráfico 2

Vecindad con distancia 500 metros, viviendas sin al menos un vecino (en verde)

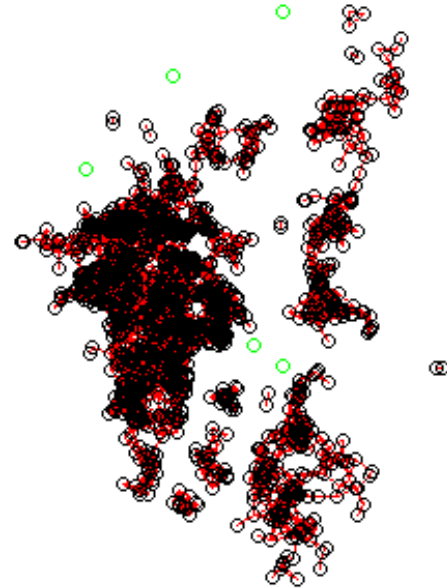
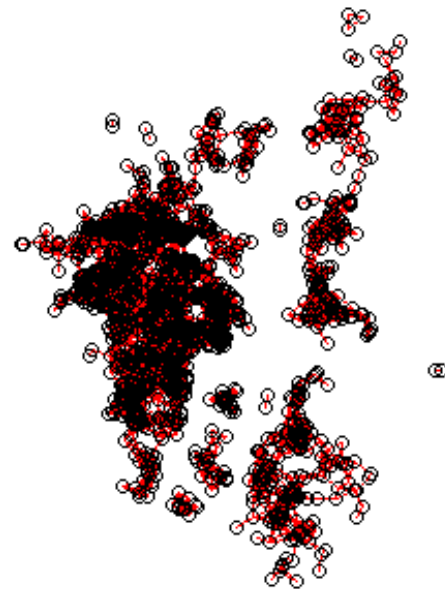


Gráfico 3

Muestra de vecindad con distancia 500 metros



Estrategia de estimación

En términos metodológicos se estima el modelo especial de precios hedónicos propuesto por Dubin (1992). Para el cálculo del modelo se incluyen como variables explicativas, todas aquellas que se refieren a la estructura del inmueble. En esta metodología la calidad del vecindario se estima a partir de los residuales del modelo.

La ventaja del enfoque propuesto por Dubin (1992) es que la dependencia espacial común en este tipo de datos se incorpora en los residuales. Además, como el componente estructural se modela en las variables independientes de la regresión, se espera que los residuos estén correlacionados a través del espacio y el mismo deberá reflejar la calidad del vecindario.

El modelo a estimar presenta la siguiente estructura:

$$\begin{aligned} \ln(\text{Precioarriendo})_i = & \beta_1 + \beta_2 \ln(\text{Apriv})_i + \beta_3 \ln(\text{Alote})_i \\ & + \beta_4 \text{Estadopredio}_i + \beta_5 \text{Prophorizontal}_i + \beta_6 \text{Nhabitaciones}_i \\ & + \beta_7 \text{Nbaños}_i + \beta_8 \text{Calidadpiso}_i + \beta_9 \text{Ngarajes}_i \\ & + \beta_{10} \text{Parqueadero}_i + u_i \end{aligned} \quad (1)$$

Este modelo se estima por MCO y con el fin de incorporar la dependencia espacial se estiman las siguientes tres especificaciones:

SAR (*Spatial Autoregressive Model*)

$$\begin{aligned} \ln(\text{Precioarriendo})_i = & \beta_1 + \rho W \ln(\text{Precioarriendo})_i + \beta_2 \ln(\text{Apriv})_i \\ & + \beta_3 \ln(\text{Alote})_i + \beta_4 \text{Estadopredio}_i \\ & + \beta_5 \text{Prophorizontal}_i + \beta_6 \text{Nhabitaciones}_i + \beta_7 \text{Nbaños}_i \\ & + \beta_8 \text{Calidadpiso}_i + \beta_9 \text{Ngarajes}_i \\ & + \beta_{10} \text{Parqueadero}_i + u_i \end{aligned} \quad (2)$$

SEM (*Spatial Error Model*)

$$\begin{aligned} \ln(\text{Precioarriendo})_i = & \beta_1 + \beta_2 \ln(\text{Apriv})_i + \beta_3 \ln(\text{Alote})_i \\ & + \beta_4 \text{Estadopredio}_i + \beta_5 \text{Prophorizontal}_i + \beta_6 \text{Nhabitaciones}_i \\ & + \beta_7 \text{Nbaños}_i + \beta_8 \text{Calidadpiso}_i + \beta_9 \text{Ngarajes}_i \\ & + \beta_{10} \text{Parqueadero}_i + u_i \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u &= \lambda W u + \varepsilon \\ \varepsilon &\sim N(0, \sigma^2) \end{aligned} \quad (3)$$

SARAR (*Spatial Autoregressive Model with Autoregressive Disturbances*)

$$\begin{aligned} \ln(\text{Precioarriendo})_i = & \beta_1 + \rho W \ln(\text{Precioarriendo})_i + \beta_2 \ln(\text{Apriv})_i \\ & + \beta_3 \ln(\text{Alote})_i + \beta_4 \text{Estadopredio}_i \\ & + \beta_5 \text{Prophorizontal}_i + \beta_6 \text{Nhabitaciones}_i + \beta_7 \text{Nbaños}_i \\ & + \beta_8 \text{Calidadpiso}_i + \beta_9 \text{Ngarajes}_i \\ & + \beta_{10} \text{Parqueadero}_i + u_i \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} u &= \lambda W u + \varepsilon \\ \varepsilon &\sim N(0, \sigma^2) \end{aligned}$$

Donde W representa la matriz de nxn de pesos espacial estandarizada calculada a partir de la distancia (500 metros).

Dubin (1992) estima un modelo SEM y Wu captura el índice de calidad de vecindario, en la medida que mide atributos no observables del vecindario, que influyen en los precios de la vivienda (como, por ejemplo, accesibilidad, infraestructura, calidad ambiental, congestión, entre otras).

En nuestro caso se estiman los tres modelos espaciales propuestos y se determinara cuál de ellos es el mejor, para luego calcular el índice de calidad del vecindario. Este índice se calculará a nivel de barrio a partir de la siguiente fórmula:

$$\overline{W}_{u_k} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} \overline{W}_{u_{ik}} \quad (5)$$

Resultados

Análisis exploratorio

Con el fin de analizar si los valores de la variable dependiente en un punto muestral se relacionan con los valores en puntos muestrales cercanos, es decir, la existencia de dependencia espacial, se calcula el índice I de Moran y su diagrama de dispersión.

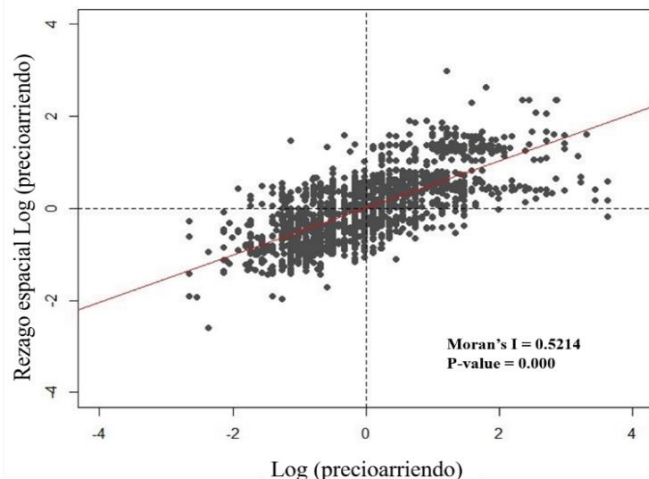
Gráficamente es posible evidenciar la correlación espacial con el diagrama de dispersión de Moran, calculado para el umbral de vecindad definido anteriormente de 500 metros en la matriz de pesos espaciales.

La gráfica 4 muestra un I de Moran positivo y estadísticamente significativo, evidenciando la existencia de autocorrelación espacial positiva. Esto indica que hay efectos de desbordamiento en el precio de arrendamiento, es decir, viviendas con

altos (bajos) arrendamientos están rodeadas de viviendas con altos (bajos) arrendamientos.

Gráfico 4

Diagrama de dispersión de Moran



Aunque el análisis anterior permite observar la presencia de clústers en el espacio, esta no muestra qué clase de valores se han agrupado en el espacio con valores de viviendas vecinas. Por lo anterior se calcula el índice local de Moran que detalla si la relación clúster de los datos es alta o baja. Este tipo de gráficos permite identificar cuatro relaciones de precios de arrendamiento comparados con arriendos cercanos (ver gráfico 5):

Adicionalmente, se calcula el I de Moran local. Este indicador permite estimar las siguientes relaciones y ubicarlas en el espacio (Anselin, 2005):

- Bajo-Bajo: precios de arrendamiento bajos rodeados de precios bajos.
- Alto-Alto: precios de arrendamiento altos rodeados de precios altos.
- Bajo-Alto: precios de arrendamiento bajos rodeados de precios altos
- Alto-Bajo: precios de arrendamiento altos rodeados de precios bajos.

En el gráfico 5a se observa la relación bajo-bajo, donde se muestra que los barrios que componen de las comunas 1 (Popular), 2 (Santa Cruz), 3 (Manrique), 4(Aranjuez), 5 (Castilla), 7 (Robledo), 8 (Villa Hermosa), 9 (Buenos Aires), 10 (La Candelaria), 12 (La América), 13 (San Javier), 15 (Guayabal), 16 (Belén) existen arrendamientos

bajos rodeados de arrendamientos bajos. Además, se evidencia que esta relación se localiza en 13 de 16 comunas de la ciudad.

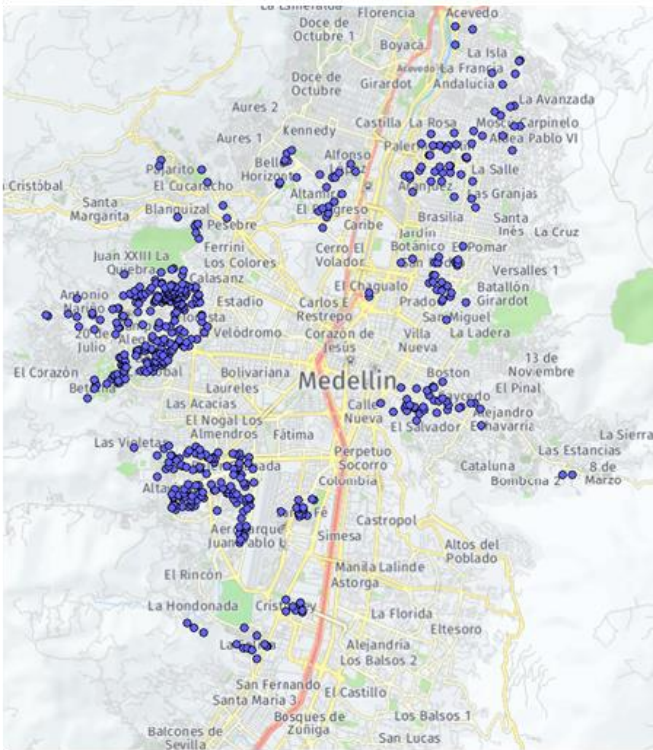
La grafica 5b refleja una relación de arrendamientos altos rodeados de arrendamientos altos en barrios que se componen de las comunas 11 (Laureles-Estadio) y 14 (El poblado). Lo anterior coincide con los actuales barrios categorizados como altos que se encuentran en un estrato promedio 5 y 6, respectivamente. En esta relación alto-alto el precio máximo de arrendamiento es de \$10.000.000, el estrato promedio es 5 para la comuna 11 (Laureles-Estadio) y 6 para la comuna 14 (El poblado).

La relación de precios bajo-alto de la gráfica 5c evidencia valores de arrendamientos bajos rodeados de arrendamientos altos para los barrios de las comunas 10 (La candelaria), 14 (El poblado) y 11 (Laureles-Estadio). Como los barrios de la comuna 14 son caracterizados por ser de estrato alto, no se esperaba dicha relación. Lo anterior podría ser explicado por la ubicación en esta zona de las localidades del Chispero, La Manga y la Olla que se encuentran ubicados en sectores con estrato promedio 6, pero son zonas de estrato 2 y 3.

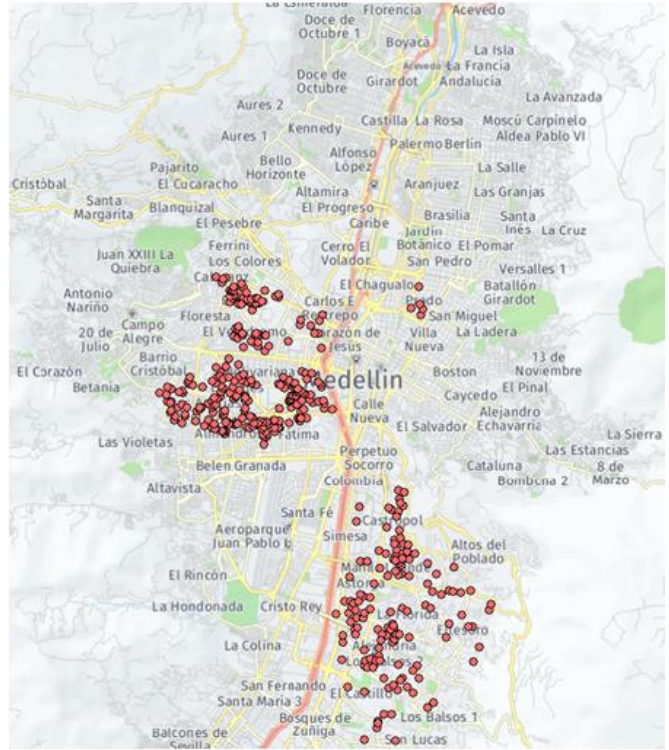
Los valores altos rodeados de valores bajos se observan en la gráfica 5d evidenciando barrios en las comunas 10 (La candelaria), 11 (Laureles-Estadio) y 14 (El poblado). En los barrios de la comuna 10 resulta típico encontrar viviendas rodeadas entre estratos 2, 3 y 4 que posean precios de arrendamiento que alcancen un valor máximo de \$10.000.000 y un mínimo de \$500.000. En la comuna 11 puede deberse a la diversidad de estratos contenidos en esta, que converge en un rango entre estrato 3 y 6 con arrendamientos mínimo de \$850.000 y un máximo de \$12.500.000. Una de las razones que podría explicar este fenómeno de relación alto-bajo para estos barrios según Serna (2018) en la columna “Medellín Cuenta de primera fuente” es que desde el surgimiento del centro este fue proyectado para el asentamiento de la clase alta de la ciudad, donde sus casas evidenciaban alto poder adquisitivo. Por razones de preferencias y desarrollo de la ciudad surgieron transformaciones y en la actualidad viviendas de altos costos quedaron ubicadas en barrios de estratos bajos.

Gráfico 5
I de Moran Local

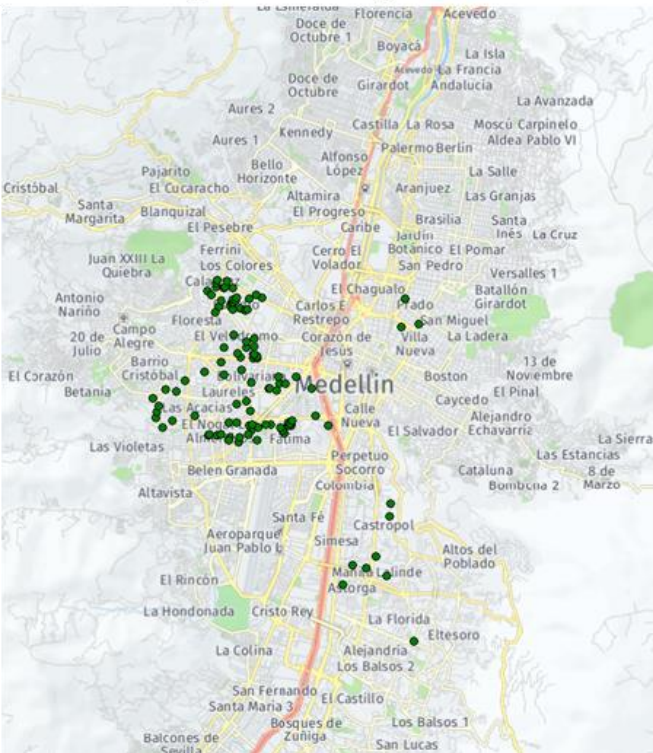
a) Relación bajo-bajo



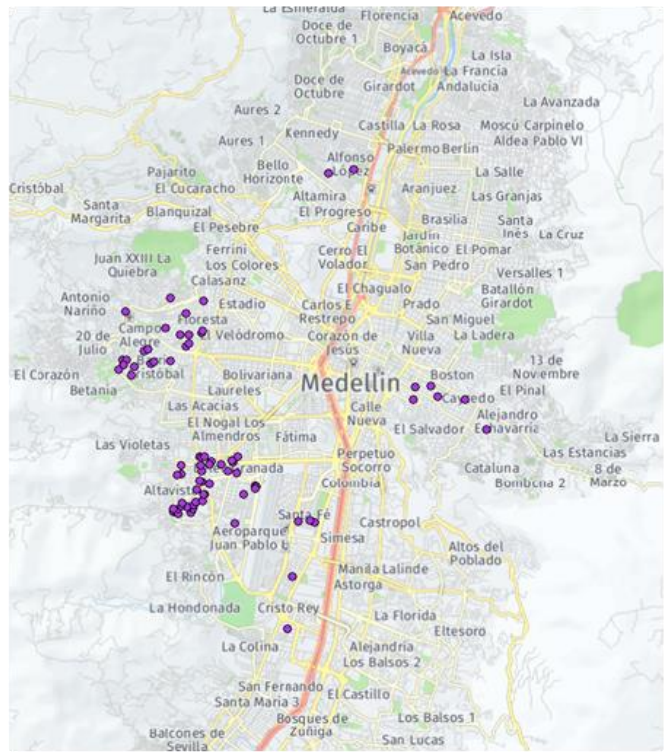
b) Relación alto-alto



c) Relación bajo-alto



d) Relación alto-bajo



Resultados econométricos

En la tabla 3 se presentan los resultados de la estimación de los modelos econométricos: MCO, SAR, SEM y SARAR.

Las estimaciones del modelo MCO (ver columna 1 de la tabla) muestran un buen ajuste con un R^2 de 73%. También se observa que el área privada, el número de baños, la calidad del piso, el número de garajes y el número de parqueaderos son positivas y estadísticamente significativas al 1%. Por su parte, propiedad horizontal explica positivamente el precio de arrendamiento sin ser estadísticamente significativo. Las características estructurales de la vivienda que generan disminuciones en la variable dependiente son: área lote, estado predio y número de habitaciones y solo la segunda es significativa al 1%.

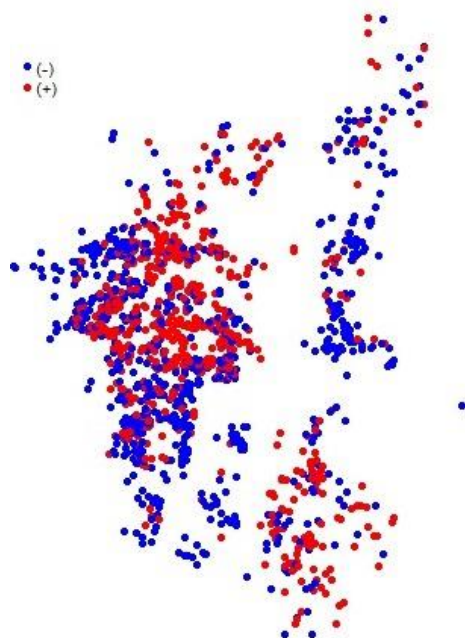
Analizando los residuales de este primer modelo MCO se observan (ver en la gráfica 6) agrupamientos de valores positivos y negativos. Esto puede ser una primera evidencia de dependencia espacial en los residuales. Con el fin de corroborar más formalmente esta dependencia espacial se utilizan las pruebas de Multiplicadores Lagrange de dependencia espacial. Estas pruebas calculan una versión simple de detección de dependencia espacial asociadas a estructuras SAR (LMlag) y SEM (LMerr). También calculan una versión robusta, la cual detecta dependencia espacial tipo SAR teniendo en cuenta la estructura SEM (RLMlag) y viceversa (RLMerr) (Anselin, 2005).

Estas pruebas además de detectar la existencia o no de dependencia espacial en los residuales del modelo MCO permiten determinar la estructura de esta dependencia. Si sólo una de las pruebas simples (LMlag- LMerr) es significativa se elige el modelo que rechaza la hipótesis nula de no correlación espacial, si ambos son significativos se opta por las formas robustas (RLMlag- RLMerr), si solo uno de los estadísticos robustos es significativo ese será el modelo elegido y si ambas

pruebas LM robustas son significativas se elige el modelo con mayor valor estadístico.

Gráfico 6

Residuales MCO



Teniendo en cuenta el criterio de decisión anteriormente mencionado se puede observar en la parte baja de la tabla 3 que todos los estadísticos LM, tanto robustos como no, muestran la existencia de dependencia espacial en la variable dependiente y en los residuales. Lo cual sugiere que la mejor especificación sería tener en cuenta estos dos tipos de dependencia espacial, es decir, estimar el modelo SARAR. Además, esto se corrobora por el estadístico LM del SARAR y el criterio de información de Akaike (AIC), los cuales presentan el mayor valor en el primer caso y el menor valor en el segundo (Anselin, 2005).

Es importante aclarar que para los barrios de la comuna 6 (Doce de octubre) este trabajo no cuenta con observaciones para el análisis de este.

Tabla 3

Resultados de modelos espaciales hedónicos

Variable dependiente: Ln(Precioarriendo)				
Variable	MCO	SAR	SEM	SARAR
	(1)	(2)	(3)	(4)
Ln(Áreaprivada)	0.5301*** (0.0261)	0.4386*** (0.0210)	0.4272*** (0.0204)	0.4471*** (0.0209)
Ln(Árealote)	-0.0134 (0.0098)	-0.0196** (0.0078)	-0.0116 (0.0077)	-0,0166** (0.0079)
Estadopredio	-0.1148*** (0.0209)	-0.103*** (0.0166)	-0.1121*** (0.0161)	-0,1098*** (0.0166)
Prop horizontal	0.0102 (0.0266)	-0.0744*** (0.0213)	-0.0859*** (0.0208)	-0,0777*** (0.0212)
Nhabitaciones	-0.0192* (0.0116)	0.0569*** (0.0095)	0.0647*** (0.0093)	0,0583*** (0.0095)
Nbaños	0.1676*** (0.0128)	0.0903*** (0.0104)	0.0825*** (0.0101)	0,0883*** (0.0103)
Calidadpiso	0.0879*** (0.0180)	0.0554*** (0.0143)	0.0527*** (0.0138)	0,0558*** (0.0143)
Nrogarajes	0.2359*** (0.0123)	0.1007*** (0.0107)	0.0991*** (0.0106)	0,1038*** (0.0107)
Parqueadero	0.0884*** (0.0187)	0.0481*** (0.0149)	0.0676*** (0.0165)	0,0610*** (0.0158)
Rho		0.563*** (0.0177)		0.5154*** (0.0243)
Lambda			0.8514*** (0.0181)	0.2974*** (0.0669)
Observaciones	1777	1777	1777	1777
R ²	0.7328	0.8269	0.8247	0.8288
AIC	651.411	-117.83	-95.892	-135.68
Prueba de dependencia espacial (MCO)				
LMerr	1147.99***			
LMlag	1053.64***			
RLMerr	509.40***			
RLMlag	415.05***			
SARMA	1563.04***			

Nota: Los errores estándar se dan entre paréntesis.

Nivel de significancia estadística: (*) significativo al 10%, (**) significativo al 5% y (***) significativo al 1%

El resultado para el coeficiente de dependencia espacial en la variable dependiente (Rho) en el modelo SARAR muestra que este es positivo y estadísticamente significativo, indicando que hay efectos de desbordamiento en los precios de arrendamiento, es decir, el precio de arrendamiento de una vivienda depende positivamente de sus vecinos. Esto corrobora los resultados encontrados

en el análisis exploratorio de los datos. Respecto al coeficiente Lambda de dependencia espacial de los residuales, los resultados muestran que es positivo y significativo, implicando que los efectos inobservables asociados a la calidad del vecindario esta correlacionados espacialmente. Lo anterior soporta la idea planteada por Dubin (1992), en que los atributos no observables del vecindario presentan una estructura de dependencia espacial, lo cual es una buena medida de la calidad del vecindario.

Con el fin de interpretar las estimaciones del modelo SARAR es necesario calcular los efectos directos e indirectos. Los efectos directos están asociados a cómo las propias características estructurales de la vivienda afectan su precio, mientras que los efectos indirectos miden los efectos de los cambios en las características estructurales de las viviendas vecinas sobre el precio de la vivienda. Este último es lo que en la literatura se conoce como efectos de desbordamiento espacial (*Spatial Spillover Effects*) (LeSage y Pace, 2009, p.74). En la tabla 4 se presenta el cálculo de los efectos directos e indirectos y su significancia estadística.

Tabla 4

Efectos directos, indirectos y totales del modelo espacial SARAR

Variable	Efecto Directo	Efecto Indirecto	Efecto Total
Ln(Áreaprivada)	0.4560*** [0.0000]	0.4665*** [0.000]	0.9225*** [0.000]
Ln(Árealote)	-0.0169*** [0.0366]	-0.0172*** [0.0334]	-0.0341*** [0.0392]
Estadopredio	-0.1120*** [0.0000]	-0.1146*** [0.0000]	-0.2266*** [0.000]
Prop horizontal	-0.0793*** [0.0002]	-0.0811*** [0.0007]	-0.1604*** [0.000]
Nhabitaciones	0.0595*** [0.0000]	0.1203*** [0.0000]	0.1203*** [0.000]
Nbaños	0.0901*** [0.0000]	0.0922*** [0.0000]	0.1823*** [0.000]
Calidadpiso	0.0569*** [0.0002]	0.0582*** [0.0005]	0.1151*** [0.000]
Nrogarajes	0.1059*** [0.0000]	0.1083*** [0.0000]	0.2142*** [0.000]
Parqueadero	0.0622*** [0.0001]	0.0636*** [0.0003]	0.1258*** [0.000]

Nota: Los valore P se dan entre corchetes.

Nivel de significancia estadística: (*) significativo al 10%, (**) significativo al 5% y (***) significativo al 1%

Nos vamos a concentrar en el análisis de los efectos indirectos debido a que son los más interesantes en términos de información. Se observa que un incremento del 10% del área privada de las viviendas vecinas genera un aumento del precio de la vivienda alrededor del 5%. En cuanto al estado del predio, si la vivienda vecina es usada el precio de la vivienda disminuye en un 11%. Esto puede deberse a que el valor comercial que los inmuebles pierden con el pasar de los años, es decir, el precio de arrendamiento es afectado por el deterioro en lo acabados de las viviendas. Además, las condiciones normativas de las construcciones varían en el tiempo garantizando viviendas resistentes a fenómenos naturales externos.

Por su parte, cuando la propiedad vecina es un apartamento el precio de la vivienda disminuye en un 8%. Lo anterior puede deberse a que al aumentar el número de habitantes que rodean un inmueble se incrementan en mayor proporción los niveles de contaminación, congestión y ruido, contrario al efecto de estar rodeado por menos habitantes, es decir, casas.

Índice estimado de la calidad del vecindario

En el gráfico 7 se muestra el cálculo del índice de calidad de vecindario a partir del promedio de los residuales a nivel de barrio del modelo SARAR.

El cálculo del índice evidencia que 81 barrios presentan una mala calidad de vecindario lo cual representa un 55,4% del total de los barrios. En relación con el precio de arrendamiento se tiene que en estos barrios con mala calidad del vecindario los precios de arrendamiento promedio oscilan entre \$320.000 y \$3.700.000. En cuanto al promedio del número de habitaciones y baños para las estas viviendas son de 3 y 2 respectivamente.

Los 65 barrios con buena calidad de vecindario se concentran en las zonas del poblado y Laureles-Estado. En estas zonas el valor promedio de arrendamiento mínimo es de \$350.000 y el máximo \$5.100.000. El promedio del número de habitaciones y baños para las viviendas con buena calidad de vecindario es similar a los barrios de mala calidad.

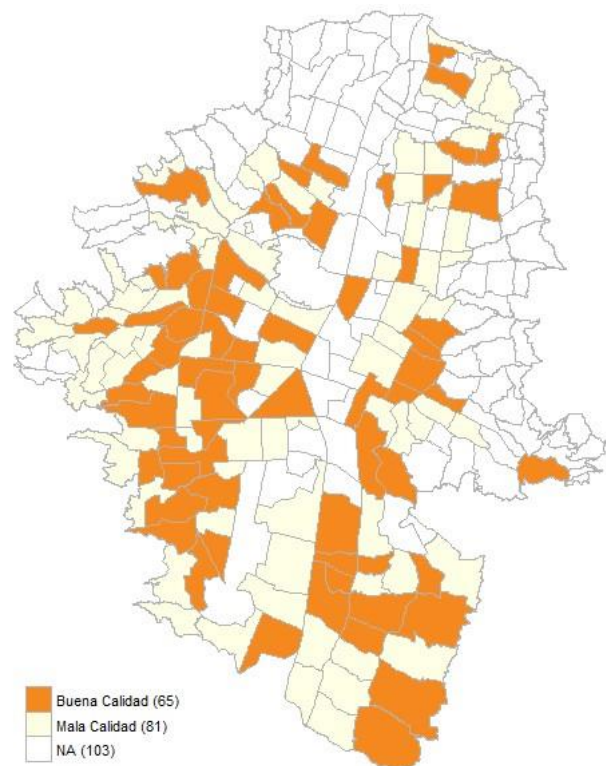
En síntesis, el índice de calidad del vecindario muestra una importante heterogeneidad en los tipos

de barrios. Se observa que, en zonas de altos arrendamientos, que reflejan altos estratos socioeconómicos, se pueden encontrar barrios de mala calidad. Esto podría estar asociado a que estos barrios de mala calidad en buenas zonas pueden existir bajos niveles de accesibilidad (público y privado) y altos grados de congestión.

Por otro lado, en zonas de bajos arrendamientos se reflejan buenos barrios. Esto podría deberse a que en un inicio el desarrollo de la ciudad fue pensado para que los estratos altos se ubicaran en puntos céntricos, implicando que en la actualidad aun existan viviendas de altos precios de arrendamiento en zonas que ahora son de bajos estratos.

Gráfico 7

Índice de la calidad del vecindario para Medellín



Conclusiones

Este trabajo tuvo como objetivo calcular un índice de calidad de vecindario para la ciudad de Medellín. A partir de datos georreferenciados de viviendas y variables relacionadas con el precio de arrendamiento y características estructurales de

estas, se utilizó el modelo espacial de precios hedónicos propuesto por Dubin (1992).

Los resultados encontrados mostraron que el mejor modelo a estimar fue el SARAR. Este modelo se caracteriza por especificar la estructura de la dependencia especial tanto en la variable dependiente como en los errores. Esta estructura de dependencia especial confirma el hecho de efectos de desbordamiento en el precio de la vivienda y dependencia especial en las variables inobservables.

Respecto al índice los resultados evidenciaron que la calidad del vecindario es heterogénea a través del territorio. La evidencia empírica ha mostrado que los procesos de urbanización de las ciudades en vía de desarrollo tienden a ser desorganizados y esta heterogeneidad es un reflejo de esta falta de ordenamiento territorial.

En términos de la distribución especial del índice se encontró que hay un mayor porcentaje de barrios de mala calidad que no son exclusivos de zonas de bajos ingresos, sino que también se ubican en zonas de altos estratos económicos, lo cual puede reflejar el bajo grado de accesibilidad, congestión, contaminación y otras variables que afectan la calidad del vecindario.

Los resultados de estas investigaciones tienen importantes implicaciones prácticas. Primero, este estudio muestra evidencia empírica sobre cómo se encuentran distribuidas las condiciones de vida de la ciudad. Lo cual es útil para mitigar los potenciales procesos de segregación socioespacial. Segundo, este estudio provee información útil en términos del detalle y la sistematización sobre la localización de las viviendas, el precio de arrendamiento y sus características estructurales. Estos resultados son importantes para hacedores de política pública, ya que les permite focalizar estas políticas con el fin de mejorar las condiciones que generan una mala calidad de vecindario. Tercero, este análisis aporta evidencia empírica para una ciudad en un país en vía de desarrollo, la cual presenta características particulares en términos de su desarrollo urbano, condiciones de infraestructura, condiciones de accesibilidad y persistentes desigualdades espaciales.

Esta investigación presenta algunas limitaciones que pueden ser temas para análisis futuros. En primer lugar, existen limitaciones en los datos en cuanto a que no se tiene información de viviendas para todos los barrios. Adicionalmente no se cuenta con un suficiente número de viviendas en los barrios analizados. En segundo lugar, para futuras investigaciones es necesario tener en cuenta diferentes matrices de contigüidad con el fin de analizar el fenómeno de forma más local. Por ejemplo, utilizar matrices de contigüidad de 200, 300 y 400 metros.

Referencias

- [1] Adhikari, D. y Chen, Y. (2014). Energy productivity convergence in Asian countries: A spatial panel data approach. *International Journal of Economics and Finance*, 6(7), 94–107.
- [2] Anselin, L., 2005, Exploring Spatial Data with GeoDa: A Workbook. Urbana, IL: UIUC Spatial Analysis Laboratory.
- [3] Azqueta, Diego (1994). Valoración económica de la calidad ambiental. Madrid. McGrawHil
- [4] Bracco, C. (2019). EFECTOS VECINDARIO EN EL DESEMPEÑO EDUCATIVO: Evidencia desde un enfoque espacial. Universidad de la República de Uruguay.
- [5] Castaño, J., Laverde, M., Morales, M. y Yaruro, A. (2013). “Índice de los precios de la vivienda nueva para Bogotá: metodología de precios hedónicos”. *Temas de Estabilidad financiera*, no. 78
- [6] Chasco, Coro. (2008). Geografía y precio de la vivienda en los municipios urbanos de España. *CLM Economía-Revista Económica de Castilla-La Mancha*. 12. 243-272.
- [7] Connerly, C., Marans, R.W. (1985), Comparing Two Global Measures of Perceived Neighbourhood Quality, *Social Indicators Research*, 17, 29-47.
- [8] Dubin, R. (1992). Spatial autocorrelation and neighborhood quality. *Regional Science and Urban Economics*, 22(3): 433–452.
- [9] Duque, J.C., Velásquez, H. y Agudelo, J. (2011). Infraestructura pública y precios de vivienda: una aplicación de regresión geográficamente ponderada en el contexto de precios hedónicos. *Ecos de Economía*, (33), 95-122
- [10] Espey, M., López, H. (2000). The Effects of Airport Noise on Residential Property Values. *Growth and Change*. 31. 408-419.
- [11] Gómez, C, y Santana, L. (2016). Convergencia interregional en Colombia 1990-2013: un enfoque sobre la dinámica espacial. *Ensayos sobre POLÍTICA ECONÓMICA*, 34(80), 159-174.
- [12] LeSage, J. P. y R. K. Pace, (2009) *Introduction to Spatial Econometrics*, CRC Press, Taylor y Francis Group, Boca Raton, FL.
- [13] Morales, L. y Arias, F. (2005). La calidad de la vivienda en Bogotá: Enfoque de precios hedónicos de hogares y de agregados espaciales. Cali: *Revista Sociedad y Economía*, núm. 9, 2005, pp. 47-80.
- [14] Morales, L. y Cardona, L. (2016). *Calidad de los Vecindarios y Oferta Laboral Femenina en un Contexto Urbano: Un Caso Aplicado a la Ciudad de Medellín*. Banco de la República de Colombia.
- [15] Moreno, R. y Alvarado, E. (2011). El Entorno Social y su Impacto en el Precio de la Vivienda: Un Análisis de Precios Hedónicos en el Área Metropolitana de Monterrey. *Trayectorias: Revista de Ciencias Sociales*, Vol. XIII, Núm. 33, periodo Julio-diciembre, UANL.
- [16] Palmquist, Raymond B., 2006. "Property Value Models," *Handbook of Environmental Economics*, in: K. G. Mäler y J. R. Vincent (ed.), *Handbook of Environmental Economics*, edition 1, volume 2, chapter 16, pages 763-819 Elsevier.
- [17] Smith, V. K. y Huang, J., 1995, "Can Markets Value Air Quality? A Meta-analysis of Hedonic Property Value Models", *Journal of Political Economy*, 103(1): 209-227.
- [18] Tse, R. Y. C. (2002). Estimating Neighbourhood Effects in House Prices:

Towards a New Hedonic Model Approach.
Urban Studies, 39(7), 1165–1180.

- [19] Tu, Y., Sun, H. y Yu, SM. J
(2007) Spatial Autocorrelations and
Urban Housing Market Segmentation.
The journal of Real Estate Finance and
Economics. 34: 385-406.