

Artículo de investigación

Incidencia del delito en los cánones de arrendamiento en la Loma de Los Bernal, Medellín - 2017

Incidence of crime in renting fees in Loma de Los Bernal, Medellín - 2017

Incidência de delitos nos padrões de aluguel em Loma de Los Bernal, Medellín - 2017

Oscar Alonso Ospina Espinosa^{a*} | Diego Fernando Martínez Montoya^b | Jorge Enrique Agudelo Torres^c

^a <https://orcid.org/0000-0001-8356-0879> Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín, Colombia

^b <https://orcid.org/0000-0001-6583-3167> Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín, Colombia

^c <https://orcid.org/0000-0002-3280-0729> Universidad de Medellín, Medellín, Colombia

- **Fecha de recepción:** 2020-03-09
- **Fecha concepto de evaluación:** 2020-04-16
- **Fecha de aprobación:** 2020-04-30
<https://doi.org/10.22335/rlct.v12i2.1165>

Para citar este artículo / To reference this article / Para citar este artigo: Ospina Espinosa, O. A., Martínez Montoya, D. F., & Agudelo Torres, J. E. Incidencia del delito en los cánones de arrendamiento en la Loma de Los Bernal, Medellín - 2017. *Revista Logos Ciencia & Tecnología*, 12(2), 20-31. <https://doi.org/10.22335/rlct.v12i2.1165>

RESUMEN

La incidencia del crimen en los alquileres de vivienda tradicionalmente ha sido poco analizado en Colombia en razón, entre otros factores, a la poca disponibilidad de información relacionada con el mercado inmobiliario que existe como consecuencia de la baja percepción de seguridad, lo que no permite que este tipo de datos se encuentren a disposición de investigadores y se mantengan de forma continua bajo reserva. Este estudio tiene como objetivo principal establecer una relación funcional entre los cánones de arrendamiento de vivienda en el barrio Loma de Los Bernal, en Medellín, y delitos tales como el hurto de motocicletas y las lesiones personales. Además, ofrece estimaciones porcentuales de la reducción en el valor de los alquileres de vivienda como consecuencia de la comisión de estos crímenes. La técnica empleada fue la de regresiones geográficamente ponderadas. Con este procedimiento es posible obtener resultados con mayores niveles de ajuste cuando se compara con otras metodologías, gracias a que permite ponderar de manera espacial cada uno de los datos obtenidos a partir de la Lonja de Propiedad Raíz de Medellín y Antioquia, así como del portal datosabiertos.gov.co. El principal hallazgo de este trabajo radica en encontrar evidencia matemática de que las lesiones personales y el hurto de motocicletas deterioran el mercado de alquileres de vivienda en el barrio Loma de Los Bernal y tienden a reducir la disposición a pagar de los posibles inquilinos en un 0,77% y un 2,77%, respectivamente, con lo cual estos delitos se constituyen en externalidades negativas que afectan el bienestar de la sociedad.

Palabras clave: lesiones, agresiones, delitos contra las personas, delitos contra la propiedad, criminalidad económica, delincuencia económica, delitos contra el patrimonio social

ABSTRACT

The incidence of crime in home rentals has not traditionally been analyzed in depth in Colombia due, among other factors, to the low availability of information related to the real estate market that exists as a consequence of the low perception of security, which makes it difficult for this type of data to be available to researchers, since it is continuously kept under reserve. The main objective of this study is to establish a functional relationship between the housing rentals in the Loma de Los Bernal neighborhood in Medellín, and crimes such as theft of motorcycles and personal injuries. In addition, it also offers percentage estimates of the reduction in the value of home rentals as a result of the commission of these crimes. The technique used was that of geographically weighted regressions. With this procedure it is possible to obtain results with higher levels of adjustment when compared with other methodologies, thanks to the fact that it allows to spatially weight all of the data obtained from the Real Estate Market of Medellín and Antioquia, as well as from the portal datosabiertos.gov.co. The main revelation of this work includes finding mathematical evidence that personal injuries and theft of motorcycles deteriorate the housing rental market in the Loma de Los Bernal neighborhood and tend to reduce the willingness of potential tenants to pay by 0.77% and 2.77%, respectively, with which these crimes constitute negative externalities that affect the well-being of society.

Keywords: injuries, assaults, crimes against people, crimes against property, economic crime, economic crime, crimes against social heritage

RESUMO

Tradicionalmente, a incidência de crimes no aluguel de casas é pouco analisada na Colômbia devido, entre outros fatores, à baixa disponibilidade de informações relacionadas ao mercado imobiliário existente como consequência da baixa percepção de segurança, o que não permite que esse tipo de dado esteja disponível para pesquisadores e é mantido continuamente em reserva. O principal objetivo deste estudo é estabelecer uma relação funcional entre os arrendamentos habitacionais no bairro Loma de Los Bernal, em Medellín, e crimes como roubo de motocicletas e lesões corporais. Além disso, oferece estimativas percentuais da redução no valor do aluguel de casas como resultado da prática desses crimes. A técnica utilizada foi a de regressões geograficamente ponderadas. Com esse procedimento, é possível obter resultados com maiores níveis de ajuste quando comparados a outras metodologias, graças ao fato de permitir ponderar espacialmente cada um dos dados obtidos no Mercado Imobiliário de Medellín e Antioquia, bem como no portal datosabiertos.gov.co. A principal conclusão deste trabalho consiste em encontrar evidências matemáticas de que ferimentos pessoais e roubo de motocicletas deterioram o mercado de aluguel de moradias no bairro de Loma de Los Bernal e tendem a reduzir a disposição de pagar potenciais inquilinos em 0,77% e 2,77%, respectivamente, com os quais esses crimes constituem externalidades negativas que afetam o bem-estar da sociedade.

Palavras-chave: lesões, agressões, crimes contra pessoas, crimes contra a propriedade, crimes econômicos, crimes econômicos, crimes contra o patrimônio social

Desde mediados del siglo pasado, hace setenta años, comenzó formalmente el análisis del mercado inmobiliario. Lo anterior se realizó mediante publicaciones en las que se analizó este mercado como inversión de largo plazo para inversionistas, en particular del área de la salud, con los trabajos iniciales de Beaty (1950), y de Dewey y Deturo (1950), quienes marcaron el inicio de décadas de análisis en este sentido. Sin embargo, 16 años más tarde, el estudio del mercado inmobiliario sufrió un cambio

drástico como consecuencia de la denominada “nueva teoría del consumidor” formulada por Lancaster (1966), quien sentó las bases del desarrollo de los modelos de precios hedónicos al considerar la utilidad generada por los bienes (una consecuencia directa de sus características), con lo cual el precio de estos puede definirse a partir de una especificación funcional de sus características. Este hecho fue capitalizado por autores como, por ejemplo, Rosen (1974), quien diseñó las especificaciones matemáticas

que dieron sustento a los futuros modelos econométricos empleados en el mercado inmobiliario.

En las décadas siguientes, los avances en el análisis del mercado inmobiliario se concentraron en la mejora de los modelos matemáticos y de sus especificaciones, evitando, principalmente, los problemas derivados de la omisión de variables relevantes con sus consabidos efectos sobre la significancia estadística de los coeficientes. De esta manera, trabajos como los desarrollados por Basu y Thibodeau (1998) y Can (1992), consideraron agrupar las características de los inmuebles en conjuntos de características intrínsecas a estos, a las particularidades del vecindario y a un ajuste por fecha de obtención de los datos cuando corresponden a años diferentes.

Sin embargo, a finales de la década del ochenta del siglo pasado varios autores —entre ellos Anselin (1988)— consideraron dos dificultades que destruían la confiabilidad de los modelos matemáticos desarrollados a partir de los modelos de precios hedónicos. Ambos problemas estaban asociados a la primera ley de la geografía, según la cual “las cosas más cercanas se parecen más”, lo que en la práctica implica, en primer lugar, que las variables involucradas en el modelo están agrupadas en sectores específicos, con lo cual la estimación de los parámetros se encuentra viciada como consecuencia de la denominada “correlación espacial de los datos”. La segunda implicación de la denominada “primera ley de la geografía” está asociada al hecho de que los valores de los parámetros fluctúan dependiendo del lugar en que se encuentran ubicados, además de que las especificaciones funcionales pueden cambiar dependiendo de su ubicación espacial, lo que es conocido como “heterogeneidad espacial”. Como consecuencia de estas dificultades surgieron especificaciones matemáticas, como, por ejemplo, las de rezagos espaciales o de error espacial que trataban de solucionar estas dificultades, modelos que fueron empleados durante toda la década del noventa del siglo pasado y los primeros años del nuevo siglo.

En los primeros años de este siglo los problemas asociados a la heterogeneidad espacial y la correlación espacial enunciados por Anselin (1988) se resolvieron, finalmente, con el desarrollo de la técnica de regresiones geográficamente ponderadas (GWR). Esta la diseñaron Fotheringham, Brundson y Charlton (2002) gracias a que, al desarrollar de manera conjunta ecuaciones particulares para cada uno de los datos empleados en los modelos a partir de ponderaciones de cercanía vinculadas con

distribuciones de probabilidad (como, por ejemplo, la normal), se eliminan los problemas de incluir en un solo modelo datos ubicados en distintos espacios geográficos, los cuales pueden, a su vez, tener parámetros con diferentes estimaciones que fluctúan dependiendo de su ubicación espacial. Es así como estas particularidades hacen la técnica GWR particularmente útil para el análisis del mercado inmobiliario, toda vez que la heterogeneidad y la correlación espacial de los datos son características particulares de los datos del sector.

Un par de años más tarde inició la historia del empleo de la técnica GWR en el mercado inmobiliario con el trabajo pionero de Yu (2004), quien a partir del análisis de 3500 datos del mercado inmobiliario de Milwaukee logró especificar modelos de precios hedónicos con altos niveles de ajuste en los que características tales como la edad, el tipo de piso, el área construida y la existencia de elementos como chimeneas o aires acondicionados explicaban gran parte de la variación en precios, aunque con particularidades bastante llamativas. Así, en gran parte de la ciudad la edad del inmueble redujo su precio, con excepción del casco histórico en donde la edad, en vez de reducirle el valor, lo agregó. De igual forma, se encontró que en los estratos altos el área parece no ser demasiado importante en la determinación del valor, pues aparentemente es más relevante la ubicación dentro del barrio que la extensión del inmueble.

Un par de años más tarde apareció otra de las aplicaciones más exitosas de la técnica GWR en el mercado inmobiliario. Lo anterior de la mano de Bitter, Mulligan y Dall' erba (2006), quienes emplearon más de 11 000 datos para estudiar el mercado residencial de Arizona, en Estados Unidos, y comparar la técnica con otro método bastante conocido: el método de expansión. En general, los resultados fueron bastante buenos, toda vez que variables como, por ejemplo, el tamaño del lote, la edad de la construcción, su estado de conservación y el área construida explicaron en gran medida los valores de los inmuebles y generaron datos de ajuste mucho más elevados que los observados con el método de expansión, con lo cual la técnica GWR se posicionó como una técnica ideal para el análisis del mercado inmobiliario.

En todo el mundo, uno de los trabajos más antiguos y reconocidos en los que se asocian los valores de los inmuebles con la actividad criminal fue el desarrollado por Rizzo (1979). Este autor, mediante datos del censo de

vivienda de los Estados Unidos, en conjunto con datos provenientes del departamento de policía de Chicago, diseñó especificaciones funcionales en el marco de los modelos de precios hedónicos, a fin de asociar los precios de las viviendas con hechos criminales. Así, encontró que variables típicamente empleadas en este tipo de trabajos como, por ejemplo, área construida, edad y tamaño del lote son estadísticamente significativas para explicar el precio de los activos, con la particularidad de que variables asociadas a actividades criminales y denominadas por el autor como “crimen contra la persona” y “crimen contra la propiedad” resultaron ser importantes al momento de definir los precios de las viviendas. De hecho, ambas presentan signos negativos, lo cual implica que este tipo de actividad criminal reduce el valor de los activos y se comporta como una especie de externalidad negativa que afecta de forma directa el valor de las viviendas cercanas a este tipo de hechos.

En este mismo sentido, un año más tarde Naroff, Hellman y Skinner (1980) diseñaron un modelo de precios hedónico para el mercado residencial de Boston en el que los precios de las viviendas correspondían a una función lineal de variables típicas del inmueble tales como área, tamaño de lote o edad, pero también de características de la población como, por ejemplo, su raza y nivel de desempleo, así como de las tasas de crímenes cometidos en las zonas de estudio. Los autores encontraron que los precios de las viviendas dependen no solo de sus características intrínsecas, sino también de los rasgos de la población y los crímenes cometidos en cada una de las zonas de estudio, comportándose estas como externalidades. En general, los resultados muestran que los crímenes cometidos en la zona reducen notoriamente el valor de las viviendas, hasta el punto en el que si se redujeran en un 5% los crímenes de la ciudad, los valores de la propiedad se incrementarían en un nivel que permitiría a la municipalidad incrementar sus ingresos en cerca de 25 millones de dólares solo por el recaudo de los impuestos a la propiedad de las viviendas, lo que, según el autor, serviría de argumento a fin de incrementar el presupuesto policial municipal de la ciudad que, para la época, era inferior a 50 millones de dólares.

De manera similar, Burnell (1988) analizó en Chicago la incidencia del crimen y la composición racial de sus habitantes en los valores de las viviendas de la zona, a partir del empleo de un conjunto de datos para las 71 áreas suburbanas de Chicago y el diseño de un modelo de precios hedónicos que incluía también aspectos tales como la

edad del inmueble, la distancia entre la vivienda y el centro de la ciudad, así como el número de habitaciones y los impuestos a la propiedad de cada inmueble. Encontró que la existencia de crímenes y de población de raza negra tienden a reducir el valor de las propiedades, convirtiéndolas en externalidades negativas que, como en el caso de la última, pueden generar discriminación y exclusión de este tipo de comunidades, con la excusa de que su presencia reduce el valor de los inmuebles.

Más recientemente, a comienzos del nuevo siglo, Buonanno, Motolio y Raya-Vilchez (2013) analizaron la incidencia del crimen en el valor de los apartamentos vendidos en Barcelona durante el 2004 y el 2006. A partir de la utilización de cerca de 1700 datos de inmuebles vendidos en la ciudad, los autores desarrollaron modelos matemáticos en los que el número de habitaciones, el área de los apartamentos, la edad, el piso del apartamento, la tasa de inmigración y la percepción del crimen explicaban su valor. Los resultados obtenidos les permitieron concluir que incrementos de una desviación estándar en la percepción de crimen por parte de la sociedad redujeron en promedio entre un 7,38% y un 11,6% el valor de los apartamentos, corroborando que el crimen afecta de forma negativa el valor de los activos inmobiliarios en las zonas de estudio.

En América Latina, los primeros trabajos relacionados con la técnica de regresiones geográficamente ponderadas, aplicados al mercado inmobiliario, comenzaron a ser publicados en la segunda década de este siglo con el trabajo pionero realizado por Agudelo, Duque y Velásquez (2011), quienes emplearon este tipo de modelos a fin de analizar la forma en que una estación del metro afecta el precio de las viviendas ubicadas en la Comuna n.º 13 de Medellín, para lo cual emplearon 89 informes de valoraciones inmobiliarias realizadas entre el 2008 y el 2009. Con estos informes se desarrollaron modelos para cada una de dichas viviendas, encontrando que variables como, por ejemplo, el número de baños, la edad, los garajes y el área construida influyen notoriamente en el valor de los inmuebles, al igual que la cercanía a la estación de transporte, lo cual tiende a incrementar los valores de las viviendas en la medida en que son más cercanas a ella.

Más recientemente, Martínez y Ospina (2018) emplearon más de 1800 datos de viviendas alquiladas en Medellín, junto con datos de la encuesta de calidad de vida de la ciudad, a fin de construir modelos de precios hedónicos en los que, además de las variables intrínsecas de los

inmuebles (como, por ejemplo, área, edad y tamaño de lote, entre otros), incluyeron una variable dicótoma asociada a la existencia de pandillas en la zona de ubicación del inmueble, con la que descubrieron la influencia negativa que tiene su existencia sobre la disposición a pagar por alquileres en las zonas afectadas por este flagelo, lo cual, además de afectar a los habitantes, daña de forma notoria los ingresos de los propietarios de estos activos.

Otros autores (Agudelo y Martínez, 2020; Ospina y Agudelo, 2020) han empleado la técnica GWR con el propósito de mostrar cómo los parques públicos, los estadios deportivos y otro tipo de infraestructuras públicas mejoran claramente el rendimiento de activos inmobiliarios, aunque este tipo de metodologías han sido empleadas para estudiar otro tipo de temáticas diversas (como las relacionadas con el estudio de la felicidad de las personas o las asociadas a la estabilidad macroeconómica de los países de América, tal como lo muestran Martínez y Agudelo [2020]).

De esta manera, el estudio busca encontrar evidencia de que los delitos contra la integridad y contra los bienes privados reducen el interés de pagar por los alquileres en el barrio Loma de Los Bernal, además de que permite cuantificar los porcentajes en los que se reducen los cánones de arrendamiento como consecuencia de este tipo de crímenes. Esto los convierte en externalidades negativas que afectan no solo el bienestar de los inquilinos, sino también los ingresos que perciben los propietarios por concepto de cánones de arrendamiento.

Este artículo se presenta novedoso, toda vez que —hasta donde tenemos conocimiento— es la primera vez que trata de establecerse una relación causal entre los cánones de arrendamiento de vivienda, el hurto de motocicletas y las lesiones personales en una zona de Medellín como la Loma de Los Bernal, la cual, tradicionalmente, ha sido habitada por individuos de estrato medio-alto. A continuación, se detalla la metodología empleada en el estudio, los datos utilizados y la descripción de la zona, para, finalmente, presentar los resultados del estudio y su discusión.

■ Método

El barrio Loma de Los Bernal es, en la actualidad, uno de los 22 barrios que componen la comuna Belén, en Medellín. Esta comuna se encuentra ubicada en el suroccidente

de la ciudad y es una de las 16 comunas y cinco corregimientos en las que se divide administrativamente la ciudad. Según los datos de la alcaldía municipal, Belén cuenta con 159 000 habitantes de nivel económico medio, agrupados en aproximadamente 70 000 hogares que corresponden al 7,8% del total de los hogares de la ciudad. La comuna Belén cuenta con un área de 883 hectáreas que corresponden al 9% del área total de la ciudad, y limita con la comuna Guayabal al oriente, con las comunas San Javier, La América y Laureles Estadio por el norte, y con el municipio de Itagüí por el sur, mientras que por el occidente limita con el corregimiento de Altavista.

La estructura urbana de Belén es bastante homogénea. Hacia el oriente se encuentran las tierras más planas, en donde se ubica una gran cantidad de viviendas unifamiliares, bifamiliares y trifamiliares, así como algunas multifamiliares, mientras que hacia el occidente se observan tierras mucho más pendientes en donde las viviendas son, en su mayoría, multifamiliares de estratos medios y medio bajos. En Belén, los habitantes de ingresos medios-bajos se encuentran usualmente en los barrios La Hondonada, El Rincón, Los Alpes, Aguas Frías, Las Mercedes y Las Violetas, que se ubican en las zonas occidentales de la comuna, mientras que los habitantes con mayores ingresos de Belén se encuentran en el barrio Loma de Los Bernal, ubicado en el suroccidente de la comuna, limitando con el barrio La Gloria y los barrios El Rincón y Altavista, ambos de estrato económico medio-bajo.

Belén cuenta con una importante cantidad de colegios y universidades públicas y privadas, además de una buena cantidad de unidades deportivas y espacios públicos de calidad, junto con dos centros comerciales de gran formato. Dentro de la comuna es posible desplazarse rápido de norte a sur a partir de un sistema vial que incluye las carreras 70 y 80, mientras que la avenida 33 la conecta con el centro de la ciudad. Como en todas las comunas de la ciudad el desplazamiento en horas pico es difícil, aunque el sistema de transporte masivo Metroplús permite reducir los tiempos de desplazamiento de sus habitantes y se espera que un futuro tranvía conecte a Belén con las comunas del norte de la ciudad y con una de las líneas del metro.

En este contexto, este trabajo busca presentar evidencia formal de que los crímenes representados por las lesiones personales y el hurto de motocicletas reducen la disposición a pagar los cánones de arrendamiento por

parte de los inquilinos en el barrio Loma de Los Bernal, constituyéndose estos dos hechos delictivos en externalidades negativas que reducen los valores de los alquileres residenciales, a la vez que minimizan los ingresos de los propietarios de los inmuebles.

A fin de desarrollar este análisis se emplearon 241 datos correspondientes a negocios de arrendamiento en el barrio Loma de los Bernal durante el 2017. Los datos utilizados los aportó la Lonja de Propiedad Raíz de Medellín y Antioquia, por lo cual es importante tener presente el hecho de que los datos empleados no corresponden a un muestreo aleatorio, sino a un grupo de datos de viviendas arrendadas durante el 2017 aportado por el gremio inmobiliario con el propósito de realizar este estudio, toda vez que en Colombia no existe obligación de algún tipo para entidades públicas o privadas de recopilar este tipo de datos de manera sistemática, y usualmente solo las asociaciones inmobiliarias tienden a compilarlos con el fin de entregarlos a sus propios asociados.

Las estadísticas descriptivas de la tabla I muestran las características de las viviendas que se analizaron en el estudio, entre las que se encuentran los cánones de arrendamiento, así como el área de la vivienda, la edad del inmueble, el número de garajes con que cuenta la vivienda, el total de inmuebles que existen en la copropiedad en la que se encuentra el inmueble, el número de lesiones personales y el hurto de motocicletas en la zona como variables explicativas. En la tabla I se muestran las estadísticas asociadas a los datos empleados.

Tabla I. Descripción de las características de los inmuebles

Característica	Promedio	Mínimo	Máximo
Canon	\$ 1 367 967	\$ 760 000	\$ 2 250 000
Edad	9	0	29
Inmuebles	206	0	600
Área	71	40	140
Garajes	1	0	2
Lesiones personales	1	0	6
Hurto motocicletas	0	0	2

Los datos utilizados contemplan distintos tipos de viviendas con áreas que oscilan entre 40 y 140 m², edades de construcción inferiores a 29 años y copropiedades que cuentan con 206 inmuebles en promedio. Con todo,

los cánones son en promedio de \$1 367 967, aunque los inmuebles más grandes y de construcción más reciente tienen alquileres que alcanzan \$2 250 000 por mes.

En la figura 1 se observa el plano de Medellín, desarrollado a partir del programa MapInfo. En él se registran las manzanas del barrio Loma de Los Bernal en gris y cada punto representa una vivienda alquilada durante el 2017 en la zona.

Con el fin de modelar la incidencia de las lesiones personales y el hurto de motocicletas en los cánones de arrendamiento de vivienda en la Loma de Los Bernal, se utilizaron las siguientes variables:

- *Canon.* Corresponde al canon de arrendamiento de una vivienda en la Loma de Los Bernal durante el 2017.
- *Edad.* Hace referencia al número de años que lleva construida una vivienda.
- *Inmuebles.* Indica el número de inmuebles que existen en la copropiedad en la que se encuentra ubicada la vivienda objeto de estudio.
- *Área.* Corresponde al área construida de una vivienda expresada en metros cuadrados.
- *Garaje.* Hace referencia al número de garajes con que cuenta una vivienda.
- *Lesiones personales.* Esta variable indica el número de lesiones personales ocurridas en el barrio en el momento en que se arrendó la vivienda analizada.
- *Hurto motocicletas.* Indica el número de motocicletas hurtadas en el barrio en el momento en el que se alquiló la vivienda.

Con estos datos se corrieron modelos de regresión geográficamente ponderada que, a partir del método de mínimos cuadrados, otorga ponderaciones a cada dato, dependiendo de su ubicación en el espacio. Con esto se obtuvo un modelo matemático de regresión global y 241 modelos particulares para cada dato. La metodología matemática de la técnica se explica a continuación.

En los modelos econométricos tradicionales usualmente se considera una regresión del tipo:

$$y_i = \beta_0 + \sum_k \beta_k X_{ik} + \varepsilon_i$$

O en forma matricial:

$$y = X\beta + U$$

En donde:

y: vector de dimensión de *n* observaciones de la variable endógena.

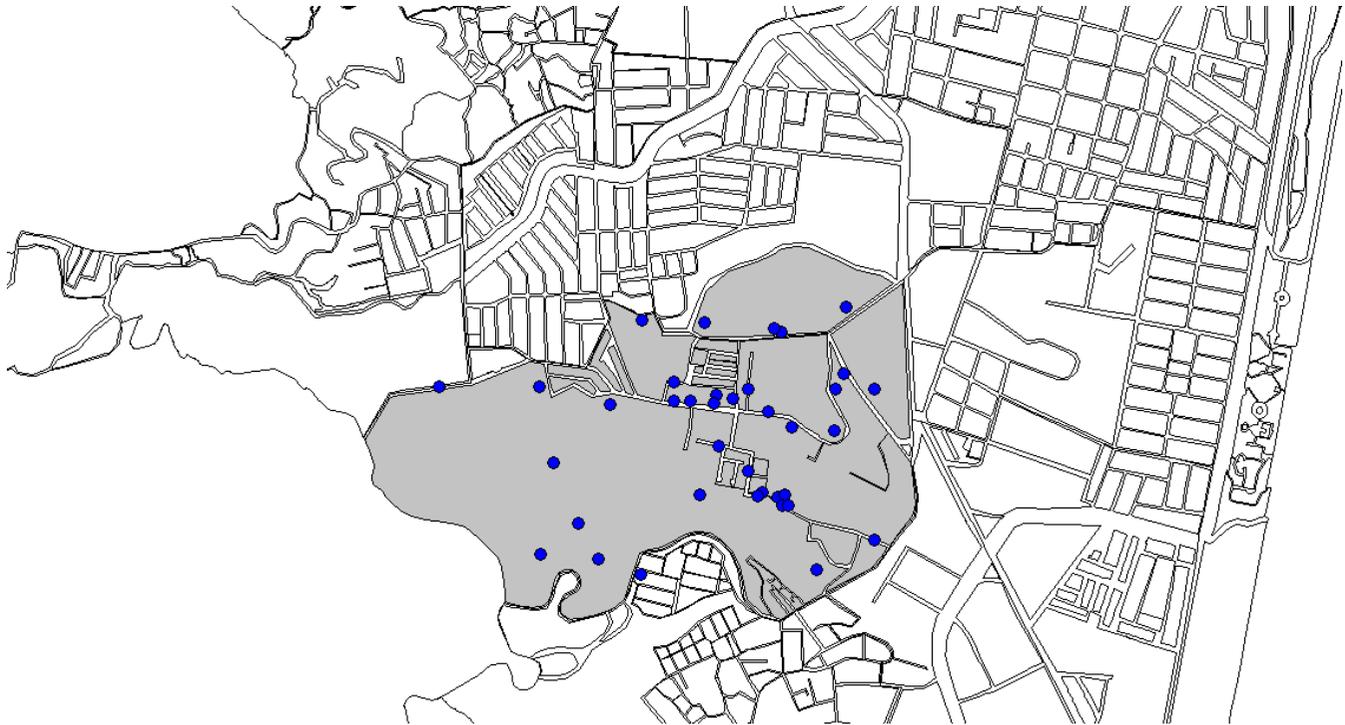


Figura 1. Plano de la zona. Fuente: elaboración propia con base en el software Mapinfo

X : matriz de dimensión, donde $k-1$ es la cantidad de variables exógenas del modelo.

b : vector de dimensión de parámetros de las variables exógenas.

U : vector de dimensión de perturbaciones aleatorias ruido blanco.

Utilizando el método de mínimos cuadrados ordinarios o el de máxima verosimilitud se puede obtener un estimador adecuado del vector de parámetros b :

$$\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T Y$$

Sin embargo, para variables que presentan el fenómeno de dependencia espacial debe utilizarse otro tipo de modelos llamados “modelos econométricos espaciales”, entre los cuales se encuentran los obtenidos por medio de regresiones geográficamente ponderadas, las cuales permiten estimar modelos locales para cada una de las observaciones:

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_k \beta_k(u_i, v_i) X_{ik} + \varepsilon_i$$

Donde (u_i, v_i) representan las coordenadas que describen la ubicación geográfica de la observación.

Mediante métodos de estimación tales como el de máxima verosimilitud o el de mínimos cuadrados ordinarios es posible estimar el vector de parámetros:

$$\beta(u_i, v_i) = [\beta_0(u_i, v_i), \beta_1(u_i, v_i) \dots \beta_k(u_i, v_i)]^T$$

Como se describe a continuación.

En el modelo lineal general $Y = X\beta + U$, premultiplicando por una matriz de ponderaciones T no singular, se obtiene:

$$TY = TX\beta + TU$$

La matriz de varianzas y covarianzas de TU es:

$$\sum_{TU} = E[(TU - E(TU))(TU - E(TU))^T]$$

Como:

$$E(TU) = TE(U) = 0, \text{ se tiene:}$$

$$\sum_{TU} = E[TU(TU)^T]$$

$$\sum_{TU} = E[TUU^T T^T]$$

$$\sum_{TU} = TE[UU^T]T^T$$

En los modelos en los que se utilizan datos con dependencia espacial se introduce de manera natural la heterocedasticidad (Chasco, 2003). Por tanto, asumiendo que este fenómeno se encuentra presente, se tiene:

$$\sum_U = E[UU^T] = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \sigma_n^2 \end{bmatrix} = \sigma^2 W^{-1}, \text{ con } W^{-1}$$

Y entonces,

$$\sum_{TU} = T\sigma^2 W^{-1}T^T$$

$$\sum_{TU} = \sigma^2 TW^{-1}T^T$$

De donde se deduce que para que no exista heteroscedasticidad en el modelo es necesario que:

$$TW^{-1}T^T$$

De donde despejando la matriz W, se obtiene:

$$W = T^{-1}T$$

Como el modelo lineal general considerado es $TY = T\beta + TU$, el estimador de β es:

$$\hat{\beta} = \left((TX)^T TX \right)^{-1} (TX)^T (TY)$$

$$\hat{\beta} = \left(X^T T^T TX \right)^{-1} X^T T^T Y$$

$$\hat{\beta} = \left(XTWX \right)^{-1} X^T WY$$

Por consiguiente, el estimador para el vector de parámetros $\beta (u, v)$ es:

$$\hat{\beta}(u_i, v_i) = \left(X^T W(u_i, v_i) X \right)^{-1} X^T W(u_i, v_i) Y$$

En donde $W(u, v)$ es la matriz de pesos espaciales de dimensión $(n \times n)$ de la observación correspondiente a las coordenadas (u, v) . Las componentes W_{ij} de dicha matriz se calculan a partir de una función kernel, en este caso a partir de la función gaussiana, la cual asigna una mayor ponderación a las observaciones más cercanas:

$$W_{ij} = \begin{cases} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{d_{ij}}{b} \right)^2 \right] & \text{si } d_{ij} < b \\ 0, \text{ en otro caso} \end{cases}$$

En donde d_{ij} es la distancia euclidiana entre el punto con coordenadas (u, v_i) y el punto de coordenadas (u, v_j) . El parámetro b se calcula a partir del criterio de validación cruzada:

$$CV = \min_b \sum_{i=1}^n [y_i - \hat{y}_i(b)]^2$$

Resultados

Al emplear los datos de 241 viviendas arrendadas durante el 2017, inicialmente se especificó un modelo de precios hedónicos a partir de un modelo econométrico tradicional del tipo logarítmico lineal. Con esto se obtuvo como resultado una ecuación que explica el 71% de la variación de los cánones en la zona de estudio. En la tabla 2 se presentan los resultados del modelo.

Tabla 2. Resultados globales

Parámetro	Estimado	Error Estándar.	T
Intercepto	13,484715	0,03336	404,18829
Edad	-0,007687	0,00095	-8,10066
Inmuebles	-0,0000015	0,00005	-0,03257
Área	0,008045	0,00042	18,93152
Garajes	0,142913	0,02525	5,65941
Lesiones personales	-0,007753	0,00397	-1,95074
Hurto motocicletas	-0,027685	0,01155	-2,39631

El modelo obtenido presenta resultados consistentes con lo observado en estudios similares para el mercado inmobiliario, como los realizados por Agudelo, Duque y Velásquez (2011), Martínez y Ospina (2018), Ospina y Agudelo (2020), Agudelo y Martínez (2020), Martínez y Ospina (2020), en los que se analizó el mercado inmobiliario de Medellín mediante la técnica GWR, con la interpretación usual para este tipo de ejercicios. Así, por ejemplo, un incremento de un año en la edad del inmueble genera, en promedio, una reducción del 0,769% en el canon de arrendamiento, mientras que la existencia de un garaje adicional en los inmuebles analizados provoca incrementos promedio del 14,29% en el canon de arrendamiento de la vivienda. El caso más práctico es aquel que involucra el área de la vivienda: un aumento de un metro cuadrado en el área del inmueble genera en promedio un aumento del alquiler de la vivienda del 0,805%. Sin embargo, los resultados más relevantes del modelo desarrollado muestran cómo las lesiones personales y el hurto de motocicletas reducen la disposición a pagar por el alquiler de las viviendas en la Loma de Los Bernal, en promedio, en 0,77% y 2,77%, respectivamente, lo que muestra cómo este tipo de crímenes se constituyen en externalidades negativas para el sector inmobiliario de la zona.

Sin embargo, como se explicó en el marco metodológico, según Fotheringham, Brundson y Charlton (2002), los

coeficientes de este tipo de modelos pueden variar en el espacio, lo cual implica que, por ejemplo, la incidencia de los crímenes sobre los cánones de arrendamiento varíe de forma notoria dependiendo de la ubicación específica del inmueble dentro del barrio. Esto quiere decir que incluso dentro de un mismo barrio algunos inmuebles estarán más afectados que otros por este tipo de externalidades. Como consecuencia de esto puede considerarse que la información obtenida a partir de modelos clásicos es correcta, pero incompleta, de manera que con el fin de obtener modelaciones mucho más precisas se empleó la técnica de regresiones geográficamente ponderadas, la cual permite obtener estimaciones de parámetros para cada uno de los 241 puntos de la muestra, con lo cual es posible registrar la variación de los parámetros en el espacio, tal como se observa en el ejemplo de la tabla 3.

Tabla 3. Resultados del modelo GWR

Parámetro	Inmueble 1	Inmueble 2	Inmueble 3
Intercepto	13,47512	13,64809	13,56923
Edad	-0,00746	-0,00616	-0,00559
Inmuebles	0,00003	0,00014	0,00017
Área	0,00813	0,00639	0,00594
Garajes	0,13354	0,05962	0,16396
Lesiones personales	-0,00756	-0,00851	-0,01058
Hurto motocicletas	-0,02017	-0,04983	-0,03794

En la tabla 3 se observa cómo la técnica GWR permite obtener parámetros diferentes para cada uno de los puntos de estudio, haciendo las estimaciones mucho más certeras. Un ejemplo claro es el asociado al parámetro edad, el cual muestra cómo se reduce el canon de arrendamiento de una vivienda en la zona por cada año que tiene el inmueble de construido. En el caso del inmueble 1, por ejemplo, por cada año adicional que tiene la vivienda de construida el canon de arrendamiento se reduce en promedio en 0,746%, mientras que en el caso del inmueble 3 por cada año adicional de construida la vivienda el alquiler se reduce, en promedio, en 0,559%, lo cual implica que la depreciación de las viviendas no sigue una escala lineal como habitualmente se supone, sino que más bien algunas viviendas se deprecian mucho más rápido que otras. Algo similar ocurre con los coeficientes de la variable área de los inmuebles estudiados: en el caso del inmueble 3, por cada metro cuadrado adicional que posee la vivienda, el alquiler se incrementa en promedio en 0,594%, mientras

que en el caso del inmueble 1 el aumento del canon de arrendamiento alcanza a ser en promedio del 0,813%, lo cual evidencian que la valorización de los inmuebles no es lineal ni continua, sino cómo más bien algunos inmuebles se valorizan en mayor medida y más rápido que otros.

Tal y como indica Rizzo (1979), los crímenes contra las personas y la propiedad tienden a reducir los valores de la propiedad raíz, de manera que ciertos tipos de delito tienden a afectar en mayor o menor medida el mercado inmobiliario. En el caso de la Loma de Los Bernal, durante el periodo de estudio se conoció empíricamente que las lesiones personales y el hurto de motocicletas fueron factores que pudieron desalentar el alquiler de vivienda en la zona. En el caso de los coeficientes, algo similar ocurre con la incidencia de los delitos en los cánones de arrendamiento: es diferente para cada vivienda, de manera que en el caso de las lesiones personales, por cada uno de estos delitos, el canon de arrendamiento se reduce en promedio en 0,756% en el caso del inmueble 1, mientras que en el caso del inmueble 3 la reducción es, en promedio, del 1,058%, es decir, los cánones de arrendamiento son mucho más sensibles a estas externalidades en este caso que en el caso del inmueble 1. Algo similar ocurre con el hurto de motocicletas: en el caso del inmueble 1, los cánones de arrendamiento se reducen en promedio en 2,017% por cada motocicleta robada, mientras en el caso del inmueble 2, la reducción en los alquileres es del doble y alcanza el 4,98% por cada delito de este tipo cometido, con lo cual el efecto de la externalidad es mucho mayor en este tipo de viviendas. De esta manera, gracias a que la técnica GWR permite generar modelos para cada uno de los puntos estudiados y, por ende, estimados de parámetros para cada una de las ecuaciones, es posible graficar los parámetros de cada una de las ecuaciones y generar superficies de coeficientes en las que se observa la influencia de cada una de las variables en los alquileres de las viviendas.

En la figura 2 se presentan los distintos coeficientes que toma el parámetro de la variable lesiones personales en el barrio Loma de Los Bernal. Los colores rojos muestran las menores incidencias y los verdes las mayores influencias en los cánones de arrendamiento. La imagen muestra que las lesiones personales tienen mayor influencia en los cánones de arrendamiento de las viviendas ubicadas en la zona norte y oriental del barrio —que son aquellas más exclusivas—, de manera que se reducen los cánones entre

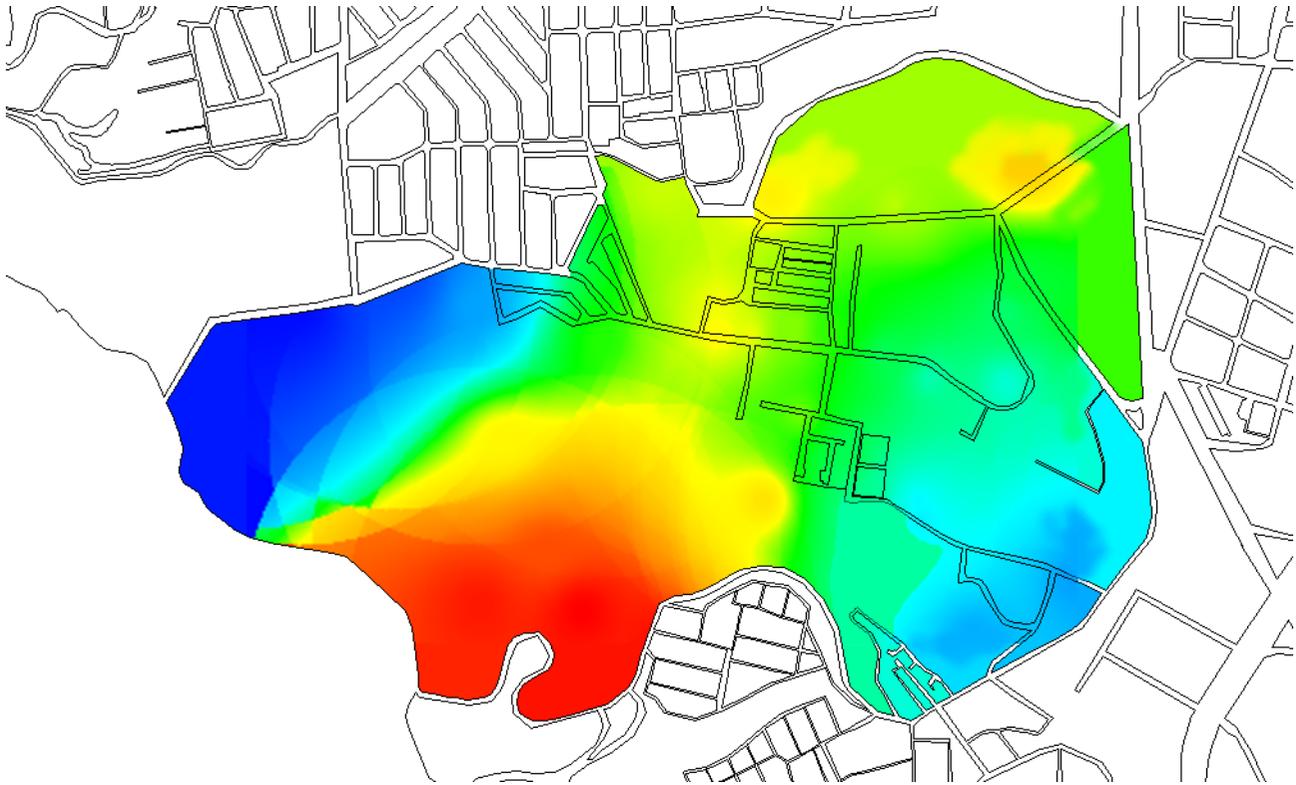


Figura 2. Coeficiente lesiones personales

Fuente: elaboración propia con base en el software Mapinfo

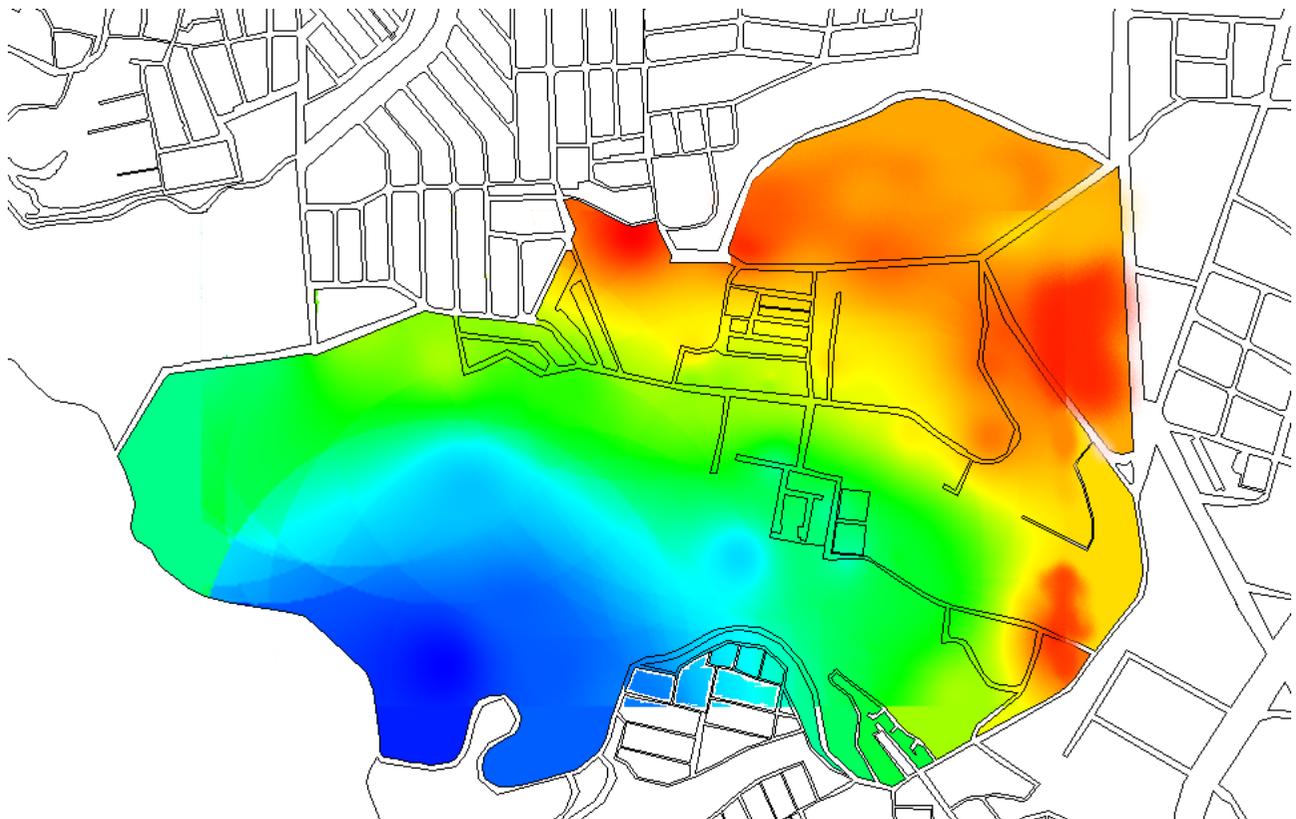


Figura 3. Coeficiente hurto motocicletas

un 0,89% y un 1,65%, mientras que los menores efectos sobre los alquileres se registran en el sur y el occidente del barrio en límites con el barrio de estrato medio-bajo El Rincón, exhibiendo reducciones en los alquileres de vivienda de entre el 0,28% y el 0,84%, posiblemente como consecuencia de su cercanía a zonas con menor desarrollo y mayor actividad delictiva. Algo similar sucede con el hurto de motocicletas: el mayor efecto negativo sobre los cánones de arrendamiento se observa en las zonas en las que se encuentran los inmuebles más costosos en la zona norte y oriental del barrio, en límites con la avenida 80 y el barrio La Gloria, en donde las reducciones en los cánones oscilan entre el 3,06% y el 4,98%. Por otra parte, los menores efectos sobre los alquileres de vivienda como consecuencia del hurto de motocicletas se registran en la zona sur y occidental del barrio, en límites con el barrio El Rincón, en donde los cánones se reajustan a la baja en porcentajes que fluctúan entre 0,15% y 2,96%.

■ Discusión

En este trabajo se empleó la técnica de regresiones geográficamente ponderadas con el fin de analizar la forma en la que las lesiones personales y los hurtos de motocicletas reducen la disposición a pagar de los inquilinos por viviendas en arriendo, constituyéndose en una externalidad negativa. Los resultados de este estudio son congruentes con los obtenidos en otro tipo de estudios, en los cuales se hace patente la afectación que sufre el mercado inmobiliario cuando se presentan conductas delictivas en las intermediaciones de los inmuebles.

La externalidad negativa observada en el mercado inmobiliario por los crímenes contra la vida y la propiedad en el barrio Loma de Los Bernal es coherente con los postulados y los hallazgos de diversos autores como, por ejemplo, Agudelo y Ospina (2020). De esta manera, los resultados observados en este estudio presentan simetrías con los encontrados por otros autores alrededor del mundo. En este sentido, es posible considerar los efectos directos de crímenes tales como los analizados en este trabajo sobre la vida y el patrimonio de los afectados, pero también deben tenerse en cuenta los efectos indirectos que generan estos crímenes sobre el patrimonio de las familias que enfrentan menores precios de sus inmuebles y perciben cánones de arrendamiento más bajos como consecuencia de una menor disposición a pagar de los inquilinos por inmuebles ubicados en zonas inseguras.

En este sentido, autores como Naroff et al. (1980) han considerado incluso que aumentos en los presupuestos policiales que se traduzcan en reducciones en los crímenes contra la vida y los bienes de los ciudadanos pueden provocar, de hecho, mejoras en los presupuestos públicos de las ciudades, como consecuencia del incremento en los valores de los inmuebles que se traducen en mayores ingresos por concepto de impuestos a la propiedad, mientras que, por otra parte, ciudades más seguras atraen muchos más visitantes y residentes de otras zonas del país, lo que mejora también los ingresos municipales.

En cuanto a las implicaciones prácticas de este estudio, se estima que la influencia conjunta de los hurtos de motocicletas y de las lesiones personales sobre los alquileres de las viviendas en la Loma de Los Bernal se encuentra entre el 4% y el 6% de los cánones para cerca del 50% de los inmuebles analizados, por lo cual una mayor comprensión por parte de la sociedad de este tipo de efectos sobre su patrimonio e ingresos podría implicar una mayor presión social que desemboque en la asignación de mayores presupuestos para combatir el crimen, así como en la exigencia de castigos más severos para quienes atentan no solo contra las vidas y los bienes materiales de las personas, sino también contra el patrimonio de los integrantes de la sociedad, toda vez que afecta el rendimiento de sus activos inmobiliarios.

■ Conclusiones

A partir del estudio realizado se evidencia cómo los crímenes contra la integridad y los bienes de los habitantes del barrio Loma de Los Bernal, en Medellín, afectan el mercado de arrendamiento de vivienda de la zona, convirtiéndose en una externalidad negativa que, además de disminuir el bienestar de los inquilinos, reduce el valor de los alquileres y afecta así los ingresos de los propietarios de las viviendas arrendadas. En el modelo global de precios hedónicos, calculado a partir de 241 datos de arrendamientos, se observaron reducciones promedio en los alquileres del 0,756% por cada lesión personal ocurrida en el barrio, y de 2,02% por cada motocicleta hurtada en la zona de estudio.

Por otra parte, gracias al enfoque de regresiones geográficamente ponderadas es posible desagregar el efecto de los crímenes en los cánones de arrendamiento para cada uno de los datos empleados, de manera que, por ejemplo, la mayor afectación en los cánones de arrendamiento se observa en las zonas norte y oriental de la Loma de los

Bernal, la cual limita con los barrios de estrato medio y medio-alto como La Mota y La Gloria, hasta el punto de reducir los cánones en un 4,98% por cada motocicleta hurtada y un 1,65% por cada lesión personal llevada a cabo en el barrio. Por otra parte, las menores afectaciones se observan en la zona occidental del barrio que limita con zonas de estrato medio bajo como El Rincón y Altavista, donde los alquileres de vivienda se reducen, en promedio, en un 0,15% por cada motocicleta robada y en un 0,28% por cada lesión personal ocurrida en la zona.

Hasta donde tenemos conocimiento, este es uno de los primeros trabajos realizados en Colombia en el que se combinan datos del mercado de arrendamiento de vivienda con datos de crímenes, con el fin de mostrar cómo los delitos que alteran la convivencia de las comunidades reducen los cánones de arrendamiento de las viviendas, transformándose en una externalidad negativa que afecta no solo el bienestar de la sociedad, sino también sus intereses económicos.

Próximos trabajos estarán enfocados en desarrollar modelos de series temporales en los que se muestre cómo las dificultades en temas de seguridad aminoran las ventas de vivienda nueva en el Valle de Aburrá, en comunas como Robledo o municipios como Bello.

Referencias

- Agudelo, J., Duque, J., & Velásquez, H. (2011). Infraestructura pública y precios de vivienda: una aplicación de regresión geográficamente ponderada en el contexto de precios hedónicos. *Ecos de Economía*, 15(33), 95-122.
- Agudelo, J., & Ospina, O. (2020). *Property valuation using three-dimensional probability distributions*. Medellín: Optimal Books.
- Agudelo, K., & Martínez, D. (2020). *International economics a mathematical approach*. Medellín: Optimal Books.
- Anselin, L. (1988). *Spatial econometrics: methods and models*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Basu, S., & Thibodeau, T. (1998). Analysis of spatial autocorrelation in house prices. *Journal of Real Estate Finance and Economics*, 17, 61-85.
- Beatty, J. (1952). Rental real estate often a good investment. *Journal of Real Estate Finance and Economics*, 5(6), 93-94.
- Bitter, C., Mulligan, G., & Dall'Erba, S. (2006). Incorporating spatial variation in housing attribute prices: a comparison of geographically weighted regression and the spatial expansion method. *Journal of Geographical Systems*, 9(1), 7-27.
- Buonanno, P., Montolio, D., & Raya-Vílchez, P. (2013). Housing prices and crime perception. *Empirical Economics*, 45(1), 305-321.
- Burnell, J. (1988). Crime and racial composition in contiguous communities as negative externalities. *American Journal of Economics and Sociology*, 47, 177-193.
- Can, A. (1992). Specification and estimation of hedonic house price models. *Regional Sciences and Urban Economics*, 22, 453-474.
- Chasco, C. (2003). *Econometría espacial aplicada a la predicción-extrapolación de datos microterritoriales*. Madrid: Consejería de Economía e Innovación Tecnológica. Comunidad de Madrid.
- Dewey, L. & DeTuro, P. (1950). Should I invest in real estate? *Journal of Real Estate Finance and Economics*, 28(3), 85-93.
- Fotheringham, A., Brunsdon, C. & Charlton, M. (2002). *Geographically weighted regression: the analysis of spatially varying relationships*. West Sussex, GB: John Wiley and Sons.
- Lancaster, K. (1966). A new approach to consumer theory. *Journal of Political Economy*, 74(1), 132-157.
- Naroff, J., Hellman, D., & Skinner, D. (1980). The Boston experience: estimates of the impact of crime on property values. *Growth Change*, 11, 24-30.
- Martínez, D., & Agudelo, K. (2020). *Basic econometrics a mathematical approach*, Medellín: Optimal Books.
- Martínez, D., & Ospina, O. (2020). *Financial instruments a mathematical approach*. Medellín: Optimal Books.
- Martínez, D., & Ospina, O. (2018). Incidencia de las pandillas en los cánones de arrendamiento de vivienda en Medellín durante 2015. *Revista Espacios*, 39(13).
- Ospina, O., & Agudelo, J. (2020). *Infrastructure and lease market in Medellín an analysis using geographically weighted regressions*. Colombia: Optimal Books.
- Rizzo, M. (1979). The effect of crime on residential rents and property values. *The American Economist*. 23(1), 16-21.
- Rosen, S. (1974). Hedonic prices and implicit markets: product differentiation and pure competition. *Journal of Political Economy*. 82, 34-55.
- Yu, D. (2004). *Modeling housing market dynamics in the city of Milwaukee: a geographically weighted regression approach*. Recuperado de <http://www.ucgis.org/ucgisfall2004/studentpapers/files/danliny.pdf>