

---

**EFFECTO DE UN ESTADIO DEPORTIVO  
EN LOS PRECIOS DE ARRENDAMIENTO  
DE VIVIENDAS: UNA APLICACIÓN  
DE REGRESIÓN PONDERADA  
GEOGRÁFICAMENTE (GWR)**

**The Effect of a Sports  
Stadium on Housing Rents: An  
Application of Geographically  
Weighted Regression (GWR)**

Jorge Enrique Agudelo Torres, Gabriel  
Alberto Agudelo Torres, Luis Ceferino Franco  
Arbeláez, Luis Eduardo Franco Ceballos

---

Research Article

## EFFECTO DE UN ESTADIO DEPORTIVO EN LOS PRECIOS DE ARRENDAMIENTO DE VIVIENDAS: UNA APLICACIÓN DE REGRESIÓN PONDERADA GEOGRÁFICAMENTE (GWR)

### The Effect of a Sports Stadium on Housing Rents: An Application of Geographically Weighted Regression (GWR)

Jorge Enrique Agudelo Torres\*, Gabriel Alberto Agudelo Torres\*\*, Luis Ceferino Franco Arbeláez\*\*\*, Luis Eduardo Franco Ceballos\*\*\*\*

#### Resumen

Los investigadores han determinado que los precios de bienes raíces varían de forma continua en función de las características espaciales. En este estudio examinamos si la regresión ponderada geográficamente (GWR) ofrece estimaciones diferentes de los efectos de los precios alrededor de un estadio deportivo a los de las técnicas más tradicionales de regresión. Encontramos que el estadio tiene un efecto externo negativo sobre los alquileres de vivienda que se extiende 560 metros lineales mediante la aplicación de GWR con precios hedónicos, en contraste con el efecto externo positivo sobre los alquileres de vivienda encontrada usando una técnica de estimación convencional.

#### Abstract

Researchers have determined that real estate prices vary in continuous ways as a function of spatial characteristics. In this study we examine whether geographically-weighted regression (GWR) provides different estimates of price effects around a sports stadium than more traditional regression techniques. We find that an application of GWR with hedonic prices finds that the stadium has a negative external effect on housing rents that extends outward 560 meters, in contrast to the positive external effect on housing rents found using a conventional estimation technique.

#### 1. Introducción

Desde los años cincuenta del siglo pasado se ha estudiado el comportamiento de la propiedad raíz, en temas relacionados con su valorización y rentabilidad (Dewey & DeTuro, 1950; Beaty, 1952). Solo a partir de los primeros años de la década de

**Palabras clave:** Alquiler de viviendas; Regresión ponderada geográficamente; Colombia.

**Keywords:** Housing Rents, Geographically Weighted Regression; Colombia

**JEL Codes:** C33; C51; C21, C53.

**Received:** 26/02/2015

**Accepted:** 24/04/2015

**Published:** 30/06/2015

\* Instituto Tecnológico Metropolitano - ITM, Medellín, Colombia. Email: [agudelotorres@hotmail.com](mailto:agudelotorres@hotmail.com)

\*\* Instituto Tecnológico Metropolitano - ITM, Medellín, Colombia. Email: [albertoagudelo@itm.edu.co](mailto:albertoagudelo@itm.edu.co)

\*\*\* Instituto Tecnológico Metropolitano - ITM, Medellín, Colombia. Email: [luisfranco@itm.edu.co](mailto:luisfranco@itm.edu.co)

\*\*\*\* Instituto Tecnológico Metropolitano - ITM, Medellín, Colombia. Email: [luisefranco@itm.edu.co](mailto:luisefranco@itm.edu.co)

los setenta comenzaron a establecerse relaciones funcionales entre los precios de los inmuebles y sus características ([Rosen, 1974](#)), tomando como referencia el trabajo pionero de [Lancaster](#) (1966) titulado “Una nueva aproximación a la teoría del consumidor”. Según él, la utilidad de los bienes está definida por sus características. A partir de esta teoría varios autores clasificaron las características de los inmuebles con el fin de evitar sesgos de especificación o errores de omisión de variables relevantes en los modelos. Fue así como [Can](#) (1992) clasificó los atributos del inmueble en: características estructurales, que son aquellas inherentes al bien; características del vecindario, que son las relacionadas con el entorno de la propiedad, y la fecha de recolección de datos, que es una numeración asociada a la fecha de la transacción comercial con el fin de evitar sesgos relacionados con el valor presente del inmueble. Por otra parte, autores como [Basu y Thibodeau](#) (1998) clasificaron los atributos del inmueble según aspectos relacionados con el terreno, el uso del suelo, las mejoras, la accesibilidad, la cercanía de externalidades y la época de recolección de los datos, todo esto con el fin de evitar problemas por omisión de variables relevantes en los modelos.

[Sheppard](#) (1999) resaltó la importancia del análisis de precios hedónicos en el mercado de vivienda a pesar de las dificultades asociadas a la estimación de las funciones, la existencia de datos inadecuados y el empleo de variables proxy cuando no están disponibles algunos datos relacionados con las características de los inmuebles. Adicionalmente, en este tipo de análisis existen algunas dificultades, ya que en el contexto de la econometría tradicional se omite la variabilidad que genera en los datos su ubicación espacial. Esto puede generar la aparición de dos problemas en el modelo ([Anselin, 1988](#)): uno relacionado con la dependencia espacial de los datos y otro asociado con la heterogeneidad espacial, según la cual los parámetros y las formas funcionales no son constantes en el espacio.

En este contexto marcado por datos dependientes y heterogéneos espacialmente, la técnica de regresiones geográficamente ponderadas o GWR incorpora en la modelación las características espaciales de los datos, permitiendo la existencia de coeficientes de regresión que varían de acuerdo a su ubicación geográfica.

En los últimos años se han realizado algunos estudios del mercado de la propiedad raíz a través de la técnica GWR. Una de las primeras aplicaciones conocidas fue la de [Yu](#) (2004), quien analizó el mercado de la propiedad raíz en Milwaukee, Wisconsin (EE. UU.), empleando un poco más de 3.400 datos provenientes del registro de propiedades maestras, en 2003, de la ciudad. En el modelo especificado, el precio de los inmuebles fue explicado por variables como la edad del inmueble, el área, el número de baños, la existencia de aire acondicionado y los suelos imperfectos. Los resultados se obtuvieron empleando la técnica GWR: el primero está relacionado con la edad de las viviendas, que en algunos casos reduce el valor del inmueble y en otros lo agrega como resultado del valor histórico de las propiedades; el segundo resultado indica que, a excepción del área del inmueble, las demás características son estadísticamente significativas o no dependiendo de la ubicación geográfica. El último resultado permite concluir que la proximidad de las propiedades al lago Michigan hace que sus precios sean superiores.

Posteriormente [Bitter, Mulligan y Dall'erba](#) (2006) estudiaron el mercado inmobiliario de Tucson, Arizona (EE. UU.), a través del procesamiento de un poco más de 11.000 datos, con los que estimaron un modelo GWR de precios hedónicos en el que el precio de venta del inmueble era explicado por variables como el área del lote, el área construida, la calidad, la historia y la edad de la vivienda, obteniendo como resultado un alto poder explicativo, en el que todas las variables resultaron ser estadísticamente significativas.

[Selim](#) (2009) analizó los determinantes de los precios de las viviendas en Turquía empleando 5.741 datos correspondientes a la encuesta de presupuestos familiares de 2004. Para ello utilizó modelos de precios hedónicos a partir de la técnica GWR y de las redes neuronales artificiales, encontrando que el tipo, área y número de habitaciones de la vivienda, así como la existencia de piscina y características de localización de la misma, afectan significativamente el precio de los inmuebles.

[Lu, Charlton y Fotheringham](#) (2011) emplearon regresiones geográficamente ponderadas con distancias no euclidianas para analizar los precios de las viviendas en Londres, a fin de evitar el impacto que tienen las barreras naturales o físicas en las ecuaciones cuando se emplean distancias euclidianas. Los resultados muestran que las distancias no euclidianas mejoran las estimaciones, aunque en unos niveles muy bajos, como lo muestran los valores de los coeficientes de determinación de las ecuaciones.

Los trabajos realizados empleando la técnica GWR en el sector inmobiliario son pocos. Sin embargo, los estudios existentes ponen de relieve la importancia de esta técnica, ya que permite identificar cambios en los signos y en las magnitudes de los parámetros conforme varían en el espacio, así como la significancia de cada una de las ecuaciones del modelo.

[Hernández](#) (2013), analizando la valoración de la vivienda en Medellín (Colombia), afirmó que el barrio Estadio pasó de ser un envidiado sector de clase media-alta y alta a una especie de gueto que se ha ido pauperizando con los años, en el que sus cómodas residencias se han devaluado hasta en un 50% y donde los días de fecha futbolera son un castigo.

En este artículo se investiga la influencia del estadio Atanasio Girardot en los cánones de arrendamiento de vivienda en su entorno, por medio de una aplicación de la regresión geográficamente ponderada, en el contexto de precios hedónicos. Para esto, se emplean los datos proporcionados por la Lonja de Propiedad Raíz de Medellín y Antioquia, correspondiente a un estudio sobre las viviendas disponibles para arrendamiento en el barrio Estadio de Medellín durante el año 2010.

Después de esta introducción, en el artículo se presenta la metodología de regresión geográficamente ponderada; luego, se explican las características del caso de estudio y de los datos empleados; posteriormente, se presentan los resultados del estudio, su interpretación y algunas conclusiones relevantes.

## 2. Metodología

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

$$y_i = \beta_0 + \sum_k \beta_k \chi_{ik} + \varepsilon_i \quad (1)$$

O en forma matricial:

$$y = X\beta + U$$

donde:

y: Vector de dimensión de n observaciones de la variable endógena.

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

$\beta$ : 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  $\beta$ :

$$\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (2)$$

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:

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_k \beta_k(u_i, v_i) \chi_{ik} + \Sigma \quad (3)$$

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  $E(TU) = TE(U) = 0$ , se tiene:

$$\begin{aligned} \sum_{TU} &= E[TU(TU)^T] \\ \Rightarrow \sum_{TU} &= E[TUU^T T^T] \\ \Rightarrow \sum_{TU} &= TE[UU^T]T^T \end{aligned} \quad (4)$$

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

$$\sum_U = E[UU^T] = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \sigma_n^2 \end{bmatrix} = \sigma^2 W^{-1}, \text{ con } W^{-1} \neq I \quad (5)$$

Y entonces,

$$\begin{aligned} \sum_{TU} &= T\sigma^2 W^{-1} T^T \\ &= \sigma^2 TW^{-1} T^T \end{aligned} \quad (6)$$

De la ecuación (6) se deduce que para que no exista heterocedasticidad en el modelo es necesario que  $TW^{-1} T^T$ . Despejando la matriz  $W$ , se obtiene:

$$W = T^T T \quad (7)$$

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

$$\begin{aligned} \hat{\beta} &= ((TX)^T TX)^{-1} (TX)^T (TY) \\ \Rightarrow \hat{\beta} &= (X^T T^T TX)^{-1} X^T T^T Y \\ \Rightarrow \hat{\beta} &= (XTWX)^{-1} X^T WY \end{aligned}$$

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

$$\hat{\beta}(u_r, v_r) = (X^T W(u_r, v_r) X)^{-1} X^T W(u_r, v_r) Y \quad (8)$$

donde  $W(u_r, v_r)$  es la matriz de pesos espaciales de dimensión  $(n \times n)$  de la observación correspondiente a las coordenadas  $(u_r, v_r)$ . Las componentes  $W_{ij}$  de dicha matriz son calculadas a partir de una función kernel, usualmente la función gaussiana, la cual asigna una mayor ponderación a las observaciones más cercanas y una de cero si la distancia entre las dos observaciones supera la distancia  $b$ , conocida como el ancho de banda.

$$W_{ij} = \begin{cases} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{d_{ij}}{b}\right)^2\right] & \text{si } d_{ij} < b \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (9)$$

donde  $d_{ij}$  es la distancia euclidiana entre el punto con coordenadas  $(u_r, v_r)$  y el punto con coordenadas  $(u_r, v_r)$ .

El parámetro  $b$  es calculado mediante el criterio de validación cruzada (CV):

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

### 3. Caso de estudio

El barrio Estadio es un sector de estrato medio alto y tamaño medio ubicado en el centro-occidente de Medellín, Colombia, el cual contaba en 2010, según la alcaldía de la ciudad, con 1.990 viviendas, de las cuales 1.907 se encontraban catalogadas como estrato 5 y 83 como estrato 4.

La estructura urbana del barrio Estadio es heterogénea, con predominio de inmuebles residenciales bifamiliares, trifamiliares y multifamiliares construidos, en su mayoría, en los últimos quince años

en el centro del barrio. En el contorno se encuentran vías con usos comerciales importantes como la carrera 74, a lo largo de la cual se encuentra un centro comercial poco consolidado, gimnasios, bancos y frente a ellos la unidad deportiva dentro de la que se encuentra el estadio Atanasio Girardot; la carrera 80, que cuenta con una estación del metro, una estación de gasolina, bancos y numerosos restaurantes; la calle 50, que presenta usos comerciales variados y separa el barrio de una instalación militar; y finalmente, la calle 48, que presenta usos comerciales tradicionales y separa el barrio del viaducto del metro de la ciudad.

Con el desarrollo de la ciudad, a principios del siglo pasado se decidió la construcción del estadio de fútbol municipal, que fue inaugurado en 1953 y al cual fueron añadiéndosele múltiples escenarios deportivos, generando un cambio urbanístico en las zonas aledañas que pasaron de ser netamente residenciales a convertirse en una mezcla residencial-comercial, particularmente sobre las vías que limitan directamente con la unidad deportiva. En la unidad deportiva se encuentran, además del estadio Atanasio Girardot, el coliseo cubierto Iván de Bedout, el diamante de béisbol Luis Alberto Villegas, el estadio de atletismo Alfonso Galvis Duque, el coliseo auxiliar Yesid Santos y un conjunto de piscinas construidas con ocasión de los Juegos Suramericanos de 2010.

En los últimos años ha habido discusiones respecto al papel que desempeña el estadio en la ciudad, toda vez que pasó de ser una zona de encuentro en torno al deporte, a convertirse en un lugar poco recomendado cuando se juegan partidos de fútbol, ya que los fanáticos de los equipos continuamente protagonizan disturbios dentro del estadio y en sus alrededores, lo que en algunos casos ha ocasionado la muerte de varios de ellos. En los últimos años estos hechos han evolucionado a tal punto que algunos de los residentes han decidido cambiar su lugar de residencia, para lo cual han tratado de vender o alquilar sus viviendas.

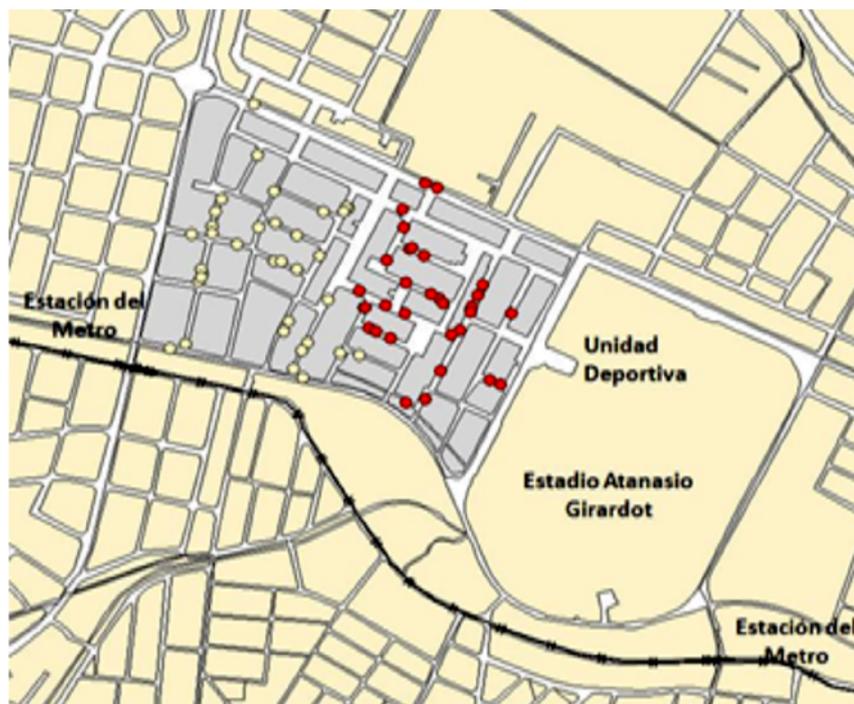
La motivación del estudio se centra en presentar evidencia de que la unidad deportiva y particularmente el estadio Atanasio Girardot influye negativamente en los cánones de arrendamiento de las viviendas del barrio Estadio, debido a que desestimula a los potenciales arrendatarios de alquilar una vivienda en él. De esta manera la cercanía a la unidad deportiva constituye una externalidad negativa para las viviendas de la zona.

### 3.1 Datos

Para desarrollar el estudio se emplearon datos correspondientes a 88 cánones de arrendamiento de viviendas que se alquilaron durante 2013 en el barrio Estadio. En total la muestra representa el 4,56% del total de viviendas del barrio; sin embargo, debe tenerse en cuenta que no todas las viviendas se encuentran arrendadas y que tampoco todas estaban en oferta o se arrendaron durante 2013.

Los datos empleados fueron aportados por la Lonja de Propiedad Raíz de Medellín y Antioquia y se obtuvieron a partir de un estudio que realiza dicha empresa mensualmente en los principales barrios de la ciudad. La metodología de recolección de datos implica un recorrido mensual por el barrio, detectando visualmente avisos de ofertas de arrendamiento. Una vez se tiene una oferta de arrendamiento, se hace un contacto telefónico y se consultan aspectos relacionados con el inmueble. Mensualmente se verifica la información del inmueble hasta que es alquilado. Este tipo de metodología entrega información primaria de buena calidad que permite hacer un seguimiento al mercado inmobiliario de la zona.

**Figura 1. Plano de la zona**



Fuente: Elaboración de los autores a partir de datos de la Lonja de Propiedad Raíz, Medellín.

En la [Figura 1](#) se observa el plano de la zona, donde cada punto representa un dato de oferta de arrendamiento. También se aprecia la localización de dos estaciones del metro, el viaducto del metro, la unidad deportiva y el estadio Atanasio Girardot.

Las estadísticas descriptivas de la [Tabla 1](#) muestran la diversidad de las viviendas en arrendamiento de la zona, que incluyen desde apartaestudios de 30 m<sup>2</sup> hasta casas de 256 m<sup>2</sup>, con cánones que oscilan entre \$420.000 y \$2.800.000 por mes:

**Tabla 1. Descripción de la muestra de viviendas**

	Máximo	Mínimo	Promedio
Canon mensual	2.800.000	420.000	1.063.793
Área (m <sup>2</sup> )	256	30	101
No. de garajes	4	0	1
Alcoba de servicio	1	0	
Distancia (m <sup>2</sup> )	926	207	564

Las variables empleadas para desarrollar el estudio, así como los signos esperados de las mismas, se encuentran en la [Tabla 2](#).

**Tabla 2. Definición de las variables**

Variable	Definición	Signo esperado
Inmueble	Es una variable dicótoma, toma el valor de 0 si la vivienda es un apartamento y de 1 si es una casa.	Negativo. Las casas de la zona por tener áreas tan grandes son menos deseables que los apartamentos y deben tener cánones de arrendamiento relativamente inferiores.
Área (m <sup>2</sup> )	Es el área construida de la vivienda, medida en metros cuadrados.	Positivo. Mientras mayor es el área, mayor es el canon de arrendamiento de la vivienda.
No. de garajes	Es el número de garajes privados con que cuenta una vivienda.	Positivo. Mientras más garajes tenga una vivienda, mayor debe ser el canon de arrendamiento.
Alcoba de servicio	Es una variable dicótoma, toma el valor de 0 si la vivienda no tiene alcoba de servicio y 1 en caso de tenerla.	Positivo. Una vivienda con alcoba de servicio se alquila por un mayor precio.
Distancia al estadio (m <sup>2</sup> )	Es la distancia entre la vivienda y el estadio Atanasio Girardot.	Positivo. Mientras más alejada esté la vivienda del estadio, mayor debe ser su valor.
Distancia a estación del metro	Es una variable dicótoma, toma el valor de 0 si la vivienda está ubicada en un rango superior a los 300 metros de distancia de la estación, toma el valor de 1 en caso contrario.	Negativo. Mientras más alejada esté la vivienda del estadio, menor debe ser su valor.

## 4. Resultados y análisis

En esta sección se presentan los resultados obtenidos utilizando mínimos cuadrados ordinarios y regresiones ponderadas geográficamente, y a partir de ellos se realizan las interpretaciones de los resultados.

### 4.1 Modelo lineal general

Para el caso de estudio, se realiza la siguiente especificación del modelo lineal general y se estima mediante mínimos cuadrados ordinarios.

$$\text{Log}(\text{Canon mensual}) = f(\text{Área, Tipo de inmueble, No. de garajes, Alcoba de servicio, Distancia al estadio, Distancia a estación del metro, estadio, error})$$

En la estimación obtenida y presentada en la [Tabla 3](#) se encuentra que los residuos son ruido blanco.

En el caso del modelo lineal general, el modelo ajustado explica el 68% de la variación en los cánones de arrendamiento de las viviendas. Adicionalmente, como se detalla en la [tabla 3](#), el modelo presenta los signos esperados en todas las variables. Por ejemplo, un aumento de 1 m<sup>2</sup> en el área construida de la vivienda genera en promedio, un aumento del 0,48% en el canon de arrendamiento, mientras que por cada garaje adicional que tenga la vivienda el canon de arrendamiento se incrementa en promedio 18,6%. Según el modelo, por cada metro lineal que se encuentre alejada la vivienda del estadio Atanasio Girardot, el canon de arrendamiento de ella será en promedio 0,011% superior.

**Tabla 3. Resultados del modelo lineal general**

Variable dependiente: Log (Canon mensual)				
	Estimado	Std. Error	t-Statistic	
Área	0.004885	0.000792	6.172084	*
Alcoba de servicio	0.030311	0.062357	0.486080	
Garajes del inmueble	0.186531	0.041810	4.461428	*
Distancia al estadio	-0.103896	0.065595	-1.583905	
Distancia a la estación del metro (inferior a 300 metros)	0.000115	0.000161	0.715489	
Distancia a la estación del metro (inferior a 300 metros)	-0.017441	0.074037	-0.235571	
Constante	13.15759	0.098813	133.1559	

\* Significativo al 99%

Sin embargo, la metodología de mínimos cuadrados ordinarios no tiene en cuenta aspectos como la posible heterogeneidad o dependencia espacial de los datos. En caso de existir alguno de estos dos fenómenos, los modelos más adecuados para tratar los datos serían los de regresión espacial.

#### 4.2 Modelo de regresión espacial GWR (Geographically Weighted Regression)

La naturaleza espacial de los datos empleados obliga a verificar la existencia de los fenómenos llamados “dependencia espacial” y “heterogeneidad espacial”.

##### 4.2.1 Dependencia espacial

Para probar la existencia de dependencia espacial se utiliza el test de Moran, el cual contrasta la siguiente prueba de hipótesis con su correspondiente estadístico:

$H_0$ : No existe dependencia espacial.

$H_1$ : Existe dependencia espacial.

El estadístico de prueba es:

$$Z = \frac{I - E[I]}{\sqrt{V[I]}} \sim N(0,1)$$

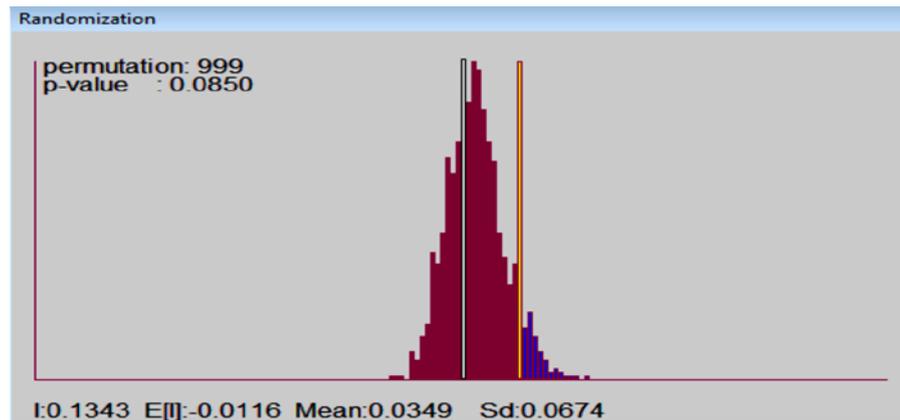
donde  $I = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N W_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}$ , donde  $E(I) = y \frac{-1}{N-1}$  y  $V[I]$  es la varianza de  $I$ .

Como es usual en la estadística espacial (tanto en técnicas de análisis exploratorio como en econometría espacial), el término  $W_{ij}$  indica la componente  $ij$  de la matriz de contigüidades estandarizada ( $W$ ). Para este caso, las componentes de dicha matriz son calculadas mediante el método  $k$ -Nearest Neighborhood con un parámetro  $k = 4$ , lo cual indica que la observación  $j$  será considerada vecina de la observación  $i$  si pertenece al conjunto de las cuatro más cercanas. En esta matriz de contigüidades estandarizada, 0 representa la ausencia de contigüidad entre las regiones  $i$  y  $j$  y  $\frac{1}{4}$  el caso contrario.

Con un nivel de confianza del 90%, los resultados del test, presentados en la [figura 3](#), son concluyentes en cuanto a que no hay evidencia a favor de la hipótesis nula de no existencia de dependencia espacial en los datos, es decir, es necesario tener en cuenta los efectos espaciales de los datos al momento

de construir un modelo que explique la variabilidad en el canon de arrendamiento de viviendas en el sector cercano al estadio Atanasio Girardot. Esta autocorrelación espacial es solo significativa al 10%, lo cual es importante, porque de no ser así se invalidaría la prueba Breusch-Pagan para la detección de heterogeneidad espacial presentada en la siguiente sección.

**Figura 3. Resultados de la prueba I-Moran**



Fuente: Elaboración de los autores en el software GeoDa.

#### 4.2.2 Heterogeneidad espacial

Según [Anselin](#) (1999), el fenómeno llamado heterogeneidad espacial puede detectarse utilizando el análisis exploratorio de datos espaciales (AEDE), específicamente el mapa de histogramas de frecuencias y el diagrama de dispersión. [Chasco](#) (2003) sugiere corroborar los resultados del AEDE mediante alguno de los contrastes estadísticos propuestos en la literatura.

El mapa de histogramas no arroja evidencia concreta para suponer que existe inestabilidad espacial en la variable “Canon mensual”, pues los puntos pertenecientes a cada intervalo parecen distribuirse uniformemente en el espacio.

Sin embargo, los diagramas de dispersión entre las variables independientes “Área” y “Distancia” y la variable dependiente “Canon mensual” rezagada espacialmente, muestran que es válido considerar la posible existencia de heterogeneidad espacial, pues la pendiente de la recta de regresión cambia dependiendo de si se consideran solo los inmuebles del centro del mapa o los de los sectores externos.

Una vez detectada la posible presencia de heterogeneidad espacial, se aplicó el test de Breusch-Pagan, el cual permite comprobar si es posible encontrar un conjunto de variables que sirvan para explicar la evolución de la varianza de las perturbaciones aleatorias del modelo lineal general estimado por mínimos cuadrados ordinarios ([De Arce & Mahía](#), 2008).

Como lo exponen [Chávez y Medina](#) (2012), en el caso de un modelo homocedástico el estadístico utilizado se distribuye como una  $X^2$ ; si el valor p es menor de 0,05 se rechaza la homocedasticidad (es decir, se acepta que existe heterocedasticidad en el modelo).

Al aplicar el test de Breusch-Pagan a los residuos del modelo lineal general se obtuvieron los resultados de la [Tabla 4](#) y, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula de homocedasticidad espacial.

**Tabla 4. Test de Breusch-Pagan**

Regression Diagnostics		
Diagnostics for Heteroskedasticity		
Random Coefficients		
Test	DF	Value PROB
Breusch-Pagan test	5	19.21046 0.0017561

Fuente: Elaboración de los autores en el software GeoDa.

Se concluye entonces que, ante la existencia de heterogeneidad espacial, es posible modelar el canon de arrendamiento en función de las variables explicativas ya enunciadas utilizando la regresión geográficamente ponderada (GWR).

Empleando el software GWR3 se realizó una regresión ponderada geográficamente con el método kernel adaptativo, cuyos parámetros fueron estimados a través del criterio de minimización de Akaike, luego de ocho iteraciones, como se muestra en la [Tabla 5](#):

**Tabla 5. Ancho de banda**

Bandwidth	AICc
33.794308615000	2431.743657177890
48.500000000000	2422.448692270944
63.205691385000	2420.828002041050
72.294308507380	2420.452419432374
77.911382811107	2419.442150323916
81.382925655166	2418.926879106943
83.528457130536	2419.332675380539
80.056914286477	2419.397320381666

Fuente: Elaboración de los autores en el software GWR3.

Como se muestra en la [Tabla 6](#), el modelo GWR presentó un coeficiente de determinación más alto que el producido por el modelo lineal general (68,74%), explicando el 72,85% de la variación en los cánones de arrendamiento de las viviendas:

**Tabla 6. Coeficientes de determinación y criterio de información de Akaike**

Criterio de información de Akaike		2419.192653
Coeficiente de determinación del GWR		0.728501
Ajustado del modelo lineal general		0.680609

Fuente: Elaboración de los autores en el software GWR3.

Todas las regresiones locales especificadas presentaron coeficientes de determinación con valores entre el 61,89% y el 81,9%, como consecuencia de la utilización de un kernel adaptativo y de un modelo con las variables explicativas que se describen en la [Tabla 2](#).

**Figura 4. Resultados gráficos de la estimación por GWR**



Fuente: Elaboración de los autores.

La [Figura 4](#) refleja gráficamente los signos de los coeficientes asociados a la variable “Distancia al estadio”. Todos los coeficientes de la variable resultaron ser significativos con un 95% de confianza. Los puntos más oscuros se asocian a los valores negativos del coeficiente y los valores más claros a los valores positivos del mismo, evidenciando que la cercanía a la unidad deportiva y particularmente al estadio tiende a generar coeficientes negativos de la variable “Distancia”, es decir, tiende a hacer que las viviendas se alquilen por precios menores, mientras que los coeficientes tienden a ser positivos en la medida en que los puntos están más alejados del mismo, o lo que es igual, a hacer que se alquilen por mayores precios en la medida en que están más alejadas de estadio. La influencia negativa del estadio Atanasio Girardot se extiende a través del barrio por 560 m lineales hasta la carrera 77B, a partir de la cual la externalidad negativa desaparece, posiblemente porque esta vía presenta una sección de aproximadamente 11 m, mucho mayor que la observada en las vías más cercanas al estadio, que presentan secciones de 6 m en promedio, de manera que tiende a aislar el efecto negativo de la unidad deportiva.

**Tabla 7. Variabilidad espacial de los parámetros**

Parámetro	Valor P	
Intercepto	0.03000	
Inmueble	0.74000	
Área	0.60000	
Garajes	0.16000	
Alcoba de servicio	0.54000	
Distancia al estadio	0.00000	*
Distancia al metro	0.83000	
* Significativo al 99.9%		

Fuente: Elaboración de los autores con el software GWR3.

El análisis de la variabilidad espacial de los parámetros locales se efectúa a través del test de Monte Carlo (Tabla 7). Este test muestra que el parámetro asociado a la variable “Distancia al estadio” presenta una variabilidad espacial significativa, lo cual quiere decir que existe una alta probabilidad de que no haya ocurrido aleatoriamente, mientras que el resto de los parámetros asociados a las variables presentan un nivel de variabilidad espacial con alta probabilidad de que haya sido obtenida al azar.

## 5. Conclusiones

En este estudio se emplearon modelos econométricos clásicos y regresiones geográficamente ponderadas para examinar la influencia del estadio Atanasio Girardot en los cánones de arrendamiento del barrio Estadio en Medellín. En este contexto, los modelos GWR se imponen como los más apropiados para desarrollar el trabajo, ya que tienen en cuenta la heterogeneidad y la correlación espacial de los datos, de manera que es posible analizar cambios en las magnitudes y signos de los parámetros que varían en el espacio, con lo cual es posible analizar de manera detallada el fenómeno estudiado.

La variable distancia al estadio que mide el trayecto entre cada vivienda y el estadio Atanasio Girardot resultó ser significativa en todas las ecuaciones y mostró una influencia negativa en los cánones de arrendamiento de las viviendas más cercanas y una influencia positiva en las zonas más alejadas, dejando claramente definida la externalidad negativa, que resulta de la cercanía de los inmuebles a las instalaciones deportivas de la ciudad, como consecuencia de los problemas de orden público que suscita el mismo. Concretamente, se encontró que la influencia negativa del estadio Atanasio Girardot se extiende a través del barrio por 560 m lineales hasta la carrera 77B.

Las obras públicas son desarrolladas con el fin de tener alto impacto positivo en el bienestar de la población; sin embargo, su uso y la dinámica social de su alrededor pueden generar algunas externalidades negativas. La regresión geográficamente ponderada en el contexto de precios hedónicos surge como una alternativa viable para valorar detalladamente este problema.

## Referencias

- Anselin, L. (1988). *Spatial Econometrics: Methods and Models*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Anselin, L. (1999). *Spatial Data Analysis with SpaceStat™ and ArcView. Workbook* (3.ª edición). Department of Agricultural and Consumer Economics, University of Illinois, Urbana, IL 61801.
- Arce, R. de, Mahía, R. (2008). *Conceptos básicos sobre la heterocedasticidad en el modelo básico de regresión lineal y tratamiento con Eviews*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.
- Basu, S., Thibodeau, TG. (1998). Analysis of spatial autocorrelation in house prices. *The Journal of Real Estate Finance and Economics*, 17, 61-85.
- Beaty, J. (1952). Rental real estate often a good investment. *Med Econ.*, 5(6): 93-4.
- Bitter, C., Mulligan, G., & Dall'erba, S. (2007). 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.
- Can, A. (1992). Specification and estimation of hedonic house Price models. *Regional Sciences and Urban Economics*, 22, 453-74.

- Chasco, C. (2003). *Econometría espacial aplicada a la predicción - extrapolación de datos microterritoriales*. [Tesis doctoral]. Madrid. Universidad Autónoma de Madrid. Consejería de Economía e Innovación Tecnológica.
- Chávez, Y., Medina, P. (2012). Diferencia de gastos según tamaño y composición familiar: una aplicación para Ecuador usando escalas de equivalencia. *Analitika, Revista de Análisis Estadístico*, 4(1), 3-20.
- Dewey, L., Turo, P. de (1950). *Should I invest in real estate?* *Med Econ.*, 28, 3, 85-93.
- Hernández, S. (2013). *La violencia del fútbol*. Obtenido de: <http://www.pensamientocolombia.org/la-violencia-del-fútbol/>
- Lancaster, K. (1966). *A new approach to consumer theory*. *Journal of Political Economy*, 74(1), 132-57.
- Lu, B., Charlton, M., & Fotheringham, A. S. (2011). Geographically Weighted Regression Using a Non-Euclidean Distance Metric with a Study on London House Price Data. *Procedia Environmental Sciences*, 7, 92-7.
- Rosen, S. (1974). Hedonic prices and implicit markets: product differentiation and pure competition. *Journal of Political Economy*, 82, 34-55.
- Selim, H. (2009). Determinants of house prices in Turkey: Hedonic regression. *Expert Systems with Applications*, 36(2), 2843-5.
- Sheppard, S. (1999). Hedonic analysis of housing markets. En P. C. Cheshire & E. S. Mills (Eds.), *Handbook of regional and Urban Economics*, vol. 3 (pp. 1595-1635). North Holland, Amsterdam.
- Yu, D. (2004). *Modeling housing market dynamics in the city of Milwaukee: a geographically weighted regression approach*. Obtenido de: <http://www.ucgis.org/ucgisfall2004/studentpapers/files/danlinyu.pdf>