

# Precios del suelo, segregación residencial y distribución del empleo: un estudio aplicado para la ciudad de Cali

*Land Prices, Residential Segregation and Distribution of Employment: a Study Applied for the City of Cali*

*Preços de terrenos, segregação residencial e distribuição do emprego: um estudo aplicado para a cidade de Cali*

**Jeisson Ipia Astudillo<sup>1</sup>**

Investigador del Laboratorio Urbano (CIDSE)  
Universidad del Valle  
[jeisson.ipia@correounivalle.edu.co](mailto:jeisson.ipia@correounivalle.edu.co)

**Harvy Vivas Pacheco<sup>2</sup>**

Coordinador del Laboratorio Urbano del CIDSE  
Profesor titular Universidad del Valle  
[harvy.vivas@correounivalle.edu.co](mailto:harvy.vivas@correounivalle.edu.co)

**Recibido:** 16/02/2017  
**Aprobado:** 24/05/2017

## Resumen

El artículo analiza la relación entre los precios del suelo, la distancia a los centros de empleo y la segregación residencial en Cali. Realiza análisis exploratorios y confirmatorios de datos espaciales por barrios, identifica los centros y subcentros mediante métodos matemáticos y calibra una función *cubic spline*, para lo cual utiliza los avalúos catastrales y las densidades de empleo. Los análisis exploratorios sugirieron la especificación de modelos econométricos espaciales que relacionaron la distribución del empleo, los precios del suelo y la segregación residencial. Aunque aún persiste la importancia del centro tradicional, los hallazgos aportaron evidencia sobre la transición hacia una estructura multicéntrica en Cali. Las estimaciones econométricas mostraron que los precios del suelo obedecen a un patrón diferenciado con avalúos altos sobre el eje longitudinal y avalúos bajos en las zonas periféricas con distancias relativamente altas a los centros y elevada concentración de los grupos de mayor vulnerabilidad social y económica.

**Palabras clave:** precios del suelo; segregación residencial; subcentros de empleo; vulnerabilidad; econometría espacial.

---

<sup>1</sup> Economista y Magister en Economía Aplicada.

<sup>2</sup> PhD en Economía, Magister en Economía Aplicada y Economista.

## Abstract

The article analyzes the relationship between land prices, distance to employment centers and residential segregation in Cali. It carries out exploratory and confirmatory analyzes of: spatial data by neighborhoods, identifies the centers and subcenters by mathematical methods and calibrates a *cubic spline* function; for which it uses the cadastral appraisals and the employment densities. The exploratory analysis of the scenarios suggested the specification of spatial econometric models that related the distribution of employment, land prices, and residential segregation. Although the importance of the traditional center still persists, the findings provided evidence about the transition to a multicentre structure in Cali. The econometric estimations displayed how soil prices obey a differentiated pattern in which high appraisals are located over the longitudinal axis and low appraisals in the peripheral areas, with distances relatively high to the centers and high concentration of the groups of greater social and economic vulnerability.

**Keywords:** Land prices; residential segregation; sub-centers of employment, vulnerability; spatial econometrics.

## Resumo

Este artigo analisa a relação entre os preços do solo, a distância dos centros de emprego e a segregação residencial na cidade de Cali. Realizam-se análises exploratórias e confirmatórias de dados especiais por bairros, identificam-se os centros e subcentros através de métodos matemáticos e se calibra uma função *cúbic-spline*, utilizando os valores catastrais e as densidades de emprego. As análises exploratórias indicaram a especificação de modelos econométricos espaciais que relacionaram a distribuição do emprego, os preços do solo e a segregação residencial. Embora ainda persista a importância do centro tradicional, os dados aportaram evidência sobre a transição para uma estrutura multicêntrica em Cali. As estimações econométricas mostraram que os preços do solo obedecem a um padrão diferenciado com avaliações altas sobre todo o eixo longitudinal e avaliações baixas nas áreas periféricas. Também, observam-se distâncias relativamente altas perante os centros e elevada concentração dos grupos de maior vulnerabilidade social e econômica.

**Palavras-chave:** preços do solo; segregação residencial; subcentros de emprego; vulnerabilidade; econometria espacial.

## 1. Introducción

La ciudad de Cali ha experimentado profundos cambios en su configuración espacial en las últimas décadas como resultado de los procesos migratorios y la recomposición en la distribución del empleo. Aunque históricamente ha predominado una estructura monocéntrica con un centro institucional, comercial y de servicios, forjado y consolidado por procesos históricos claramente descritos y analizados en las obras del profesor Edgar Vásquez (1982; 2001), en los últimos años se evidencia la transición hacia la descentralización del empleo en subcentros emergentes.

A diferencia de décadas anteriores, la ciudad ya no se rige exclusivamente bajo una estructura monocéntrica, y ha dado paso a un nuevo proceso de descentralización del empleo que señala su tránsito hacia una configuración policéntrica en la que se identifican al menos dos subcentros de empleo.

Tal y como lo postulan los diversos marcos analíticos de la economía urbana, esta distribución del empleo en nuevos subcentros guarda un estrecho vínculo con la estructura de precios de la tierra, medida en esta investigación a través de los avalúos catastrales y las distancias respectivas a los centroides de los respectivos barrios que configuran la trama urbana. De este modo, Cali presenta un patrón diferenciado con precios del suelo altos sobre todo en el eje longitudinal y bajos en las zonas periféricas (zona oriental con una alta composición de población afrodescendiente y de ladera en la franja occidental), donde prevalecen densidades poblacionales altas, alejadas de los subcentros emergentes y donde se concentra la población de mayor vulnerabilidad social y económica de la ciudad.

Los hechos estilizados y las estimaciones econométricas corroboran la existencia de este patrón diferenciado con avalúos altos en el eje longitudinal y bajos en la periferia, característica recurrente en otras ciudades del país, tal y como efectivamente lo muestran los estudios de Avendaño (2012) en Bogotá, Duque (2013) en Medellín, Orozco (2013) en Manizales y Vivas (2012) en Cali.

En el caso particular de Cali, este patrón diferenciado de precios del suelo presenta un estrecho vínculo con la segregación residencial. Mientras que en el eje central de la ciudad se localiza la población de altos niveles educativos y con ingresos medios y altos, la cual cuenta con mejor accesibilidad a las facilidades, equipamientos y servicios urbanos, en las zonas de ladera y en la zona oriente se localizan enclaves de población vulnerable, como efectivamente lo sugiere la estimación de métricas locales de segregación residencial y los coeficientes de localización de la población afrodescendiente. En muchos de los barrios periféricos de las franjas oriental y occidental persisten situaciones de trampa de la pobreza con una población en edad de trabajar desarticulada de los mercados laborales formales.

Este artículo aporta nuevos elementos de análisis y estrategias metodológicas para esclarecer la relación entre los precios del suelo, la localización de los centros de empleo y la segregación residencial. Los análisis exploratorios y confirmatorios de datos espaciales, utilizando como unidad de análisis los barrios, sugieren este estrecho vínculo y confirman la presencia de clústeres espaciales que marcan diferencias sustanciales en las oportunidades de acceso de las personas a la dinámica social y económica de la ciudad.

La sección 2 aborda la literatura relacionada con este campo de investigación; la sección 3 introduce algunas consideraciones conceptuales y metodológicas para la identificación de subcentros potenciales a partir de la distribución del empleo. La sección 4 se ocupa del análisis exploratorio y descriptivo de los precios del suelo, la distribución del empleo y la segregación residencial. La sección 5 presenta la especificación y las estimaciones de los modelos econométricos que relacionan los precios del suelo con las variables de estructura urbana y segregación. Los principales hallazgos quedan resumidos en la sección 6 del artículo.

## 2. Literatura relacionada

Entre los antecedentes conceptuales y metodológicos de mayor relevancia para este estudio se destacan los trabajos de Avendaño (2012), quien realiza una investigación sobre los efectos de la estructura urbana y los ejes de movilidad en los precios de la tierra de Bogotá, en condiciones de policentrismo. El autor concluye que la estructura urbana y la organización del empleo determinan la configuración espacial de los precios de la tierra en Bogotá, e infiere que el patrón de los precios de la tierra se explica mejor mediante una estructura urbana policéntrica, para luego concluir que las economías de aglomeración, basadas en el acceso a la infraestructura, tienen un efecto significativo en los precios de la tierra.

El artículo de Duque (2013), aplicado en la ciudad de Medellín, estudia la configuración espacial de la actividad económica para la ciudad entre 2005 y 2010. Utiliza enfoques de economía urbana y análisis exploratorio de datos espaciales (AEDE), realiza análisis clúster con el propósito de comprender los patrones de localización y las tipologías de los espacios intraurbanos. En el AEDE introduce estimaciones del índice,  $I$ , de Moran y el test local de asociación espacial, LISA, para determinar la autocorrelación espacial de las siete actividades económicas que hace referencia en la estrategia de desarrollo denominada “Medellín ciudad clúster”. El análisis concluye la existencia de estructuras espaciales definidas para los renglones económicos analizados.

Orozco (2013) realiza un trabajo para Manizales sobre subasta del suelo y estructura urbana, en el que utiliza como referencia la teoría del lugar central y algunos elementos de la teoría de la renta del suelo urbano con el propósito de probar sus hipótesis. Para ello usa indicadores de centralidad de las actividades comerciales y de servicios y de los ingresos de la población residente; de manera particular analiza la localización de los comercios minoristas no especializados y su relación con las centralidades de la ciudad, la población de distintos niveles de ingreso y el precio del suelo. La evidencia aportada muestra un patrón de dualidad urbana en torno a dos centralidades con patrones de concentración distintos en los valores del suelo.

El trabajo de Ipia (2011) se centra en la identificación de subcentros de empleo a través de la función *cubic spline* aplicada para la ciudad de Cali. En este trabajo se contrasta la hipótesis de policentrismo identificando subcentros de empleo en el área metropolitana de Cali bajo la función *cubic spline*. Para este propósito, con los datos de empleo y superficie provenientes del Censo Económico Cali-Yumbo 2005 y del mapa de usos del suelo 2005, el autor identifica zonas espaciales (barrios) candidatos a subcentros de empleo, utilizando la metodología de Greene (1980) y McDonald (1987). El trabajo avanza hacia las estimaciones por Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) MCO de las funciones de densidad de empleo con el propósito de contrastar la existencia de máximos (subcentros) locales, utilizando como única variable explicativa la distancia al centro tradicional o distrito central histórico y como variable endógena, la densidad de empleo.

El estudio de Vivas (2012) para la ciudad de Cali aborda el análisis de la segregación residencial por barrios, particularmente en lo que atañe a la relación entre la segregación residencial y la composición intraurbana del capital humano. El autor

utiliza una estrategia empírica con información georreferenciada para el cálculo de índices globales y estudia la autocorrelación espacial en los 315 barrios (polígonos) considerados en la base de datos, una vez excluidos los polígonos institucionales. El trabajo propone el cálculo de medidas de segregación local, como el índice de entropía y los coeficientes de concentración por barrios y grupos con autorreconocimiento de raza y una métrica de capital humano. Dentro de los hallazgos principales, en relación con los índices locales y globales estos sugieren que efectivamente la ciudad de Cali presenta configuraciones residenciales con altos niveles de aislamiento; así mismo, los análisis LISA (índices locales de análisis espacial) univariantes y bivariantes aportaron evidencia adicional sobre la presencia y la persistencia de dos clústeres diferenciados, uno sobre el eje longitudinal central de la ciudad y el otro ubicado predominantemente en la franja oriental de la ciudad, donde prevalecen algunos barrios con elevada concentración de población afrocolombiana.

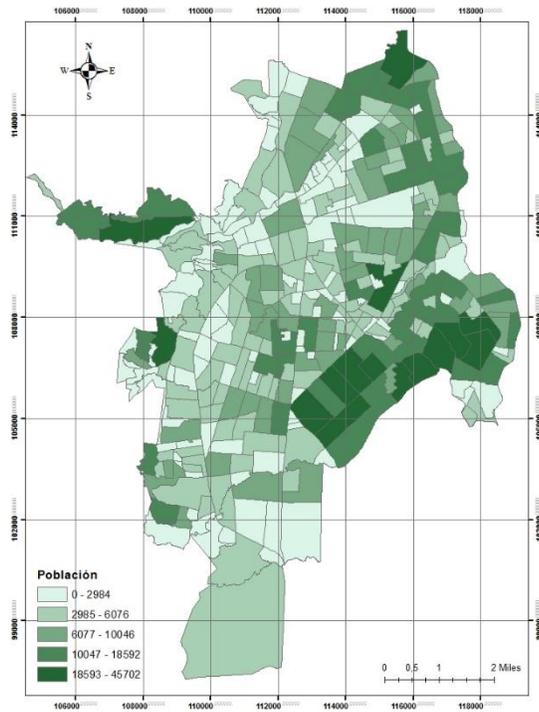
En términos generales esta literatura permite apreciar que dentro de las zonas urbanas predominan patrones diferenciados en la concentración de la población, de acuerdo con rasgos socioeconómicos y sociodemográficos singulares, lo cual presenta un estrecho vínculo con la presencia de subcentros de actividad económica y precios del suelo, tal y como efectivamente se contrasta en las secciones posteriores de este artículo.

### **3. Subcentros de empleo y precios del suelo**

La distribución poblacional y del empleo se puede apreciar en los mapas 1 y 2, contruidos a partir de la información proporcionada por la Subdirección de Catastro Municipal perteneciente al Departamento Administrativo de Hacienda Municipal (DAHM), Departamento Administrativo de Planeación Municipal (DAPM) de la ciudad y del Censo 2005 Redatam (comunidades, barrios y manzanas para la variable población). Es preciso anotar que se trabajó a nivel de sectores urbanos de la ciudad y la georreferenciación utilizó la malla urbana del DAPM con un total de 338 sectores que se asimilan a los barrios.

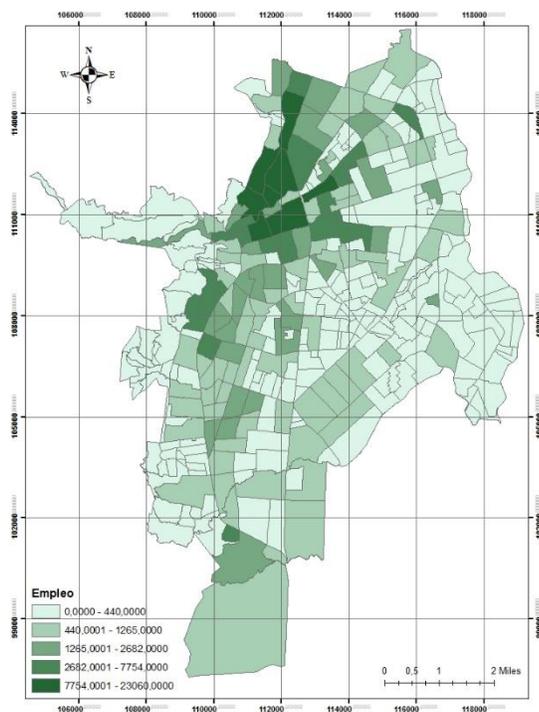
La información disponible sobre avalúos catastrales permite apreciar que los barrios que presentan los mayores valores se encuentran en las zonas con altas densidades de empleo, y donde gran proporción del área del barrio es destinada a comercio (centro norte y el eje longitudinal de la ciudad). No obstante, las zonas con avalúos catastrales bajos son aquellas que presentan una alta densidad poblacional, poca densidad de empleo y se ubican en la periferia de la ciudad, como se destaca en los mapas 3 y 4.

**Mapa 1. Distribución espacial de la población**



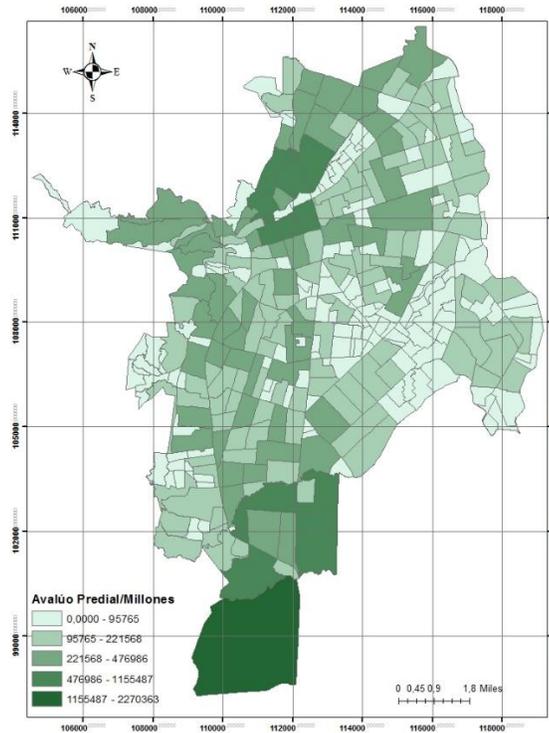
**Fuente:** cálculos propios en ArcGis.

**Mapa 2. Distribución espacial del empleo**



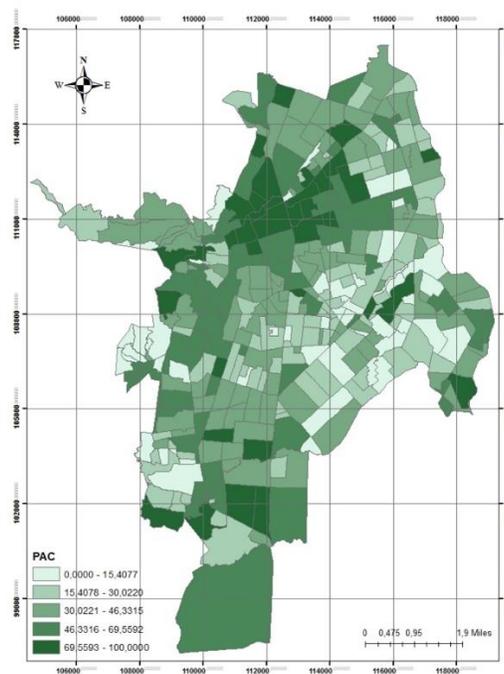
**Fuente:** cálculos propios en ArcGis.

**Mapa 3.** Distribución espacial de avalúo predial



**Fuente:** cálculos propios en ArcGis.

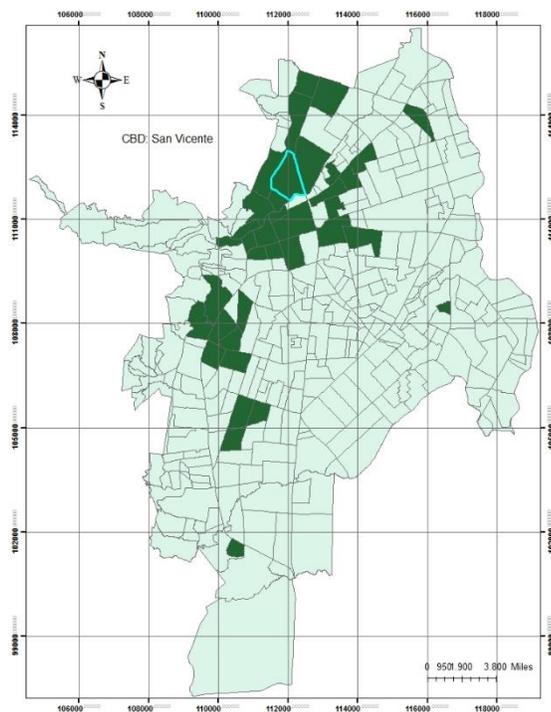
**Mapa 4.** Distribución de la proporción del área urbanizada con destino a comercio



**Fuente:** cálculos propios en ArcGis.

Ahora bien, ¿Qué nos enseñan las contrastaciones sobre policentrismo? De acuerdo con la metodología de Greene (1980) y McDonald (1987) en sus definiciones de subcentros de empleo, el primero define un subcentro de empleo como aquella área urbana cuya densidad bruta de empleo es el doble de la media urbana. La media urbana de densidad de empleo es de 70 empleos/hectárea. Con esta metodología se encontró que hay 37 candidatos a subcentros (mapa 5). El segundo define un subcentro de empleo como aquella zona con una densidad bruta de empleo mayor que todas las zonas contiguas, en este punto es preciso descartar los barrios aledaños al Central Business District (CBD) identificados espacialmente en el primer anillo (mapa 6), ya que forman parte del centro tradicional de Cali.

**Mapa 5.** Candidatos a subcentros de empleo

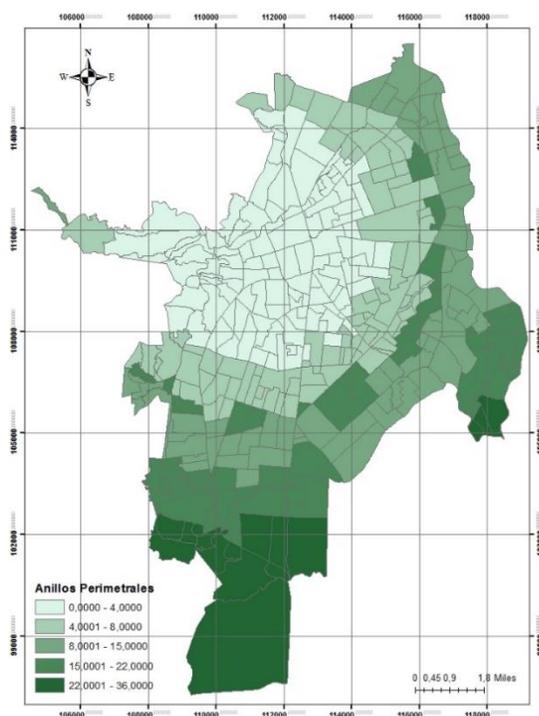


**Fuente:** cálculos propios en ArcGis.

De acuerdo con estos criterios, se identificaron 13 candidatos a subcentros de empleo para el área metropolitana de Cali, clasificados en 5 subcentros de empleo de acuerdo con la cercanía con sus vecinos, en términos de distancia al distrito central, CBD (tabla 1).

La metodología empleada sugiere que, efectivamente, el Barrio San Vicente es el candidato a distrito central, dado que en este se encuentran ubicadas alrededor de 1.683 unidades económicas que generan 23.060 empleos, los cuales representan alrededor de 7% del empleo total y la mayor densidad bruta de empleo (599 empleos por hectárea).

**Mapa 6.** Anillos perimetrales al Central Business District



Fuente: cálculos propios en ArcGis.

**Tabla 1.** Candidatos a subcentros de empleo

Barrio	Sectores	Empleo	Densidad de empleo	Población	Distancia al CBD*	Subcentros de empleo
San Vicente	1.683	23.060	599	3.711	0	CBD
Metropolitano del Norte	200	4.973	159	7.607	5,5	SBD1
Marroquín III	40	1.301	89	4.081	5,6	SBD2
San Fernando Viejo	594	3.221	76	5.070	2,4	SBD3
El Cedro	588	2.061	72	3.129	2,3	SBD3
Santa Isabel	209	3.924	107	3.533	3,1	SBD3
San Fernando Nuevo	320	2.682	93	2.858	2,9	SBD3
Eucarístico	341	2.657	114	2.554	3,1	SBD3
Urbanización Tequendama	567	3.305	137	1.998	3,8	SBD3
Los Cámbulos	339	2.646	101	3.923	3,7	SBD3
Santa Anita - La Selva	329	2.172	73	7.737	5,2	SBD4
Primero de Mayo	285	2.547	106	7.721	5,1	SBD4
El Gran Limonar - Cataya	317	2.027	80	3.858	6,1	SBD4
Ciudad Campestre	401	4.920	288	787	9,1	SBD5
<b>Total</b>	<b>6.213</b>	<b>61.496</b>	<b>2.094</b>	<b>58.567</b>		

\*Distancia al CBD calculada en kilómetros en ArcGIS.

Fuente: datos DAPM. Cálculos propios.

En este orden de ideas, cabe destacar que entre los artefactos analíticos que con regularidad se utilizan para contrastar la prevalencia de estructuras monocéntricas, se identifica la función exponencial negativa. Esta es quizá la más utilizada para describir la estructura espacial de los centros urbanos y muestra la relación que se establece entre densidad de empleo y distancia al distrito central, CBD, tal y como lo muestra la tradición de trabajos sugeridos por Clark (1951), pionero en trabajar con este tipo de funciones usando información de empleo o población (ecuaciones 1 y 2).

$D_i$  es la densidad de empleo neta a una distancia  $x$  del CBD,  $D_0$  es la densidad teórica en la ciudad,  $\gamma$  es el gradiente de densidad, y  $e_i$  es el término de error. Los resultados de la estimación para Cali se muestran en la tabla 2.

$$D_i = D_0 e_i^{-\gamma x} \quad (1)$$

La forma lineal toma la siguiente configuración:

$$\ln D_i = \ln D_0 - \gamma x + e_i \quad (2)$$

**Tabla 2. Función exponencial negativa**

$\ln D_i$	Coeficientes	Std. Err.	t	P > t
$\gamma x$	-,2314352	,0298896	-7,74	0,000
$\ln D_0$	3.699.867	,172673	21,43	0,000
R-squared	0,1557	Adj R-squared		0,1531

**Fuente:** estimaciones propias en Stata.

Estas estimaciones permiten apreciar que los signos esperados son correctos, el valor del gradiente de densidad es -0,23, aunque el ajuste no es muy alto.

Un paso necesario para aproximarse a la contrastación de la existencia de centros periféricos (subcentros), alternativos al centro tradicional, es el que se abordó con anterioridad y que se refiere a la distribución del empleo como la variable de análisis más relevante. En esta literatura existen dos métodos diseñados para detectar subcentros laborales: el primero se enfoca en el análisis de la distribución de la densidad (puestos de trabajo / superficie urbanizada), mientras que el segundo es funcional y se basa en el análisis de la movilidad (residencia y trabajo). Aplicando los criterios antes mencionados de Greene (1980) y McDonald (1987), el barrio San Vicente sigue desempeñando el rol de centro tradicional principal.

Ahora bien, un refinamiento para la identificación de subcentros estriba en la calibración de una función *cubic spline* dividiendo la distancia desde el CBD hacia la periferia en 5 segmentos de igual longitud. Los resultados de la estimación de esta función para 5 cortes de igual magnitud establecen que el número de cortes óptimos, utilizando el criterio del mínimo error estándar, mayor significancia de los parámetros

y la bondad de ajuste del modelo es de 3. Es así que el modelo más exacto para la estimación de la función *cubic spline* queda expresado con la siguiente especificación:

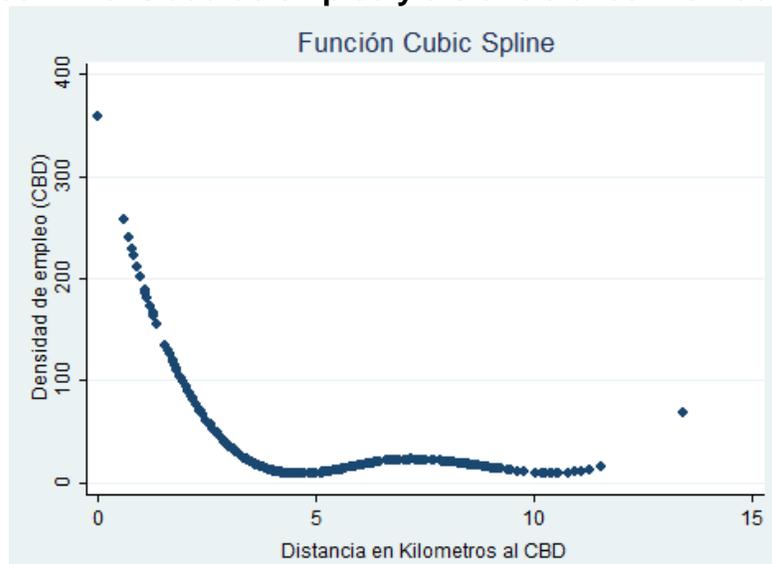
$$Dx_i = a_1 + b_1(x - x_0) + c_1(x - x_0)^2 + d_1(x - x_0)^3 + \sum_{i=1}^3 (d_{i+1} - d_i)(x - x_i)^3 D_i + u_i \quad (3)$$

Donde  $\{D_i \begin{cases} 1 & \text{si y solo si } X \geq X_i, \\ 0 & \text{si } X < X_i \end{cases}$

Donde  $Dx_i$  es la densidad bruta de empleo,  $x$  es la distancias al CBD,  $x_i$  es el valor que señala el fin del tramo  $i$  y el inicio del tramo  $i+1$ ,  $(d_{i+1} - d_i)$  son segmentos de igual longitud,  $D_i$  es la variable *dummy* igual 1 si  $X \geq X_i$  y a 0 si  $X < X_i$ , y  $U_i$  es el termino de error.

De acuerdo con estas consideraciones, se puede observar en el gráfico 1 y la tabla 3 la presencia de máximos locales que corroboran la formación de subcentros de empleo entre 6 y 11 kilómetros del CBD, lo que se denominó SBD4 (Santa Anita – La Selva, Primero de Mayo y Gran Limonar); y a 11 kilómetros del CBD, lo que se denominó SBD5 (Ciudad Campestre, Unicentro). Por tanto, se infiere que la ciudad de Cali ha venido transitando hacia una estructura policéntrica.

**Gráfico 1. Densidad de empleo y distancia al centro tradicional**



Fuente: cálculos propios en Stata.

#### 4. Precios de la tierra, estructura urbana y segregación residencial

Los estudios que intentan entender los precios de la tierra en un contexto urbano se dividen en tres grupos de acuerdo con Avendaño (2012): el primero comprende los estudios que se enfocan en la estructura urbana, analizando los cambios en los precios de la tierra en función de la distancia al distrito central, CBD, y otros

subcentros de empleo. El segundo se enfoca en los efectos de *zoning*<sup>3</sup> sobre los precios de la tierra; y el tercer grupo hace uso de la metodología de precios hedónicos.

En lo que aquí concierne, se intenta dilucidar la relación entre la estructura urbana policéntrica y los precios del suelo urbano. La hipótesis convencional es que la relación entre los precios de la tierra y la distancia a los Subcenter Business District (SBD), es decreciente entre ellos, tal y como se puede ver en los trabajos de McDonald y McMillen (1990), McDonald y Prater (1994), McDonald y McMillen (1998), y Avendaño (2012) para Bogotá. Otros enfoques avanzan hacia el estudio de estructuras de dependencia espacial y su modelamiento, mediante técnicas estadísticas para el tratamiento de datos espaciales.

En este estudio, además de las consideraciones anteriores, se intenta esclarecer la relación de los precios del suelo y la configuración urbana, con la segregación residencial. De acuerdo con estudios previos (Barbary, 2004; Vivas, 2012), la ciudad de Cali presenta un arreglo espacial segregado, lo cual queda en evidencia en este artículo al considerar de manera explícita el vínculo estrecho que guardan los índices locales de segregación con los precios del suelo y las distancias a los centros y subcentros de empleo.

**Tabla 3. Estimaciones de la función cubic spline**

	Coef.	Error estándar	t	P > t
a <sub>1</sub>	359,8042	275473	13,06	0,000
b <sub>1</sub> (x - x <sub>0</sub> )	-194,2319	21,2334	-9,15	0,000
c <sub>1</sub> (x - x <sub>0</sub> ) <sup>2</sup>	34,7296	4,8269	7,19	0,000
d <sub>1</sub> (x - x <sub>0</sub> ) <sup>3</sup>	-1,9803	,3272619	-6,05	0,000
(d <sub>i+1</sub> - d <sub>i</sub> )(x - x <sub>i</sub> ) <sup>3</sup> D <sub>i</sub>	2,80413	,7026553	3,99	0,000
(d <sub>i+1</sub> - d <sub>i</sub> )(x - x <sub>i</sub> ) <sup>3</sup> D <sub>i</sub>	154.367	,3245634	-3,57	0,000
<b>R-squared</b>	<b>0,3628</b>	<b>Adj R-squared</b>	<b>0,3552</b>	

Fuente: estimaciones propias en Stata.

#### 4.1. Análisis exploratorio de los avalúos

En este apartado se estudia la presencia o ausencia de un esquema de dependencia espacial a nivel univariante, para el avalúo del metro cuadrado construido por barrio (AVM<sup>2</sup>), desde el análisis exploratorio de datos espaciales (AEDE), se hará uso del estadístico de Moran y el test local de LISA (*Local Index Spatial Asociation*).

Inicialmente se realizaron pruebas de autocorrelación espacial con el índice de Moran y la verificación de aglomeraciones con la prueba local de asociación espacial, LISA. El índice de Moran se representa de la siguiente manera:

<sup>3</sup> Zonificaciones definidas por la administración municipal y que busca regular los usos del suelo, la distribución de actividades y las tipologías urbanísticas.

$$I = \frac{N \sum_{ij} W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S_0 \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad i \neq j \quad (4)$$

Donde  $x_i$  es el valor de la variable avalúo por metro cuadrado construido (AVM<sup>2</sup>) analizada en el barrio  $i$ ,  $\bar{x}$  es la media maestra,  $W_{ij}$  es la matriz de pesos espaciales,  $N$  es el número de barrios, y  $S_0$  representa la suma de pesos espaciales.

$$S_0 = \sum_i \sum_j w_{ij} \quad (5)$$

El resultado para la variable avalúo del metro cuadrado construido por barrio (AVM<sup>2</sup>) muestra la existencia de un patrón de autocorrelación espacial positiva, con un índice de Moran estadísticamente significativo de 0,279.

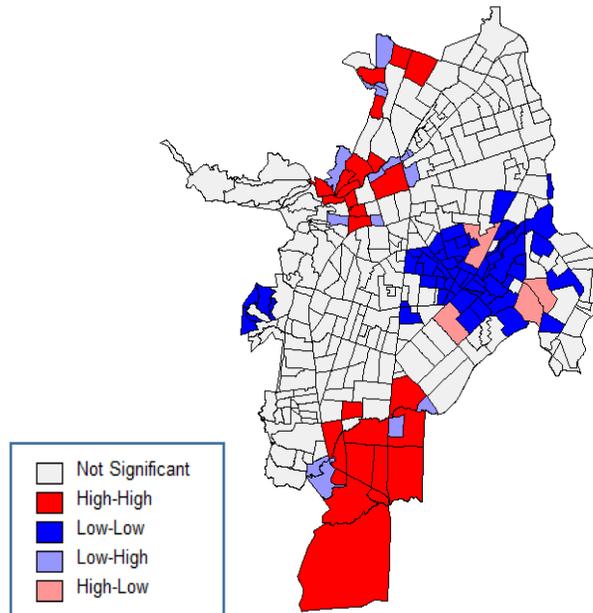
El análisis local mediante LISA permitió identificar los clústeres conformados por la homogeneidad de cada unidad espacial (barrios) y sus vecinos (mapa 7). Se pueden apreciar las ubicaciones con avalúos catastrales significativos del estadístico local de Moran por tipo de correlación alto-alto (AA) y bajo-bajo (BB), para la autocorrelación espacial positiva. Vale la pena anotar que el estadístico LISA viene definido por la ecuación 6.

$$I_i = \frac{Z_i \sum_{j=1}^n w_{ij} z_j}{\sum_{j=1}^n \frac{z_j^2}{N}}, \quad i = 1, \dots, n. \quad (6)$$

Donde  $Z_i$  es el valor correspondiente al barrio  $i$  de la variable normalizada, y  $j_i$  el conjunto de barrios vecinos a  $i$ ,  $w_{ij}$  es la matriz de pesos, y  $N$  es el número de barrios.

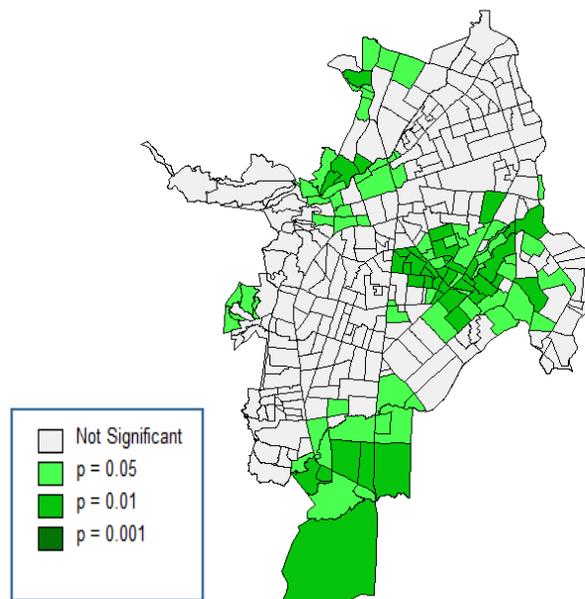
En los mapas 7 y 8 se muestra que en el centro y hacia el sur de la ciudad predominan unidades espaciales de altos avalúos catastrales, rodeados por barrios con la misma característica. Hacia el oriente se detectan barrios con avalúos catastrales bajos, rodeados por barrios similares, lo que se interpreta como evidencia de clústeres espaciales.

**Mapa 7.** Contraste Lisa univariante para la variable avalúo del metro cuadrado construido (AVM<sup>2</sup>)



**Fuente:** Elaboración propia en Geoda.

**Mapa 8.** Significancia del contraste LISA univariante



**Fuente:** Elaboración propia en Geoda.

## 4.2. Segregación residencial

En la línea de lo anotado con anterioridad, la ciudad de Cali se caracteriza por su elevada segregación residencial en la que combina factores sociodemográficos, étnicos y económicos. Además, la desigualdad aproximada mediante un Gini espacial alcanza un valor de 0,57.

$$G = \sum_{i=1}^n, \sum_{j=1}^n [t_i t_j |p_i - p_j| / 2T^2 P(1 - P)] \quad (7)$$

Donde  $t_i$ ,  $t_j$  denotan la población total en la unidad espacial  $i$  e  $j$ ;  $p_i$ ,  $p_j$ , la proporción del grupo en la unidad espacial;  $P$ , la proporción del grupo en la ciudad;  $T$ , la población total en la ciudad.

Así mismo, como efectivamente se ha corroborado en diversos estudios realizados en los últimos años (Vivas, 2011; 2012), el cálculo de una métrica reescalada de la densidad de capital humano de la población activa ( $HKDENS_j$ ), en cada uno de los sectores censales, muestra que en la franja longitudinal central de la ciudad se concentra la población con los mayores niveles de capital humano, y en las franjas oriental y occidental se ubica la población en condiciones de vulnerabilidad y con una baja composición local de capital humano. El índice es una proxy de la calidad de las interacciones sociales potenciales o del entorno en el que viven los individuos: valores alejados de cero denotan mayor densidad de población activa de alta educación, en relación con la de educación baja. A medida que nos desplazamos hacia la derecha esta proporción entre calificados y no calificados aumenta<sup>4</sup>.

$$HKDENS_j = \sum_{j=1}^N \left\{ \frac{[H/L]_j - [H/L]_{\min}}{[H/L]_{\max} - [H/L]_{\min}} \right\} \quad (8)$$

El estadístico univariante de Moran para esta métrica fue de 0,573, mostrando en su distribución local la presencia de clústeres.

Además de este último, en este estudio se mide un índice local de segregación espacial, QLAFRO, que tiene en cuenta el peso relativo de la población de  $i$  en el barrio  $j$  ( $P_{ij}/P_{\text{barrio}}$ ), así como su importancia relativa en el conglomerado urbano. ( $P_{ic}/P$ ) es el peso relativo de la población del grupo  $i$  en la ciudad como proporción de la población total.

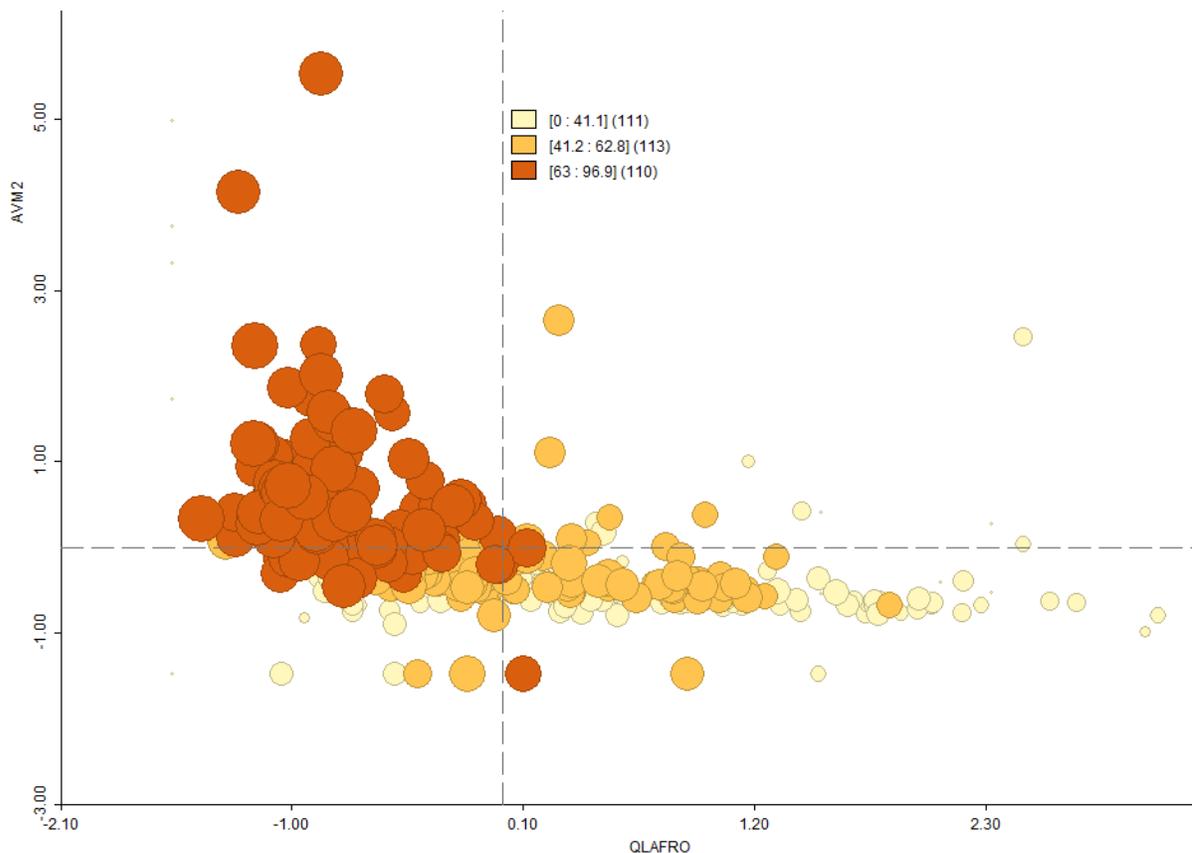
$$QL_{ij} = \left[ \frac{P_{ij}}{\sum_{i=1}^n P_{ij}} / \frac{P_{ic}}{P} \right] \quad (9)$$

<sup>4</sup> El cálculo se realiza con información (Redatam-DANE) mediante la razón (H/L), entre individuos con bachillerato completo y superior (incluyendo carreras técnicas y tecnológicas), H, y aquellos que no cumplen esta condición (secundaria incompleta, primaria o ninguna), L. El índice reescalado tiene en cuenta un factor de ajuste mediante valores máximos y mínimos observados dentro de la ciudad y permite corroborar la conformación de clústeres.

Precisamente al comparar el índice de capital humano con el de localización, se puede apreciar que en aquellos polígonos o barrios, con baja HKDENSj, se localiza una proporción importante de población afrodescendiente (coeficiente QLAFRO > 1). El cálculo del índice univariante de Moran para QLAFRO arroja un valor de 0,769, lo cual denota la existencia de un patrón fuerte de concentración en la zona oriental de la ciudad (barrios con elevados valores de QLAFRO rodeados por barrios en la misma condición).

Al relacionar estos dos índices con los avalúos (gráfico 2, diagrama estandarizado de dispersión con los AVM<sup>2</sup> en el eje vertical, el coeficiente de concentración de población afrodescendiente en el eje horizontal, QLAFRO y la intensidad de los colores denotando HKDENS) se puede ver la consistencia de las relaciones antes formuladas entre precios del suelo y segregación residencial.

**Gráfico 2. Precios del suelo y segregación residencial**



**Fuente:** elaboración propia en Geoda.

## 5. Modelos econométricos de precios del suelo, distribución del empleo y segregación residencial

Para contrastar la relación que se establece entre los precios del suelo, la estructura urbana previamente identificada y la segregación residencial, a continuación se realizan algunos ejercicios de econometría espacial donde las variables utilizadas corresponden al avalúo por metro cuadrado construido en el barrio, que opera como variable endógena con variables explicativas: la proporción del área construida en el barrio para uso diferente a vivienda (PAC), la distancia al centro tradicional de negocios (CBDK) en kilómetros, la distancia a los subcentros (SBD1K, SBD2K) en kilómetros, la inversa de la distancia a los subcentros ( $SBD1K^{-1}$ ,  $SBD2K^{-1}$ ), así como los índices de densidad de capital humano (HKDENS) y localización de la población afrodescendiente (QLAFRO).

En los ejercicios se estiman modelos clásicos de regresión y se contrasta la presencia de autocorrelación espacial, para luego pasar a la estimación de estructuras econométricas que modelen la dependencia espacial entre las unidades de observación.

La especificación genérica del modelo de MCO es la siguiente:

$$AVM2_i = \beta_0 + \beta_1 CBDK_i + \sum_{j=1}^s (\beta_j SBD_{ij} + \beta_j SBD_{ij}^{-1}) + \beta_6 PAC_i + \beta_7 HKDENS_i + \beta_8 QLAFRO_i + U_i \quad (10)$$

$U_i \sim N(0, \sigma^2 I)$

$U_i$  es el término de error.

Es preciso anotar que el índice de densidad de capital humano y el de localización de la población definen modelos independientes.

Los contrastes de Moran de los residuos y los multiplicadores de *Lagrange* para el modelo MCO sugieren rechazar la hipótesis nula de distribución intraurbana aleatoria. Estos contrastes sugieren que el proceso generador de datos corresponde a una estructura de dependencias espaciales con un esquema autorregresivo, en la variable endógena o en el término de perturbación.

Ahora bien, las estimaciones con dependencia espacial se apoyan en Anselin (1980; 1988), Moreno y Vayá (2000), Anselin y Rey (2014). Los modelos espaciales recurren a la especificación de una matriz de pesos  $W$ , la cual permite incorporar las adyacencias entre las unidades espaciales.

El Modelo autorregresivo espacial de primer orden toma la siguiente estructura:

$$AVM2_i = \rho W AVM2_i + \beta_0 + \beta_1 CBDK_i + \sum_{j=1}^s (\beta_j SBD_{ij} + \beta_j SBD_{ij}^{-1}) + \beta_6 PAC_i + \beta_7 HKDENS_i + \beta_8 QLAFRO_i + U_i \quad (11)$$

$U_i \sim N(0, \sigma^2 I)$

Donde  $W$  es una matriz de contigüidad de primer orden que captura las influencias reciprocas entre las unidades espaciales,  $\rho WAVM2_i$  es el retardo espacial en la variable avalúo por metro cuadrado construido en el barrio, y  $\rho$  es el parámetro autorregresivo que recoge la intensidad de las interdependencias.

El modelo con perturbaciones espaciales autorregresivas de primer orden se expresa como:

$$AVM2_i = \beta_0 + \beta_1 CBDK_i + \sum_{j=1}^s (\beta_j SBD_{ij} + \beta_j SBD_{ij}^{-1}) + \beta_6 PAC_i + \beta_7 HKDENS_i + \beta_8 QLAFRO_i + U_i \quad (12)$$

$$u = \lambda Wu + e$$

$$e \sim N(0, \sigma^2 I)$$

Donde  $u$  es un término estocástico y  $\lambda$  el parámetro autorregresivo que refleja la intensidad de las interdependencias entre los residuos. Los resultados de las estimaciones para los modelos mencionados se encuentran en la tabla 4.

El conjunto de resultados es satisfactorio y refuerza las hipótesis formuladas a lo largo del artículo. Las distancias al centro tradicional y a los subcentros, así como sus inversas, resultaron estadísticamente significativas en la mayoría de los modelos estimados y con los signos esperados. Estos hallazgos confirman el nexo entre precios del suelo y distancias a los distritos comerciales y de servicios, tal y como se plantea en la literatura sobre economía urbana. Así mismo, la proporción de área construida para comercio y servicios resultó significativa en todas las estimaciones y afectando, tal y como se esperaba, de manera positiva los precios del suelo.

Respecto a las variables  $HKDENS$  y  $QLAFRO$ , se contrastó satisfactoriamente la hipótesis de la relación entre segregación espacial y precios del suelo. El coeficiente de autocorrelación espacial ( $\rho$ ), en la variable endógena resultó estadísticamente significativo en las tres especificaciones (modelos M4, M5 y M6). Estas estimaciones sugieren que los efectos de la segregación residencial varían en el espacio por la vía del multiplicador espacial:  $\beta^*(I - \rho^*W)^{-1}$ .

Finalmente, se confirman los resultados exploratorios al estimar los modelos con el coeficiente de concentración de población afrodescendiente. Tanto en el modelo de rezago espacial (M6) como en el de error espacial (M9) este coeficiente resultó estadísticamente significativo y con signo negativo, lo cual indica que cuanto más alta la concentración de población afrodescendiente, los precios del suelo tienden a ser más bajos. Este es un hallazgo muy común en diversos estudios y que goza de una amplia literatura para Estados Unidos, pero poco contrastada en nuestro medio.

**Tabla 4. Estimaciones econométricas**Variable dependiente: avalúo por metro cuadrado construido en el barrio, AVM<sup>2</sup>

Variables/ Modelos	MCO			Retardo espacial			Error espacial		
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
<b>Constante</b>	745535 ,0	585973 ,0	872292 ,0	533170 ,0	462207 ,0	731369 ,0	930496 ,0	804398 ,0	953021 ,0
	0,0000	0,0004	0,0000	0,0015	0,0064	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000
<b>CBDK</b>	- 60203, 6	- 49602, 5	- 23124, 4	- 36588, 1	- 33591, 3	- 14142, 9	- 53948, 0	- 50917, 0	- 20499, 6
	0,0048	0,0190	0,2675	0,0798	0,1088	0,4924	0,0489	0,0487	0,4060
<b>SBD1K</b>	202465 ,0	197824 ,0	164747 ,0	149999 ,0	156300 ,0	138955 ,0	199733 ,0	200711 ,0	166881 ,0
	0,0000	0,0000	0,0002	0,0012	0,0007	0,0020	0,0004	0,0002	0,0009
<b>SBD2K</b>	- 174891 ,0	- 171943 ,0	- 142340 ,0	- 137984 ,0	- 142634 ,0	- 124984 ,0	- 189861 ,0	- 186493 ,0	- 151943 ,0
	0,0000	0,0000	0,0001	0,0002	0,0001	0,0005	0,0000	0,0000	0,0002
<b>SBD1K<sup>-1</sup></b>	378046 ,0	256071 ,0	181617 ,0	262227 ,0	199573 ,0	139475 ,0	234782 ,0	222770 ,0	133723 ,0
	0,0034	0,0511	0,1465	0,0340	0,1174	0,2550	0,0803	0,0988	0,2978
<b>SBD2K<sup>-1</sup></b>	- 194389 ,0	- 264158 ,0	- 317638 ,0	- 332199 ,0	- 355105 ,0	- 382223 ,0	- 429370 ,0	- 413129 ,0	- 446188 ,0
	0,0973	0,0242	0,0049	0,0030	0,0017	0,0005	0,0001	0,0003	0,0000
<b>PAC</b>	8407,0	7979,9	7543,2	7860,8	7666,8	7336,3	8292,3	8203,0	7835,7
	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>HKDENS<sub>i</sub></b>		3414,2			2339,5 9			1656,2 4	
		0,0006			0,0149			0,1179 6	
<b>QLAFRO</b>			- 228142 ,0			- 198319			- 234485
			0,0000			0,0000			0,0000
<b>ρ</b>				0,2929	0,2400	0,1715			
				0,0000	0,0000	0,0206 9			
<b>λ</b>							0,3720 97	0,3079 98	0,2752 32
							0,0000	0,0001	0,0004
<b>LM<sub>□</sub>(s)</b>	20,507 7	11,294 1	6,1737						
<b>LM*<sub>□</sub>(ns)</b>	0,4056	2,2934	2,6271						
<b>LM<sub>□</sub>(s)</b>	22,145 5	9,0026	13,044 7						
<b>LM*<sub>□</sub>(ns)</b>	2,0434	0,0019	9,498						
<b>R2</b>	0,2946	0,3178	0,3713	0,3526	0,3595	0,3978	0,3672	0,3647	0,4140

<b>Akaike</b>	9503,8	9493,6	9466,3	9488,7	9485,2	9462,8	9482,7	9483,0	9454,7
<b>Schwarz</b>	9530,5	9524,1	9496,8	9519,2	9519,5	9497,1	9509,4	9513,5	9485,2

**Fuente:** cálculos propios en Geoda.

**Nota:** LM corresponde a los multiplicadores de Lagrange. R2 es el coeficiente de determinación (en modelos espaciales solamente informativo). Los valores p-value aparecen debajo de cada uno de los coeficientes estimados.

## 6. Conclusiones

Entre los principales hallazgos del estudio se destaca que la ciudad de Cali ya no se rige bajo una estructura monocéntrica y más bien los datos y estimaciones sugieren un proceso paulatino de descentralización del empleo que en unos pocos años puede conducir a una configuración policéntrica con unos cuantos subcentros de empleo consolidados. Las calibraciones *cubic spline* sugieren un subcentro ubicado a 6 kilómetros del CBD conformado por los barrios Santa Anita – La Selva, Primero de Mayo y Gran Limonar, y el segundo ubicado a 11 kilómetros del CBD formado por los barrios Ciudad Campestre y Unicentro, ubicados en el sur de la ciudad, además de otros subcentros como el de la ciudad médica en las inmediaciones de Imbanaco que se erigen como candidatos importantes a subcentros de empleo especializados.

En cuanto a los precios del suelo, los índices de Moran y LISA sugieren que la variable de avalúo presenta autocorrelación espacial positiva, mostrando que en el centro tradicional y hacia el sur de la ciudad predominan unidades espaciales de altos avalúos catastrales, rodeados por barrios con la misma característica, y hacia el oriente se detectan barrios con avalúos catastrales bajos, rodeados por barrios similares, lo que se interpreta como evidencia de clústeres espaciales.

Así, los ejercicios estadísticos aportan evidencia de que los precios de la tierra en la ciudad muestran un patrón diferenciado con avalúos altos sobre todo el eje longitudinal y avalúos bajos hacia la periferia, donde se localizan zonas con densidades de población altas y muy alejadas de los subcentros de empleo, y que presentan un efecto positivo sobre el valor de la tierra. Este trabajo hace un aporte importante al entendimiento de la estructura y la dinámica de los precios de la tierra a partir de la estructura urbana y genera interrogantes sobre la política de usos del suelo de la ciudad y sus repercusiones de mediano y largo plazo a partir del plan de ordenamiento territorial (POT) y cómo se vinculará a la población que se encuentra alejada de los equipamientos urbanos.

Ahora bien, en el caso de Cali este patrón diferenciado de precios del suelo presenta una fuerte relación con la segregación residencial. Mientras que en el eje longitudinal de la ciudad se localiza población de altos niveles educativos y con ingresos medios y altos, que cuenta con mejor accesibilidad a las facilidades y servicios urbanos, en las zonas de ladera y en la zona oriente de la ciudad se localiza la población vulnerable, tal y como efectivamente lo corrobora la estimación de métricas de segregación residencial. En la línea de los hallazgos previamente anotados, la ciudad de Cali se caracteriza por su elevada segregación residencial en la que combina factores sociodemográficos, étnicos y económicos. El Gini espacial muestra un valor

relativamente alto de 0,57 que mide la elevada disparidad dentro del espacio urbano.

El cálculo adicional de índices de concentración de la población, según su composición de capital humano y etnia, permite apreciar que en aquellos polígonos o barrios con baja composición de capital humano se localiza una proporción importante de población afrodescendiente.

La relación entre el indicador de densidad de capital humano y la estructura de precios del suelo muestra la consistencia de los hallazgos. Las estimaciones de econometría espacial nos enseñan que en aquellos barrios con alta concentración de población afrodescendiente y con baja composición de capital humano, los precios del suelo son bajos (zona oriental) y que en los barrios con alta densidad de capital humano y baja concentración de población afro, los precios del suelo tienden a ser elevados.

## Referencias

- Anselin, L. & Rey, S. J. (2014). *Modern spatial econometrics in practice: A guide to GeoDa, GeoDaSpace and PySAL*. Chicago, US: GeoDa Press.
- Anselin, L. (1980). *Estimation methods for spatial autoregressive structures*. Regional Science. Dissertation and Monograph Series #8. Ithaca NY, US: Cornell University.
- Anselin, L. (1988). *Spatial Econometrics: Methods and Models*. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Avendaño, A. J. (2012). *Identificación de sub-centros de empleo y estimación de funciones de densidad para Bogotá D.C.* Barcelona, España: Universitat Autònoma de Barcelona.
- Barbary, O. (2004). El componente socio-racial de la segregación residencial en Cali. En O. Barbary y Fernando Urrea (Eds.), *Gente negra en Colombia* (pp. 157-194). Cali, Colombia: Editorial Lealon/CIDSE/Univalle-IRD-Colciencias.
- Clark, C. (1951). Urban Population Densities. *Journal of the Royal Statistical Society*, 114(4), 490- 496.
- Duque, V. (2013). Localización espacial de la actividad económica en Medellín, 2005-2010. Un enfoque de economía regional. *Ensayos sobre Política Económica*, 31(70), 217-266.
- Greene, D. L. (1980). Recent Trends in Urban Spatial Structure. *Growth Change*, 11(1), 29-40.
- Ipia, J. (2011). *Identificación de sub-centros de empleo través de la función cubic spline: el caso de Cali* (Tesis de pregrado). Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- McDonald, J. & McMillen, D. (1998). Land Values, Land Use, and the First Chicago Zoning Ordinance. *Journal of Real Estate Finance and Economics*, 16(2), 135–150.

- McDonald, J. F. & McMillen, D. P. (1990). Employment subcenters and value in a polycentric urban area: the case of Chicago. *Environment and Planning A*, 22(12), 1561-1574.
- McDonald, J. F. (1987). The identification of urban employment sub centers. *Journal of Urban Economics*, 21(2), 242-258.
- Moreno, R. y Vayá, E. (2000). *Técnicas econométricas para el tratamiento de datos espaciales: La econometría espacial*. UB 44. Barcelona, España: Universitat de Barcelona.
- Orozco, O. (2013). *Subasta del suelo y estructura urbana: un análisis para el área urbana de Manizales* (Tesis de maestría). Universidad de Manizales, Manizales, Colombia.
- Vásquez, E. (1982). *Historia del desarrollo urbano en Cali*. Cali, Colombia: Universidad del Valle.
- Vásquez, E. (2001). *Historia de Cali en el siglo 20. Sociedad, Economía, Cultura y Espacio*. Cali, Colombia: Universidad del Valle.
- Vivas, H. (Noviembre, 2011). Segregación residencial y distancia socioeconómica en Cali. En el Congreso Nacional de Sociología: *Herencia y ruptura en la Sociología Colombiana Contemporánea*. Universidad del Valle-ICESI, Cali, Colombia.
- Vivas, H. (2012). Persistencia de la segregación residencial y composición del capital humano por barrios en la ciudad de Cali. *Ensayos sobre Política Económica*, 31(70), 123-155.