

ESTRUCTURA URBANA Y PRECIOS DEL SUELO EN BOGOTÁ

ANTONIO AVENDAÑO
HERNÁN ENRÍQUEZ
SANTIAGO OLARTE*

RESUMEN

Una de las maneras de analizar el comportamiento del precio del suelo en una ciudad es a partir de su estructura urbana. Este trabajo analiza el gradiente de precios en Bogotá teniendo en cuenta la estructura urbana identificada para los años 1991 y 2005. La estructura urbana se define a partir del método de umbrales de densidad. Para tener en cuenta la naturaleza espacial de los precios del suelo, se utilizan métodos de econometría espacial, específicamente modelos de rezago y error espacial. Los resultados muestran un cambio cualitativo en la estructura urbana de Bogotá durante dicho periodo, y que los precios del suelo responden a dicha estructura urbana con un rezago temporal. El CDN no muestra influencia sobre el comportamiento del precio del suelo en Bogotá, el cual responde a una estructura urbana policéntrica.

Palabras clave: Precios del suelo, estructura urbana, umbrales de densidad

Clasificaciones JEL: C21, O18, R30

* Antonio Avendaño y Hernán Enríquez son profesores investigadores de la Escuela de Economía, Universidad Sergio Arboleda. Santiago Olarte es economista de la Universidad Sergio Arboleda. Correos electrónicos: antonio.avendano@usa.edu.co, hernan.enriquez@usa.edu.co y santiago1262@hotmail.com. Recibido: agosto 26 de 2014; aceptado: octubre 23 de 2014.

ABSTRACT

Urban Structure and Land Prices in Bogotá

The analysis of urban structure is one of the approaches used to express land values. We analyze the land value gradient in Bogotá based on its urban structure in 1991 and 2005. Urban structure is defined using the density threshold method. To take into account the spatial characteristics of land values, spatial econometrics methods are used, specifically spatial lag and spatial error models. The results show a change in the spatial urban structure of Bogotá during that period of time, and that land values respond to that structure with a time lag. The CBD does not have any influence on land values in Bogotá, which are more related to a polycentric urban structure.

Key words: Land prices, urban structure, density thresholds

JEL classifications: C21, O18, R30

I. INTRODUCCIÓN

La teoría del modelo monocéntrico puede no ser suficiente para explicar la estructura urbana de las ciudades y los precios del suelo. En la actualidad, en distintas ciudades del mundo, se está presentando un fenómeno de aparición de grandes concentraciones de empleo diferentes al Centro Distrital de Negocios tradicional (en adelante CDN) (McMillen, 2001; Muñiz y García-López, 2010). Por esta razón, en la literatura se han propuesto diferentes teorías para mejorar las predicciones del modelo monocéntrico mediante modelos policéntricos (Anas, *et al.*, 1998). De igual manera, se impone la identificación de subcentros de empleo, para lo cual se han propuesto diversas metodologías.

En este trabajo se busca explicar el comportamiento del precio del suelo en Bogotá a partir de su estructura urbana. Utilizando la metodología de Muñiz, García-López y Galindo (2008) y Muñiz y García-López (2010), se identifican los subcentros de empleo donde se desarrolla la mayor parte de la actividad económica de la ciudad. Esta metodología permite comparar el empleo de cada sector con el empleo de toda la ciudad, para así asegurar que los sectores elegidos como subcentros son proporcionalmente mayores a los demás. Además, el trabajo hace

una comparación con el comportamiento de los precios del suelo a partir de la estructura urbana identificada por Dowall y Treffeisen (1991), y cómo el cambio en la estructura urbana afecta dichos precios.

El análisis de los efectos de la estructura urbana sobre los precios del suelo es importante tanto para el estudio de la economía de las ciudades como para la política territorial. Este trabajo busca contribuir a llenar el vacío que existe en la literatura respecto al análisis de la estructura urbana y sus efectos económicos en las ciudades en Colombia. El precio del suelo, además, es una variable fundamental en la identificación de las centralidades urbanas y las operaciones estratégicas dispuestas para articular la actividad económica con los usos del suelo y la red de transporte. Determinar los subcentros de empleo y cuáles de estos tienen un efecto significativo sobre los precios del suelo importa para determinar si los agentes económicos están capitalizando las intervenciones económicas que el planeamiento urbano hace en la ciudad.

Con base en los resultados obtenidos, se puede inferir que la estructura urbana en Bogotá responde a una estructura policéntrica. La zona nororiental de la ciudad ha generado la mayor cantidad de empleo, convirtiéndose en un eje importante para la localización de la actividad económica. Asimismo se encuentra que el CDN no tiene influencia sobre el comportamiento del precio del suelo en Bogotá.

Este trabajo se divide en seis secciones. En la siguiente, se examina la relación existente entre la estructura urbana y el precio del suelo, teniendo en cuenta trabajos anteriores relacionados con el tema. En la tercera sección se presentan los datos utilizados e información relevante de Bogotá. La sección cuarta reúne la metodología usada con los resultados obtenidos. Seguidamente se analizan estos resultados. Finalmente, se presentan unas conclusiones.

II. ESTRUCTURA URBANA Y PRECIOS DEL SUELO

El comportamiento espacial de los precios del suelo es un tema central de la economía urbana y ha sido estudiado desde diferentes perspectivas. En primer lugar se destacan los trabajos que explican el comportamiento del precio del suelo a partir de los precios hedónicos. Entre estos se encuentran los estudios de Berry (1976), Bender y Hwang (1985), Mendieta y Perdomo (2007), Ahlfeldt y Maennig (2010) y Cervero y Kang (2011). Estos trabajos se basan en la influencia

que tienen las características propias de las viviendas y los barrios sobre los precios del suelo. En segundo lugar se cuentan los trabajos que buscan explicar el comportamiento de los precios del suelo desde la perspectiva de la zonificación. Entre estos se pueden mencionar los de Crone (1983), McMillen y McDonald (1993), McDonald y McMillen (1998) y Magliocca, McConnell, Walls y Safirova (2012). Esta herramienta permite al gobierno de la ciudad prohibir el uso incompatible del suelo, de manera que se pueda dividir en zonas especiales para cada actividad económica. La tercera perspectiva analiza el comportamiento espacial de los precios del suelo a partir de la estructura urbana. En este grupo sobresalen los trabajos de Dowall y Treffeisen (1991), McMillen (1996), Colwell y Munneke (1997) y Colwell y Munneke (2009).

El presente estudio analiza la influencia de la estructura urbana de Bogotá sobre los precios del suelo. La estructura urbana de una ciudad se entiende como la distribución de la actividad económica sobre el territorio. Para analizarla es necesario identificar los subcentros de empleo. Trabajos de este tipo han sido realizados por McDonald (1987) y McMillen y McDonald (1998), para Chicago; Giuliano y Small (1991), para Los Ángeles; Dowall y Treffeisen (1991), para Bogotá; McMillen (2001), para Chicago, Dallas, Houston, Los Ángeles, New Orleans y San Francisco; Muñiz, Galindo y García-López (2003) y Muñiz, *et al.*, (2008), para Barcelona, y por Muñiz, García-López, Avendaño y Sánchez (2012), para Barcelona, Los Ángeles, Bogotá y Ciudad de México.

El estudio de Anas *et al.* (1998) hace énfasis en la diferencia entre estructuras urbanas monocéntricas y policéntricas y analiza cómo una ciudad pasa de un modelo al otro, teniendo en cuenta ventajas y desventajas para las firmas y personas en cuanto a precios del suelo y costos de transporte.

Según la teoría del modelo monocéntrico el precio del suelo urbano disminuye a medida que aumenta la distancia al CDN. Por consiguiente, al estudiar una ciudad policéntrica se debe demostrar cómo el precio del suelo disminuye al alejarse de cada uno de los subcentros de empleo que componen la estructura urbana. Los subcentros replican las funciones del CDN en menor escala (Muñiz y García-López, 2012). Es evidente que la actividad económica está más dispersa en el espacio, lo cual implica que la estructura urbana de las ciudades ha cambiado. Según Muñiz y García-López (2012), la aparición de nuevos subcentros de empleo puede ser explicada por un desequilibrio entre las economías y deseconomías de aglomeración. Al CDN se le suman los subcentros de empleo que surgen como reacción a los altos precios del suelo, congestión, escasez de tierra y contaminación,

entre otros factores. Así, para una firma, el hecho de estar alejada del CDN implica pagar un menor precio por el suelo ocupado. Trabajos como los de White (1976), Wieand (1987), Muñiz *et al.*, (2008), Avendaño (2008) y Muñiz y García-López (2010) describen la creación de nuevos subcentros de empleo.

Las personas no cambian su comportamiento con la existencia de subcentros. Al igual que en el modelo monocéntrico, los hogares prefieren estar cerca de los subcentros, configurando un equilibrio espacial a través del principio compensatorio, según el cual el mayor precio del suelo que se paga por estar en los subcentros se compensa con menores costos de transporte (Anas *et al.*, 1998). Asimismo, las empresas aprovechan los subcentros para tener acceso a las economías de aglomeración que allí se presentan a un menor costo. La razón fundamental para priorizar la proximidad física es que ésta aún es necesaria para acceder a la información y al conocimiento (Muñiz y García-López, 2010).

La relación existente entre la estructura urbana policéntrica de Bogotá y el precio del suelo no ha recibido mucha atención en la literatura. El trabajo más sobresaliente, para el caso de varias ciudades latinoamericanas, es el de Dowall y Treffeisen (1991), que muestra que los precios del suelo en Bogotá se explican mejor a partir de una estructura urbana policéntrica que monocéntrica. El sistema de transporte masivo, por otra parte, ha sido objeto de algunos estudios para explicar el comportamiento del precio del suelo en Bogotá. Estos trabajos analizan el efecto de la proximidad a Transmilenio (programa de buses articulados que cubre parte del área urbana de la ciudad) sobre el precio del suelo y la vivienda. Algunos de estos trabajos son los de Rodríguez y Targa, (2004), Mendieta y Perdomo (2007) y Bocarejo, Portilla y Pérez (2012).

III. DATOS

Este trabajo se realiza con base en datos de dos fuentes principales: la Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital (UAECD) para los precios del suelo en Bogotá y la Secretaría Distrital de Planeación (SDP) para la información cartográfica y de empleo (ver Anexo A). Los precios obtenidos son de 2008 y están georreferenciados para el análisis. Para la identificación de los subcentros de empleo se usa información georreferenciada de empleo del año 2005. La información cartográfica, obtenida del SDP, toma como unidad de observación 607 sectores censales en que se divide la ciudad.

La población de Bogotá tuvo un crecimiento de 38% entre 1991 y 2005, cuando pasó de 4'947.890 a 6'840.116 habitantes. Cabe señalar que Bogotá, además de ser la capital de Colombia, también es la ciudad más grande y la que mayor participación tiene en el Producto Interno Bruto (PIB) nacional (según el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas, DANE, es de aproximadamente 25%). Lo anterior explica, en parte, la inmigración que recibe Bogotá, de personas en busca de mejores oportunidades laborales y educativas.

Según datos de la Lonja de Propiedad Raíz de Bogotá (2012), entre 1991 y 2005 el precio real del suelo aumentó considerablemente, teniendo en cuenta sus diferentes usos. El Cuadro 1 muestra esos aumentos según el tipo de actividad o uso del suelo para diferentes zonas de la ciudad. Se observa un aumento generalizado de los precios, excepto en las zonas industriales y de bodegas y el CDN.

CUADRO 1
Bogotá: Precios del suelo

| Zona | Precio real Base 2012 | | Variación |
|--|--------------------------|-----------|-----------|
| | 1991 | 2005 | |
| Comercio y servicios en CDN | 790.341 | 790.000 | 0,0% |
| Comercio y servicios de estratos altos | 1'264.185 | 1'552.174 | 22,8% |
| Áreas comerciales populares | 767.972 | 816.250 | 6,3% |
| Industriales y de bodegas | 316.128 | 281.667 | -10,9% |
| Residencial de estrato alto | 956.531 | 1'290.909 | 35,0% |
| Residencial de estrato medio-alto | 442.805 | 663.636 | 49,9% |
| Residencial de estrato medio-medio | 266.440 | 376.667 | 41,4% |
| Residencial de estrato medio-bajo | 196.453 | 257.348 | 31,0% |
| Residencial popular | 135.483 | 168.333 | 24,2% |

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la Lonja de Propiedad Raíz de Bogotá.

A excepción del CDN y las zonas industriales y de bodegas, en todas las zonas se ha presentado un aumento del precio del suelo. En las zonas residenciales de estrato medio-alto y medio-medio, el precio ha aumentado casi el 50%, lo cual muestra que el uso residencial del suelo ha sido el más afectado con este fenómeno.

no. El menor aumento presentado en las zonas de uso residencial es de 24%, que corresponde a las zonas residenciales de estratos bajos. Por otra parte, en las áreas comerciales y de servicios se observa un aumento importante en las zonas de estratos altos (23%), mientras que las de bajos estratos es de solo 6%. Estos aumentos pronunciados en los precios del suelo se deben a problemas de escasez (Higera, 2012), en parte debida al fenómeno migratorio anotado.

El área urbana de Bogotá aumentó en 37% entre 1991 y 2005, cuando pasó de 28.153 a 38.683 hectáreas. Este incremento es debido a factores como el aumento del precio del suelo, presiones poblacionales (migración, natalidad, etc.) y aumento del empleo. Para efectos de este trabajo, se hace énfasis en los precios del suelo. Con un precio del suelo mayor, las personas de menores ingresos deben localizarse en la periferia de la ciudad, donde el precio es más bajo. Así, los hogares logran establecerse en el mayor centro urbano del país, expandiendo los límites de la ciudad.

En términos de fuerza laboral empleada el crecimiento ha sido aún mayor, pues pasó de 1'884.732 en 1991 a 3'191.000 en 2005, un incremento de 69%. Cabe señalar que la tasa de informalidad en Bogotá, según cifras del DANE, era alrededor de 54% en 2005. De otra parte, al igual que otras ciudades grandes de Colombia, Bogotá ha visto un desarrollo importante en los servicios que requieren mano de obra calificada, como los financieros, seguros, etc. Este sector, según Gutierrez (2009), jalonó el PIB de Bogotá entre 2001 y 2007 con una contribución promedio del 31,6%. La tasa de ocupación en Bogotá en ese mismo período estuvo entre 52% y 59 %.

IV. METODOLOGÍA Y RESULTADOS

A. Datos

Los datos recopilados fueron los precios del suelo, el empleo e información cartográfica. Los precios del suelo fueron convertidos a precios reales de 2005. Para el caso del empleo, los datos obtenidos corresponden al año 2005. La información cartográfica, que toma como unidad de observación 607 sectores censales para dividir la ciudad, debió ser depurada.

De todos los sectores, se tiene información de precios de 567. El resto fue excluido de la base de datos. Se eliminaron observaciones que en las variables

independientes toman un valor de cero para poder utilizar los términos inversos de dichos datos. Para el modelo con los subcentros de Dowall y Treffeisen (1991), se obtienen 562 observaciones finales y para el modelo con los nuevos subcentros hallados en este trabajo, se cuenta con 557. También se elimina un sector censal en la localidad de Usme, que no tiene vecinos y no puede ser incluido en las matrices de precios espaciales.

B. Identificación de subcentros de empleo

Para estimar el efecto de la estructura urbana sobre los precios del suelo es necesario identificar los subcentros de empleo porque dichos subcentros muestran un patrón de comportamiento de la distribución de la actividad económica. En este trabajo se emplea la metodología usada por Muñiz, *et al.*, (2008) y por Muñiz y García-López (2010). Con esta metodología se encuentran zonas que tienen un empleo representativo en la ciudad, teniendo en cuenta características del espacio en su implementación. Utilizando el software ArcMap®, se identifican como subcentros los sectores censales con una densidad neta de empleo¹ ($D_{i,t}$) mayor o igual que la densidad promedio de Bogotá ($\bar{D}_{Bog,t}$) y un nivel de empleo ($E_{i,t}$) del 1% o más del total de empleo en Bogotá ($E_{Bog,t}$). La ecuación 1 presenta la metodología de identificación de subcentros.

$$\begin{aligned} D_{i,t} &\geq \bar{D}_{Bog,t} \\ E_{i,t} &\geq 1\% E_{Bog,t} \end{aligned} \quad (1)$$

El Cuadro 2 presenta una descripción del CDN y los subcentros de empleo hallados en este trabajo con la metodología anterior; además presenta información sobre la cantidad de empleo de cada subcentro.

En el Mapa 1 se aprecia cómo la ubicación de los subcentros de empleo en Bogotá tiene una tendencia hacia la zona nororiental. Además, con base en la descripción de los subcentros, es claro que la prestación de servicios de alta jerarquía ocupa un lugar importante en el empleo de Bogotá.

¹ Este indicador se define como la razón entre el empleo de cada sector censal y el área del mismo.

CUADRO 2
Bogotá: Ubicación subcentros de empleo, 2005

| Subcentro | Ubicación | Empleo |
|-----------------------------------|--|-----------|
| CDN | Tiene en cuenta el centro tradicional de Bogotá y las zonas comerciales, de oficinas y hoteleras hacia el norte | 29.645 |
| Álamos | Ubicada al occidente de la ciudad, esta zona presenta una parte muy importante del empleo industrial | 14.417 |
| Calle127 | Además de la concentración residencial, esta zona ofrece una gran cantidad de servicios de alta jerarquía y centros comerciales | 14.387 |
| Calle100 | La aglomeración de mano de obra especializada predomina en la zona. Igualmente presenta la mayor actividad nocturna de la ciudad | 51.835 |
| Avenida Chile | Denominada la zona financiera de Bogotá, esta zona reúne a los prestadores de servicios de este tipo principalmente | 36.799 |
| San José | La zona de comercio popular más importante de Bogotá, ofrece empleo a trabajadores de mano de obra no calificada en su mayoría | 14.719 |
| Empleo total Bogotá | | 3'191.000 |
| Empleo promedio por sector censal | | 5.257 |

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la SDP.

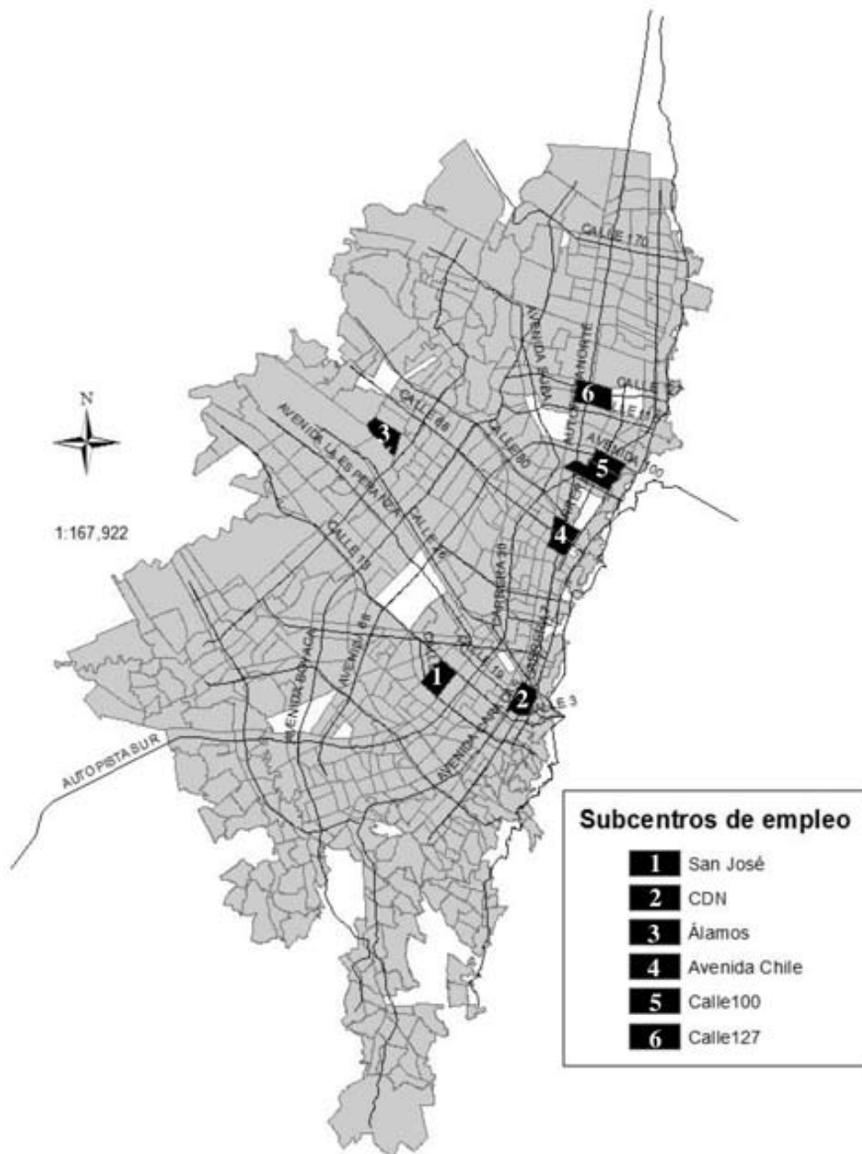
Los subcentros de empleo muestran la distribución de la actividad económica de una ciudad. Según la metodología aplicada en este trabajo, Bogotá cuenta con cinco subcentros, aparte del CDN. Estos cinco subcentros tienden a concentrarse en el nororiente de la ciudad, zona en la cual se ubican importantes concentraciones residenciales y de empleo formal calificado. La estructura urbana hallada en este trabajo es útil para analizar su influencia sobre el precio del suelo y para hacer una comparación con la hallada por Dowall y Treffeisen (1991).²

C. La influencia de la estructura urbana sobre el precio del suelo

Para estimar la relación entre la estructura urbana y el precio del suelo en Bogotá, se debe introducir una variable *proxy* para la distancia entre los sectores

² En el Anexo C se presenta el mapa de subcentros de empleo hallados por Dowall y Treffeisen (1991).

MAPA 1
Bogotá: Subcentros de empleo, 2005



Fuente: Elaboración propia con base en datos de la SDP.

censales y cada uno de los subcentros de empleo. El mismo ejercicio se realiza utilizando los subcentros de empleo definidos por Dowall y Treffeisen (1991). Las estimaciones y pruebas necesarias se realizan con ayuda del programa econométrico R.

Las variables incluidas en el modelo se calcularon utilizando el programa Arc-Map®. Primero se definieron los centroides de los sectores censales y, a partir de estos, se calculó la distancia a cada uno de los subcentros de empleo para los dos modelos a estimar. En el Cuadro 3 se presentan estadísticas descriptivas de las variables de cada uno de los modelos.

CUADRO 3
Estadísticas descriptivas de las variables utilizadas en los modelos

| Variables modelo 1991 | | | | |
|-----------------------|----------|---------------------|--------|---------|
| Variable | Promedio | Desviación Estándar | Mínimo | Máximo |
| Pr | 241.254 | 140.423 | 26.440 | 797.070 |
| discbd | 8,38 | 4,329 | 0,433 | 19,341 |
| disuni | 11,675 | 5,712 | 0,716 | 26,243 |
| discha | 8,835 | 3,994 | 0,427 | 19,751 |
| disind | 7,522 | 3,634 | 0,572 | 17,485 |
| disken | 8,88 | 4,503 | 0,757 | 21,383 |
| disres | 8,408 | 5,182 | 0,626 | 22,092 |
| Variables modelo 2005 | | | | |
| Variable | Promedio | Desviación Estándar | Mínimo | Máximo |
| Pr | 236.887 | 133.590 | 26.440 | 797.070 |
| Discbd | 8,386 | 4,332 | 0,433 | 19,341 |
| Disala | 9,545 | 4,46 | 0,591 | 23,641 |
| dis127 | 11,248 | 5,691 | 0,72 | 26,086 |
| dis100 | 10,473 | 4,991 | 0,607 | 24,003 |
| Disach | 8,789 | 4,182 | 0,51 | 20,767 |
| Dissan | 7,551 | 4,163 | 0,665 | 19,126 |

Nota: Precios en pesos por metro cuadrado de 2005 y distancia medida en kilómetros.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la SDP y la UAEDC.

La variable pr representa el precio del suelo en términos reales del año 2005. Las demás variables representan la distancia a los subcentros de empleo:

discbd: distancia al CDN, ubicado en la Avenida Caracas con Calle 19 hacia el suroriente.

disuni: distancia al subcentro Unicentro, en la Calle 127 entre la Autopista Norte y la Carrera Séptima.

discha: distancia a Chapinero, que inicia en la Calle 72 hacia el sur por la Carrera Séptima.

disind: distancia al subcentro Industrial, ubicado en la Avenida 68 con Calle 13 .

disken: distancia al subcentro Kennedy, en el suroccidente de la ciudad sobre la Avenida Boyacá.

disres: distancia a Restrepo, al sur sobre la Avenida Caracas.

disala: distancia al subcentro Álamos, ubicado por la Calle 26 hacia el Aeropuerto Internacional Eldorado.

dis127: distancia al subcentro Calle127, identificado por la Calle 127 hacia el oriente de la Autopista Norte.

dis100: distancia a Calle100, identificado sobre la Calle 100 hacia el sur por la Carrera Séptima.

disach: distancia al subcentro Avenida Chile, ubicado en la zona financiera de la ciudad, Calle 72 con Carrera Séptima.

dissan: distancia a San José, identificado en la Calle 13, al occidente de la Carrera 30.

Las únicas dos variables que se repiten son el precio, que es la variable dependiente, y la distancia al CDN. La distancia mínima promedio es a los subcentros Industrial para la estructura urbana de 1991 y San José para 2005. Esta menor distancia indica una centralidad geográfica de la ciudad. Es decir, los dos anteriores subcentros son los más cercanos a la población de la ciudad. Por otra parte, Unicentro en 1991 y Calle127 en 2005 son los subcentros que, en promedio, están más alejados de las personas. Esto muestra una continuidad, ya que “Calle 127” reemplazó a “Unicentro” como subcentro de empleo de Bogotá entre esas dos fechas.

1. Estimación preliminar

El primer ejercicio se hizo con el estimador MCO. Se tomó como variable dependiente el logaritmo del precio del suelo en 2005 en términos reales. A excep-

ción del CDN, para los demás subcentros se utilizó el término inverso de la distancia calculada para reducir la multicolinealidad que se presenta al trabajar con múltiples variables que miden distancia. Asimismo, se incluyeron como variables los cuadrados de algunas de dichas inversas para capturar los efectos no lineales en el modelo (esto aplica para el caso de la estructura urbana definida por este trabajo y por Dowall y Treffeisen (1991). La ecuación general de estimación por MCO se presenta a continuación:

$$lpr_i^r = \beta_0 + \beta_1 discdn_i^r + \sum_{j=1}^k \beta_j invdis_{ji}^r + u_i^r \quad (2)$$

$$u_i^r \sim N(0, \sigma^{2r})$$

Donde,

- lpr es el logaritmo del precio del suelo en términos reales del año 2005,
- $discdn$ es la distancia al CDN en kilómetros,
- $invdis$ es la distancia inversa en kilómetros a cada uno de los subcentros de empleo,
- u es una variable aleatoria que se distribuye normalmente con media cero y varianza constante,
- β es el estimador, y
- r es un supraíndice que representa el año de la estimación (1991, 2005).

Los resultados de la estimación por MCO de los dos modelos se presentan en el Cuadro 4. Las variables del Cuadro 4 representan la distancia al CDN para el caso de $discbd$ y la distancia inversa a cada uno de los subcentros identificados en cada año.

El análisis de los resultados anteriores se centra en los signos. En los dos casos, todas las variables presentan el signo esperado, a excepción del CDN. También en los dos casos, las pruebas realizadas para comprobar su eficiencia muestran resultados negativos (Anexo B). Por esta razón, no se interpretan los resultados por la presencia de sesgo en los modelos. Para una mejor especificación de los modelos, se incluyen parámetros que tienen en cuenta la naturaleza espacial de los datos.

En el Cuadro 5 se presentan los valores obtenidos para el gradiente del CDN en diferentes ciudades para diferentes períodos de tiempo. Estos resultados, con

CUADRO 4
Resultados de estimación por MCO

| ps91 | | ps05 | |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| Variable | Gradiente de precios | Variable | Gradiente de precios |
| discdn | 0,048 **** (6,171) | discdn | 0,023 *** (3,200) |
| invdistuni | 4,486 **** (10,008) | invdistala | 0,468 **** (3,356) |
| invdistcha | 3,081 **** (8,186) | invdist127 | 3,661 **** (4,470) |
| invdistind | 1,099 **** (6,484) | invdist100 | 0,692 * (0,937) |
| invdistken | 0,876 **** (6,354) | invdistach | 1,491 **** (3,937) |
| invdistres | 0,545 **** (4,530) | invdistsan | 1,076 **** (7,437) |
| invdistuni ² | -3,015 **** (-5,964) | invdist127 ² | -2,643 *** (-2,809) |
| invdistcha ² | -1,621 **** (-5,920) | invdist100 ² | -0,418 * (-0,898) |
| Constante | 10,487 **** | invdistach ² | -0,711 *** |
| F-estadístico | 37,330 **** | | (-2,904) |
| R ² ajustado | 0,576 | Constante | 11,025 **** |
| | | F-estadístico | 45,150 **** |
| | | R ² ajustado | 0,466 |
| # obs | 562 | # obs | 557 |

Nota: Precios en pesos por metro cuadrado de 2005, distancias en kilómetros y valores t entre paréntesis.

Significancia: 0,1 % ‘****’, al 5 % ‘***’, al 10 % ‘**’, No sig. ‘*’

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la SDP y de la UAECD.

excepción del trabajo de McMillen (1996), tampoco tienen en cuenta la naturaleza espacial de la información y, por lo tanto, no controlan por los posibles problemas de autocorrelación y heterocedasticidad asociados a este tipo de datos. En términos generales, el valor del gradiente obtenido en estos trabajos es negativo, aunque también se obtienen valores positivos y no significativos.

Los resultados del Cuadro 5, asociados a los trabajos que realizan un análisis temporal de la estructura urbana, aportan evidencia de la pérdida de peso del CDN como elemento estructurante de la disposición espacial de los precios del suelo en diferentes ciudades. Los resultados para Bogotá presentados en el Cuadro 4 van en la misma dirección, y apuntan al surgimiento de una estructura urbana policéntrica.

2. Especificación y estimación de un modelo espacial

Teniendo en cuenta que los datos utilizados en este trabajo son de naturaleza espacial, se introdujeron efectos espaciales en el modelo. Esto se debe a una limitación del estimador MCO para tener en cuenta la naturaleza espacial de los datos. Al contar con observaciones ubicadas en el espacio, se pueden generar problemas de heterocedasticidad pero, principalmente, problemas de sesgo que podrían ser controlados al incluir variables de distancia en el modelo. Si ello no se logra, se debe incluir el efecto espacial para controlar dichos problemas. Por esta razón, se introdujeron parámetros que tienen en cuenta la influencia de otras zonas del espacio sobre la variable dependiente.

En primer lugar, se quiso comprobar si existe dependencia espacial en general en Bogotá. Para tal fin se analizó el mapa de precios del suelo en Bogotá y el índice de Moran. El Mapa 2 es un plano de Bogotá con cinco rangos de precios. Es evidente que los sectores censales con precios altos están rodeados de sectores de precios altos. Lo mismo sucede con los precios bajos. Esto demuestra que en Bogotá se puede estar presentando un caso de dependencia espacial. La zona nororiental de la ciudad presenta los precios del suelo más altos. Al avanzar hacia el norte, la caída de dichos precios es suave, pasando por tres rangos de precios diferentes. Hacia el occidente se presenta una caída similar. En las zonas del sur de la ciudad se observan los precios más bajos.

En el Cuadro 5 se presentan los resultados de las pruebas del índice de Moran, que confirman la presencia de autocorrelación espacial en la variable dependiente a estimar, al no mostrar suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula de no autocorrelación espacial con un valor t de 0,00.

CUADRO 5
Gradientes de precio obtenidos en diferentes ciudades

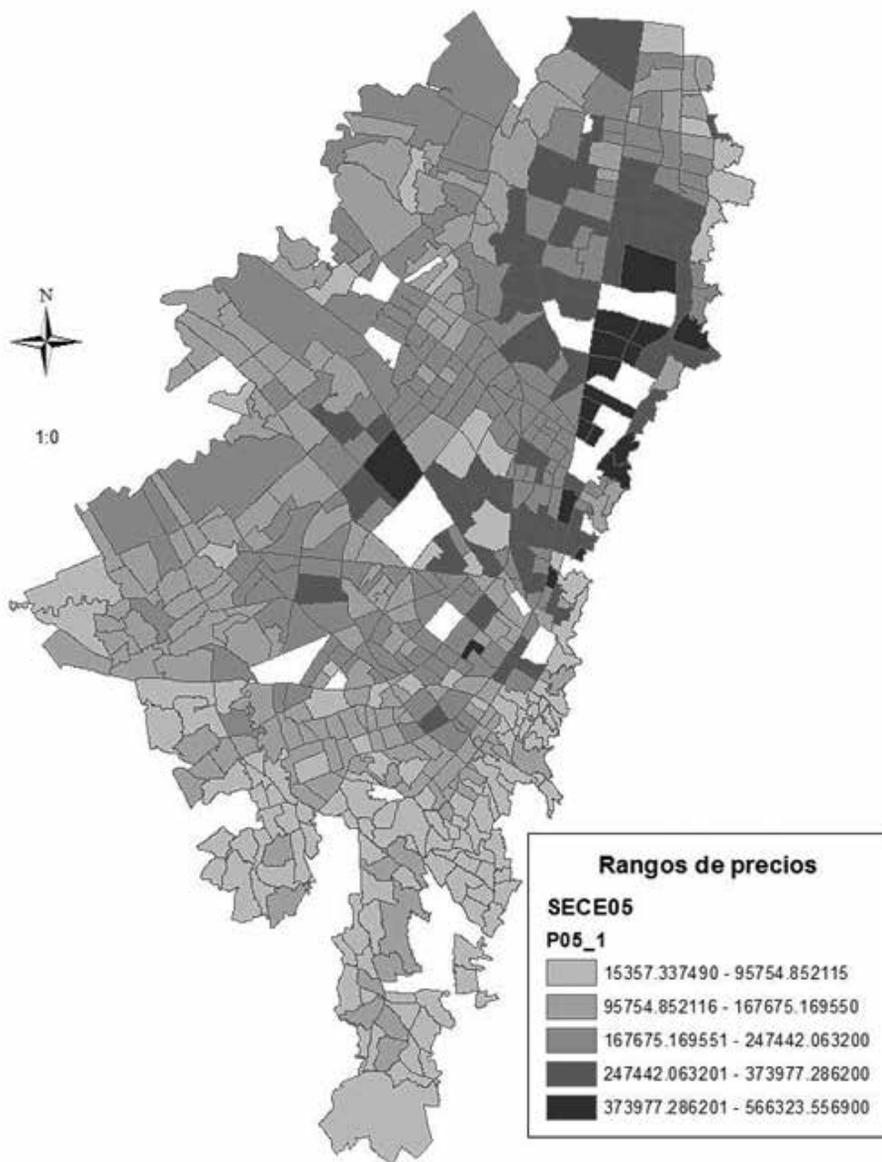
| Estudio | Objetivo | Ciudad | Periodo | Modelo estimado | Variable endógena | Tipo de datos/ Unidad de observación. | Controles | Gradiente (CDN) |
|----------------------------|---|--------------------------------|------------------------------|---|--|--|--|--|
| Colwell and Munneke (1997) | Analizar la estructura urbana de los precios del suelo teniendo en cuenta la concavidad de los precios respecto al área de los lotes | Cook County (Illinois, EE.UU.) | 04/1986-09/1992 | OLS con variable de selección estimada a partir de un logit multinomial | Precio de venta por lote | Ventas de lotes para usos residencial, comercial e industrial/lotés | Distancia norte, área del lote, variable selección, localización dentro del perímetro urbano. | R:-0.0232 |
| | | | | | | | | C:-0.0448 |
| McMillen (1996) | Demostrar la utilidad de las aproximaciones no paramétricas para analizar la estructura urbana de los precios del suelo en un contexto monocéntrico | Chicago (EE.UU.) | 1960 1970 1980 1990 | OLS y Test F no paramétrico | Logaritmo del valor del suelo | Valores de suelo agregados por bloques para propiedades comerciales/ bloques | Distancias a: Lago Michigan, Aeropuertos. | -2.77 |
| | | | | | | | | -2.55 |
| | | | | | | | | -2.19 |
| | | | | | | | | -1.07 |
| Yeates (1965) | Analizar la distribución espacial de los valores del suelo en Chicago | Chicago (EE.UU.) | 1960 | OLS | Logaritmo del valor del suelo | Valores del suelo agregados por bloques/bloques | Distancias a: Aeropuerto, centro comercial más cercano, Lago Michigan, sistema metro, densidad de población y % pob. no blanca. | -0.173 |
| Peiser (1987) | Analizar los determinantes del valor del suelo no-residencial | Dallas (EE.UU.) | 1978-1982 | OLS | Logaritmo del valor del suelo por pie cuadrado | Ventas de lotes para usos comercial, oficinas e industrial/lotés | Tamaño del lote, localización del predio dentro del bloque, uso normativo del suelo, tasas de desempleo, cambios en tasa de interés, empleo, otras distancias. | I:0.032* C:-0.019* O:-0.069* I:0.029* C:-0.025 O:-0.058 |

| | | | | | | | | |
|---------------------------|--|------------------------|--------------|------------------------------|--|--|--|---------------------------------|
| Schmerner (1981) | Estimar gradientes de renta del suelo para uso industrial | Cincinnati (EE.UU.) | 1975-1976 | OLS | Renta pagada (a) por la empresa y valor estimado del predio por parte de los empresarios que desarrollan su actividad en el mismo. | Valores de renta y avalúos propios sobre predios con actividad industrial/predios | Área del lote destinada a producción, número de construcciones en el lote, accesos viales, servicios públicos, tipo de propiedad(única o compartida), año en que se ocupe el predio. | 0.0144*(a) -0.0074*(p) |
| Kok et al. (2014) | Analizar la relación entre la regulación urbana y los precios del suelo y la vivienda | San Francisco (EE.UU.) | 1991-2010 | OLS incluyendo efectos fijos | Logaritmo del precio del suelo por pie cuadrado | Ventas de propiedades/lotés | Presencia de sistema de transporte masivo, tipo de usos definido por la norma urbana, condición de desarrollo del lote (desarrollado, en espera, etc...) | -0.024 |
| Ding y Zhao (2014) | Analizar los patrones espaciales urbanos de los gradientes de precios del suelo y la vivienda. | Beijing (China) | 1999-2003 | OLS | Precios del suelo en proyectos urbanos | Datos de ventas en proyectos urbanos excluyendo vivienda pública, vivienda subsidiada, y casas/Proyectos inmobiliarios | Interacción año proyecto localización del mismo. | -0.15 - -0.1 |
| Ding (2004) | Analizar las características del desarrollo urbano en Beijing | Beijing (China) | 1993 | OLS | Logaritmo de precios del suelo en proyectos urbanos | Derechos de uso sobre el suelo/Proyectos urbanos | Uso del suelo y distancia a la autopista más cercana. | -0.22**/-0.11 |
| | | | 1995 | | | | | -0.21**/-0.03* |
| | | | 1997 | | | | | -0.18**/-0.08 |
| | | | 2000 | | | | | -0.16**/-0.07 |
| Dowall y Treffisen (1991) | Estimar gradientes de densidad y precios para explicar cambios en la estructura urbana. | Bogotá (Colombia) | 1973 1985 | OLS | Logaritmo precio del suelo | Ventas de lotes y avalúos puntuales | Distancias a subcentros de empleo de empleo. | -0.10 - -0.087 -0.09 - -0.02 |

Notas: R: residencia. C: comercial; I: industrial; O: oficinas; a: arriendo pagado por el predio industrial; p: avalúo de predios propios destinados a industria.
*No significativo. ** estimación exponencial negativa.

Fuente: Elaboración propia con base en diferentes documentos.

MAPA 2
Bogotá: Precios del suelo en el territorio urbano



Fuente: Elaboración propia con base en datos de la SDP y la UAEDC.

Estas pruebas indican la existencia de autocorrelación espacial en Bogotá. Esta es general, es decir, se entiende que el rezago en la variable dependiente afecta dicha variable, pero no se puede determinar que un rezago en los errores afecta la variable dependiente. Por esta razón, se debieron realizar las pruebas LM-LAG y LM-ERR, que se basan en el principio de multiplicadores de Lagrange e identifican dependencia espacial en la variable dependiente o en los errores (dependencia espacial sustantiva o residual).

CUADRO 6
Índice de Morán

| I Estadístico | I Esperado | Varianza |
|---------------|------------|----------|
| 0,639 **** | -0,002 | 0,001 |

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la SDP.

Los resultados de las pruebas LM-LAG y LM-ERR se presentan en el Cuadro 6. Allí se confirma la dependencia espacial sustantiva y residual al rechazar la hipótesis nula de no dependencia espacial.

CUADRO 7
Diagnóstico de multiplicador de Lagrange para dependencia espacial

| Modelo | LM-ERR | P-value | LM-LAG | P-value |
|--------|---------|---------|---------|---------|
| PS91 | 94,47 | 0 | 109,463 | 0 |
| PS05 | 138,062 | 0 | 146,802 | 0 |

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la SDP y la UAEC.

Las pruebas realizadas para la detección de autocorrelación espacial mostraron que sí se está presentando este fenómeno en los dos modelos econométricos. Dicha dependencia espacial estuvo presente tanto en la variable dependiente como en los residuos, es decir, dependencia espacial sustantiva y residual. Lo anterior implica la necesidad de incluir efectos espaciales en los dos modelos para tener una interpretación más acertada de los resultados.

La inclusión de los efectos espaciales en el modelo de estimación hizo necesaria la creación de una matriz de pesos espaciales, W . En este trabajo se utilizaron dos matrices reina de pesos espaciales debido a la diferencia en la cantidad de

observaciones de los dos modelos a estimar. Una matriz reina toma como vecinos de primer orden de un sector censal todos aquellos sectores censales que son contiguos en cualquier dirección. Un vecino de segundo orden de un sector censal es aquel vecino de primer orden de un vecino de primer orden del sector censal en cuestión. En general, no existen situaciones que requieran la adopción de un criterio de vecindad que vaya más allá del segundo orden (Baronio, Vianco, y Rabanal, 2012).

Para la selección del modelo de econometría espacial a estimar, se partió de un modelo que incluye la dependencia espacial mostrada en las pruebas LM-LAG y LM-ERR. En particular, se debió partir de un modelo de autocorrelación espacial (SAC) para los dos casos ('PS91' y 'PS05'), ya que se detectó dependencia espacial sustantiva y residual. El modelo general es de la forma:

$$\begin{aligned} \ln pr_i^r &= \rho W \ln pr_i^r + \gamma discdn_i^r + \sum_{j=1}^k \beta_j invdis_{ji}^r + u_i^r \\ u_i^r &= \lambda W u_i^r + \varepsilon_i^r \\ \varepsilon_i^r &\sim N(0, \sigma^{2r}) \end{aligned} \quad (3)$$

Donde,

- ρ es un parámetro que indica el impacto que tendría un movimiento en el rezago de la variable dependiente sobre la variable dependiente original,
- λ es un parámetro que representa el impacto de un movimiento en el rezago del residuo sobre la variable dependiente,
- γ es un estimador,
- W es la matriz de pesos espaciales, y
- ε es una variable aleatoria que se distribuye normalmente con media cero y varianza constante.

Si $\lambda = 0$, el modelo a utilizar sería un modelo con dependencia espacial sustantiva, el llamado modelo espacial autorregresivo (SAR). Si, por el contrario, $\rho = 0$, el modelo a utilizar sería un modelo con dependencia espacial residual, denominado modelo de error espacial (SEM). Después de verificar qué tipo de modelos se ajustan, el Cuadro 8 describe los resultados de las estimaciones de un modelo SAR para el "PS91" y un SAC para el "PS05". Para efectos de comparación, se incluyen en el Cuadro 8 los resultados obtenidos con el estimador MCO.

CUADRO 8
Estimación de modelo espacial

| ps91 MCO | | ps91 espacial | | ps05 MCO | | ps05 espacial | |
|-------------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------|-----------------------|
| Variable | Gradiente de precios | Variable | Gradiente de precios | Variable | Gradiente de precios | Variable | Gradiente de precios |
| discdn | 0,048 **** (6,171) | discdn | 0,029 **** (3,974) | discdn | 0,023 *** (3,200) | discdn | 0,009 ** (1,900) |
| invuni | 4,486 **** (10,008) | invuni | 2,187 **** (4,831) | invala | 0,468 **** (3,356) | invala | 0,137 * (1,571) |
| invcha | 3,081 **** (8,186) | invcha | 1,774 **** (4,908) | inv127 | 3,661 **** (4,470) | inv127 | 0,575 * (0,987) |
| invind | 1,099 **** (6,484) | invind | 0,644 **** (4,062) | inv100 | 0,692 * (0,937) | inv100 | 0,459 * (0,905) |
| invken | 0,876 **** (6,354) | invken | 0,478 **** (3,750) | invach | 1,491 **** (3,937) | invach | 0,436 ** (1,620) |
| invres | 0,545 **** (4,530) | invres | 0,313 *** (2,869) | invsan | 1,076 **** (7,437) | invsan | 0,343 **** (3,301) |
| invuni ² | -3,015 **** (-5,964) | invuni ² | -1,335 *** (-2,831) | inv127 ² | -2,643 *** (-2,809) | inv127 ² | -0,127 * (-0,192) |
| invcha ² | -1,621 **** (-5,920) | invcha ² | -0,984 **** (-3,897) | inv100 ² | -0,418 * (-0,898) | inv100 ² | -0,343 * (-1,014) |
| Constante | 10,487 **** | Constante | 5,431 **** | invach ² | -0,711 *** | invach ² | -0,231 * |
| F-estadístico | 37,330 **** | Rho | 0,477 **** | | (-2,904) | | (-1,299) |
| R ² ajustado | 0,576 | AIC | 511,480 | Constante | 11,025 **** | Constante | 2,744 **** |
| AIC | 597,232 | | | F-estadístico | 45,150 **** | Rho | 0,747 **** |
| | | | | R ² ajustado | 0,466 | Lambda | -0,411 **** |
| | | | | AIC | 694,958 | AIC | 578,050 |
| # obs | 562 | # obs | 562 | # obs | 557 | # obs | 557 |

Nota: Precios en pesos por metro cuadrado de 2005, distancias en kilómetros y t-values entre paréntesis. Significancia: 0,1 % *****, al 5 % ***, al 10 % **, No sig. *

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la SDP y de la UAECD.

En el anterior cuadro se presenta nuevamente el mismo fenómeno. El *CDN* es la única variable que no presenta el signo esperado en los dos modelos. Por otra parte, en el modelo “*ps05*”, solo aparecen como variables significativas los subcentros Avenida Chile y San José. Los parámetros incluidos para tener en cuenta la econometría espacial son significativos en los dos modelos.

3. Estimación e interpretación de efectos espaciales

Debido a la complicada estructura de dependencia entre observaciones que tiene en cuenta un modelo de regresión espacial, los parámetros estimados contienen gran cantidad de información de relaciones entre dichas observaciones (LeSage y Pace, 2009). Esta enorme cantidad de información contenida en el modelo dificulta la interpretación de los estimadores.

En este trabajo, el cambio de alguna variable independiente con respecto a un sector censal afectará a todos sus vecinos de primer orden (impacto directo) y podría afectar todos los demás sectores de manera indirecta (impacto indirecto). Por esta razón se calcularon los impactos reales sobre la variable dependiente. Además se calcularon los impactos netos de las variables independientes que tienen incluido su cuadrado en el modelo. Es decir, debido a que algunas variables del modelo fueron elevadas al cuadrado, se calculó el efecto neto de dichas variables con su valor normal. Lo anterior se hizo con el promedio de los valores que tomó variable independiente.

Los impactos reales que tienen las variables explicativas sobre la variable dependiente se muestran en el Cuadro 9 para los modelos seleccionados, es decir, un modelo *SAR* para el “*ps91*” y un modelo *SAC* para el “*ps05*”.

La estimación de efectos espaciales muestra la no significancia de la mayoría de las variables del modelo “*ps05*”. Sin embargo, los signos son los esperados, a excepción del *CDN* en los dos casos. Calle127 y Unicentro son los subcentros que tienen el mayor impacto sobre el precio del suelo en los modelos “*ps05*” y “*ps91*”, respectivamente. La significancia de los parámetros muestra que la dependencia espacial se corrige si se tiene en cuenta la característica espacial de los datos.

CUADRO 9
Estimación e interpretación de efectos espaciales

| Impactos directos e indirectos ps91 | | | Impactos directos e indirectos ps05 | | | | |
|-------------------------------------|------------------|------------------|-------------------------------------|----------|------------------|------------------|-----------------------|
| Variable | Directo | Indirecto | Total | Variable | Directo | Indirecto | Total |
| discdn | 0,030 (3,941) | 0,025 (3,451) | 0,055 **** (3,949) | discdn | 0,010 (1,878) | 0,024 (1,658) | 0,034 ** (1,763) |
| invuni\$ | 1,939 (4,768) | 1,493 (5,093) | 3,432 **** (5,468) | invala | 0,164 (1,701) | 0,378 (1,622) | 0,542 ** (1,683) |
| invcha\$ | 1,599 (4,850) | 1,240 (4,298) | 2,839 **** (5,072) | inv127\$ | 0,646 (0,922) | 1,490 (0,841) | 2,136 * (0,876) |
| invind | 0,678 (3,959) | 0,552 (3,705) | 1,230 **** (4,106) | inv100\$ | 0,433 (0,873) | 0,999 (0,795) | 1,432 * (0,826) |
| invken | 0,504 (3,940) | 0,411 (3,702) | 0,915 **** (4,069) | invach\$ | 0,421 (1,544) | 0,971 (1,384) | 1,393 * (1,469) |
| invres | 0,330 (2,932) | 0,268 (2,725) | 0,598 *** (2,946) | invsan | 0,409 (3,168) | 0,943 (3,148) | 1,352 **** (3,412) |
| Rho | 0,477 **** | | | Rho | 0,747 **** | | |
| | | | | Lambda | -0,411 **** | | |

Nota: Precios en pesos por metro cuadrado de 2005, distancias en kilómetros y z-values entre paréntesis. Significancia: 0 *****, al 5 % ***, al 10 % **, No sig. ^{ns}

\$ Variables con impacto neto, incluyendo su cuadrado.

Fuente: elaboración propia con base en datos de la SDP y la UAECB.

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Al comparar la estructura urbana de Bogotá definida en este trabajo con la definida por Dowall y Treffeisen (1991) se puede ver un cambio cualitativo, mas no cuantitativo. En los dos casos fueron identificados el CDN y cinco subcentros de empleo, pero no son los mismos en los dos años. Los subcentros Kennedy y Restrepo, que hacen parte de la estructura urbana de 1991, no aparecen como zonas de aglomeración importante en el 2005. Se detectó que estas dos zonas siguen presentando una alta densidad de empleo, pero no es tan representativo del empleo total de Bogotá.

San José es el sector que en 2005 estaba cumpliendo la función de ofrecer todo tipo de comercio a las personas del sur de la ciudad, como lo hacían Kennedy y Restrepo en 1991. El sector Industrial, para la estructura urbana de 1991, ha sido reemplazado en 2005 por Álamos, un sector en cercanías del Aeropuerto Eldorado que genera una gran cantidad de empleo manufacturero. Los subcentros Calle 127, Calle 100 y Avenida Chile presentaban en 2005 la mayor concentración de empleo, pues son zonas que concentran gran parte de los servicios especializados a las empresas. En el caso de los dos primeros subcentros, la actividad económica está muy ligada a los servicios de consultoría y servicios a las empresas. Por su parte, Avenida Chile se ha convertido en el centro financiero de la ciudad. El sector servicios es la principal fuente de ocupación en Bogotá, teniendo en cuenta los servicios comunales, sociales y personales. En 2005 este sector representaba el 27% del empleo total de la ciudad, según Gutierrez (2009), con base en datos del DANE.

Al comparar con los subcentros identificados por Dowall y Treffeisen (1991), se puede observar que se refuerza el patrón de localización de la actividad económica hacia el oriente de la ciudad. Aunque se evidencian cambios en la estructura urbana de Bogotá, es notoria la persistencia de la zona oriental como eje principal de actividad. Estudios como el de Redfearn (2009) analizan la persistencia temporal de la estructura urbana en Los Ángeles.

Para el análisis del precio del suelo, teniendo en cuenta la estructura urbana de Bogotá de 1991 con el estimador MCO, los resultados muestran el signo esperado, que en este caso es positivo por tratarse de distancias inversas. Para el CDN, el signo esperado es negativo porque para ese caso no se utilizó la distancia inversa. La excepción aquí es, precisamente, el CDN, que presenta el signo contrario al esperado. La pérdida de peso del CDN en la explicación de los precios del suelo

en Bogotá puede deberse a una saturación de esa zona y al proceso de descentralización de la actividad económica. Hasta finales de la década de 1970 el CDN era el centro de actividad más relevante de Bogotá, pero el proceso de crecimiento territorial y demográfico de la ciudad ha generado otras aglomeraciones. Con este crecimiento se generan fuerzas centrífugas que explotan las deseconomías de aglomeración, producto de la congestión y el mayor valor del suelo (Fujita, Krugman, y Venables, 2001). Esto explica el surgimiento de subcentros como Unicentro y Chapinero, que presentan la mayor influencia directa e indirecta sobre el precio del suelo.

En el caso del análisis con la estructura urbana del 2005 estimada por MCO, los resultados muestran la no significancia estadística de algunas variables. El subcentro Calle100 no es significativo, pero presenta el signo esperado. Sin embargo, es interesante ver cómo el comportamiento de los signos es igual al anterior modelo, lo cual confirma que el CDN ha perdido poder explicativo sobre los precios del suelo en Bogotá. El resultado del CDN, variable significativa al 5 % pero con el signo contrario al esperado, insinúa que el comportamiento de los precios del suelo en Bogotá se explica mejor a partir de una estructura urbana policéntrica que monocéntrica.

En el modelo “ps05”, con los efectos espaciales incluidos, la significancia de las variables cambia de manera importante. Por ejemplo, mientras San José es significativo y Avenida Chile y el CDN lo son al 10%, el resto de subcentros no son significativos. Es posible que esta no significancia responda a un rezago temporal de los precios del suelo frente a la estructura urbana, ya que en el modelo “ps91”, que tiene en cuenta los mismos precios del suelo (2005), todas las variables son significativas.

Al analizar los impactos que tiene cada uno de estos subcentros sobre el precio del suelo en Bogotá, en el caso del modelo “ps91”, el subcentro que más impacto tiene sobre el precio del suelo es Unicentro, tanto directa como indirectamente. De otra parte, nuevamente el CDN demuestra su poca influencia sobre el precio del suelo, siendo el subcentro que menos impacto directo e indirecto presenta. En el modelo “ps05” se encuentra la misma situación: el CDN es el menos influyente y, además, presenta el signo contrario, como en el caso anterior. Calle 127 es el subcentro con mayor influencia sobre el precio del suelo, lo cual demuestra continuidad, ya que dicho subcentro reemplazó al Unicentro en la estructura urbana de Bogotá entre 1991 y 2005. Los parámetros σ , para el caso del “ps91”, γ , λ y σ , para el “ps05”, son significativos, lo cual muestra que se controla la dependencia espacial presentada en los dos modelos.

Vale la pena mencionar que Calle100, Calle127 y Avenida Chile son los subcentros que mayor impacto tienen sobre el precio del suelo en 2005. Estos tres subcentros se han convertido en los principales centros de aglomeración de la ciudad. En ellos se destaca una gran cantidad de oficinas que se dedican a la prestación de servicios a otras empresas. Asimismo, el subcentro Avenida Chile es considerado el centro financiero de la ciudad. Además, el modelo sigue la línea del anterior, ya que estos subcentros fueron los que reemplazaron a los subcentros de 1991 que tenían mayor influencia sobre el precio del suelo, Unicentro y Chapinero, lo cual confirma que la zona nororiental de la ciudad continúa posicionándose como el eje central de la actividad económica. La falta de significancia de las variables del modelo puede ser explicada por distintos factores, tales como problemas de especificación del modelo o presencia de rezago temporal. Los problemas de especificación del modelo pueden ser solucionados añadiendo variables que tengan en cuenta infraestructura en la ciudad o transporte público, temas que influyen en el comportamiento de los precios del suelo.³ De igual manera, se podrían corregir estos problemas teniendo en cuenta el radio de acción de los subcentros, es decir, delimitando su topografía.

VI. CONCLUSIONES

La estructura urbana de Bogotá tuvo un cambio entre 1991 y 2005. Durante ese lapso, pasó de ser una estructura urbana con gran presencia de zonas de aglomeración dedicadas al comercio en general, a una con base en la prestación de servicios especializados y de alta jerarquía. Además, es evidente que el CDN ha perdido su poder explicativo sobre los precios del suelo, siendo los demás sectores de aglomeración, según los resultados de este estudio. Los sectores del nororiente han capitalizado los efectos positivos del crecimiento demográfico de Bogotá y han demandado más empleo, convirtiéndose en las zonas principales de empleo.

³ En el presente trabajo, la identificación de los centros de empleo parte de la idea general de encontrar las aglomeraciones urbanas mediante las fuerzas de atracción que realizan determinadas áreas de la ciudad. En este sentido, los temas de infraestructura deben ser analizados cuidadosamente, puesto que, bajo esta idea, los centros de actividad explican el desarrollo de infraestructura y no al contrario. Si bien, una vez construida o mejorada la infraestructura, se fortalece la actividad económica en su área de influencia, bajo una perspectiva de centros de empleo o estructura urbana la infraestructura impulsa la fuerza de atracción existente más no la explica.

Con base en lo anterior se puede inferir que los precios del suelo en Bogotá se explican a partir de una estructura urbana policéntrica, independientemente del momento del tiempo en el que se haga el estudio.

La no significancia de las variables incluidas en el modelo “ps05” se explica por dos factores principales:

- 1) La influencia que tiene la estructura urbana de Bogotá sobre los precios del suelo puede estar presentando un rezago temporal, ya que dicha estructura explica los precios del suelo cuando se utilizan precios reales de 2005 y subcentros de 1991. Es decir, los efectos de la estructura urbana sobre los precios del suelo se capitalizan con un rezago de tiempo, y
- 2) La importancia de la infraestructura en Bogotá aumentó entre 1991 y 2005. Por esta razón, la estructura urbana no es suficiente para explicar el comportamiento de los precios del suelo entre esas dos fechas. Es necesario incluir la influencia de las obras civiles, como vías o mejoras en el transporte público, para identificar una causalidad más precisa. También se puede tener en cuenta el radio de acción de los subcentros incluidos en el modelo.

Aunque en este trabajo se muestran resultados que explican en parte la relación entre la estructura urbana de Bogotá y el precio del suelo, importa profundizar en el tema. Puede ser útil incluir nuevas variables al modelo de “ps05” para mejorar su especificación. Además sería interesante estimar la influencia de la estructura urbana de 2005 con precios reales de años posteriores para comprobar la premisa del rezago temporal en los precios del suelo en Bogotá con respecto a la estructura urbana. Otra manera de corregir los problemas de especificación presentados es teniendo en cuenta el radio de acción de los subcentros de empleo. También el concepto de persistencia temporal de los subcentros de empleo en Bogotá es un tema de interés para investigaciones futuras.

REFERENCIAS

- Ahlfeldt, G. M., and W. Maennig (2010), «Impact of sports arenas on land values: evidence from Berlin», *The Annals of Regional Science*, 44(2).
- Anas, A., R. Arnott and K. A. Small (1998), «Urban spatial structure», *Journal of Economic Literature*, 36(3).

- Avendaño, A. J. (2008), «Identificación de subcentros de empleo y estimación de funciones de densidad para Bogotá D.C.», *Facultad de Economía- Working Paper*, Universitat Autònoma de Barcelona.
- Baronio, A., A. Vianco y C. Rabanal (2012), *Una introducción a la econometría espacial*. Dependencia y heterogeneidad.
- Bender, B. y H. S. Hwang (1985), «Hedonic housing price indices and secondary employment centers», *Journal of the American Planning Association*, 17(1).
- Berry, B. J. L. (1976), «Ghetto expansion and single-family housing prices: Chicago, 1968-1972», *Journal of Urban Economics*, 3(4).
- Bocarejo, J. P., I. Portilla and M. A. Pérez (2012), «Impact of Transmilenio on density, land use, and land value in Bogotá», *Research in Transportation Economics*.
- Cervero, R. and C. D. Kang (2011), «Bus rapid transit impacts on land uses and land values in Seoul, Korea», *Transport Policy*, 18(1).
- Colwell, P. F. and H. J. Munneke (1997), «The structure of urban land prices», *Journal of Urban Economics*, 41(3).
- Colwell, P. F. and H. J. Munneke (2009), «Directional land value gradients», *Journal of Real Estate Finance and Economics*, 39(1).
- Crone, T. M. (1983), «Elements of an economic justification for municipal zoning», *Journal of Urban Economics*, 14(2).
- DANE (2003), «Evidencia reciente del comportamiento de la migración interna en Colombia a partir de la Encuesta Continua de Hogares», Dirección de Metodología y Producción Estadística, www.dane.gov.co, [consultado en agosto de 2013]
- Ding, C. (2004), «Urban spatial development in the land policy reform era: evidence from Beijing», *Urban Studies*, 41(10).
- Ding, C. and X. Zhao (2014), «Land market, land development and urban spatial structure in Beijing», *Land Use Policy*, 40.
- Dowall, D. E. and P. A. Treffeisen (1991), «Spatial Transformation in Cities of the Developing World. Multinucleation and Land-Capital Substitution in Bogotá, Colombia», *Regional Science and Urban Economics*, 21(2).
- Fujita, M., P. R. Krugman and A. J. Venables (2001), *The spatial economy: cities, regions and international trade*, MIT press Cambridge MA.
- Giuliano, G. and K. A. Small (1991), «Subcenters in the Los Angeles region», *Regional Science and Urban Economics*, 21(2).
- Gutierrez, D. C. (2009), «Evolución del mercado laboral de Bogotá 2001-2009: perspectiva de absorción y calidad del empleo en Bogotá», Secretaría Distrital de Planeación www.sdp.gov.co, [consultado en agosto de 2013]

- Higera, S. (2012), «¿Escasez de suelo disponible en Bogotá? Conversatorios catastrales. Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital», *Secretaría de Hacienda de Bogotá*.
- Kok, N., P. Monkkonen and J. M. Quigley (2014), «Land use regulations and the value of land and housing: An intra-metropolitan analysis», *Journal of Urban Economics*, 81.
- LeSage, J. and K. Pace (2009), *Introduction to spatial econometrics*, Boca Raton, Taylor & Francis.
- Lonja de Propiedad Raíz de Bogotá (2012), *Estudio del valor del suelo urbano en Bogotá 2012*, Lonja de Bogotá, ICON.
- Magliocca, N., V. McConnell, M. Walls and E. Safirova (2012), «Zoning on the urban fringe: results from a new approach to modeling land and housing markets», *Regional Science and Urban Economics*, 42(1-2).
- McDonald, J. F. (1987), «The identification of urban employment subcenters», *Journal of Urban Economics*, 21(2).
- McDonald, J. F. and D. P. McMillen (1998), «Land values, land use, and the first Chicago zoning ordinance», *Journal of Real Estate Finance and Economics*, 16(2).
- McMillen, D. P. (1996), «One hundred fifty years of land values in Chicago: A nonparametric approach», *Journal of Urban Economics*, 40.
- McMillen, D. P. (2001), «Nonparametric employment subcenter identification», *Journal of Urban Economics*, 50(3).
- McMillen, D. P. and J. F. McDonald (1993), «Could zoning have increased land values in Chicago?», *Journal of Urban Economics*, 33.
- McMillen, D. P. and J. F. McDonald (1998), «Suburban subcenters and employment density in metropolitan Chicago», *Journal of Urban Economics*, 43(2).
- Mendieta, J. C. y J. A. Perdomo (2007), «Especificación y estimación de un modelo de precios hedónico espacial para evaluar el impacto de Transmilenio sobre el valor de la propiedad en Bogotá», Bogotá: Universidad de los Andes, Centro de Estudios sobre Desarrollo Económico-CEDE.
- Muñiz, I., A. Galindo y M. A. García-López (2003), «¿Es Barcelona una ciudad policéntrica?», *Facultad de Economía- Working Paper*, Universitat Autònoma de Barcelona.
- Muñiz, I. y M. A. García-López (2010), «The polycentric knowledge economy in Barcelona», *Urban Geography*, 31(6).
- Muñiz, I. y M. A. García-López (2012), «Chaos and order in the contemporary city. The impact of urban spatial structure on population density and commuting

- distance in Barcelona, 1986-2001», *Facultad de Economía- Working Paper*, Universitat Autònoma de Barcelona.
- Muñiz, I., M. A. García-López, A. J. Avendaño and V. Sánchez (2012), «Is the spatial structure of cities increasingly unimportant? Los Angeles-Barcelona-Bogota-Mexico City», In *Sixth Urban Research and Knowledge Symposium 2012*, disponible en: <http://siteresources.worldbank.org/INTURBANDEVELOPMENT/Resources/336387-1369969101352/Muniz-et-al.pdf>. [consultado en febrero 5 de 2014]
- Muñiz, I., M. A. García-López and A. Galindo (2008), «The effect of employment sub-centres on population density in Barcelona», *Urban Studies*, 45(3).
- Peiser, R. B. (1987), «The determinants of nonresidential urban land values», *Journal of Urban Economics*, 22(3).
- Redfearn, C. L. (2009), «Persistence in urban form: The long-run durability of employment centers in metropolitan areas», *Regional Science and Urban Economics*, 39(2).
- Rodríguez, D. A. and F. Targa (2004), «Value of accessibility to Bogotá's bus rapid transit system», *Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal*, 24(5).
- Schmenner, R. W. (1981), «The rent gradient for manufacturing», *Journal of Urban Economics*, 9(1).
- White, M. J. (1976), «Firm suburbanization and urban subcenters», *Journal of Urban Economics*, 3(4).
- Wieand, K. F. (1987), «An extension of the monocentric urban spatial equilibrium model to a multicenter setting: The case of the two-center city», *Journal of Urban Economics*, 21(3).
- Yeates, M. H. (1965), «Some factors affecting the spatial distribution of Chicago land values, 1910-1960», *Economic Geography*.

ANEXOS

ANEXO A

Datos necesarios para este trabajo

| Datos | Descripción | Fuente |
|----------------------------|---|--|
| Información cartográfica | Contiene todos los datos necesarios para el análisis espacial sobre el mapa de la ciudad. | Secretaría Distrital de Planeación |
| Precio del suelo en Bogotá | Precios nominales del año 2008 georreferenciados sobre el mapa de Bogotá. | Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital |
| Empleo de Bogotá | Empleo del año 2005 georreferenciado sobre el mapa de Bogotá. | Secretaría Distrital de Planeación |

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO B

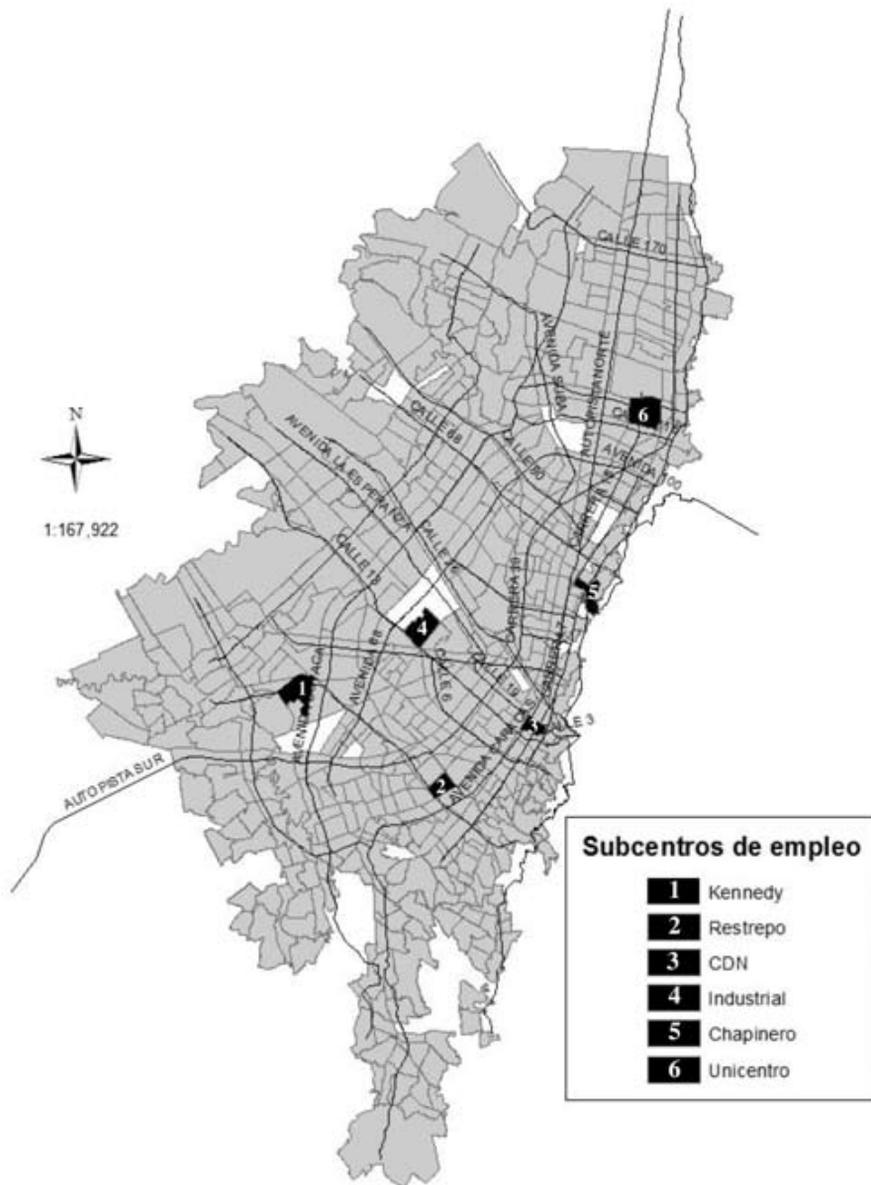
Pruebas en modelo MCO

| Studentized Breusch-Pagan test | | | |
|--------------------------------|--------|---------|---------|
| Modelo | BP | gl | p-value |
| "PS91" | 24,301 | 21 | 0,279 |
| "PS05" | 22,769 | 11 | 0,019 |
| Shapiro-Wilk normality test | | | |
| Modelo | W | p-value | |
| "PS91" | 0,937 | 0 | |
| "PS05" | 0,961 | 0 | |

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la SDP y la UAEC.

ANEXO C

Bogotá: Subcentros de empleo 1991



Fuente: Dowall and Treffeisen, 1991.