

Recuadro 2

Análisis espacial de los precios de vivienda nueva en Bogotá, Medellín y Cali mediante un enfoque de geoestadística

María Fernanda Meneses
Camilo Eduardo Sánchez*

El mercado de vivienda ha sido uno de los sectores de la economía que ha exhibido un desempeño favorable a pesar de la crisis sanitaria: las ventas de vivienda nueva han registrado niveles históricos en lo corrido de 2021. No obstante, el dinamismo observado en la demanda no ha estado acompañado por una respuesta similar desde el lado de la oferta, lo cual ha generado presiones sobre los precios¹. El seguimiento que se hace sobre el nivel de precios de vivienda en Colombia se ha enfocado en analizar este mercado en diversas dimensiones, por ejemplo, teniendo en cuenta el tipo de vivienda (VIS y no VIS), la ciudad, el estrato, entre otros. Sin embargo, este tipo de análisis puede esconder algunas heterogeneidades dentro de cada ciudad. Por lo anterior, en este recuadro se presenta una herramienta de análisis espacial que utiliza por primera vez información georreferenciada para estimar el crecimiento de los precios de vivienda nueva en aquellos puntos de Bogotá, Medellín y Cali donde no se cuenta con información², con el objetivo de representar en los mapas de las tres ciudades la dinámica completa de la variación anual de los precios³.

* Los autores pertenecen al Departamento de Estabilidad Financiera del Banco de la República. Sus opiniones no representan las del Banco de la República ni las de los miembros de su Junta Directiva. Los autores agradecen a Eduard Felipe Mora por la facilitación de los polígonos y conversión de coordenadas necesarios para este trabajo.

1 Véase el Informe Especial: *Análisis de la cartera y del mercado inmobiliario en Colombia*, primer semestre de 2021.

2 Estas son las tres ciudades principales de Colombia. En conjunto, a septiembre de 2021 componen el 68,9% de las ventas totales de la base de La Galería Inmobiliaria.

3 Este ejercicio no realiza la estimación de un índice de precios de vivienda nueva.

1. Planteamiento metodológico

Este ejercicio de análisis geoestadístico parte de la base de información por proyecto de vivienda nueva de la Galería Inmobiliaria a septiembre de 2021. En particular, se emplean los datos de ubicación espacial (medidos en coordenadas) y el cambio porcentual real anual de los precios por metro cuadrado de las zonas urbanas de Bogotá, Medellín y Cali. De esta base se extraen los proyectos que se encuentran en fase de venta, tanto en septiembre de 2020 como en septiembre de 2021, esto es, se trabaja con los mismos proyectos en ambos períodos⁴.

El cambio en el precio en un punto sin información se calcula como el promedio ponderado de los datos observados más cercanos. Esta técnica de interpolación espacial se conoce como *Kriging* y los ponderadores se obtienen con base en tres elementos: 1) la distancia entre puntos observados, 2) el lugar de predicción y 3) la estructura espacial definida. De esta forma, la función de la predicción corresponde a:

$$z^*(s_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(s_i)$$

donde $z^*(s_0)$ es el valor predicho del crecimiento del precio por metro cuadrado en las coordenadas s_0 ; y λ_i es el ponderador de la observación $z(s_i)$. Para obtener los parámetros λ_i , se minimiza la varianza del error de predicción⁵, lo que garantiza que este predictor sea insesgado y de menor varianza posible entre los predictores lineales. La expresión que se minimiza para encontrar λ_i es, a su vez, una función de la covarianza espacial de los datos, la cual proviene de la estructura espacial en cada ciudad.

1.1. Estructura espacial de los datos

Se supone que el crecimiento del nivel de precios sigue un proceso estacionario, es decir, que la media es constante y la covarianza es una función de la distancia espacial entre los datos y, por ende, la ubicación o dirección de un proyecto no agrega información adicional sobre la variación de su precio. Bajo este supuesto, existe una relación entre la covarianza espacial y una función conocida como *semivarianza*, la cual se define en este caso como la varianza de los deltas de crecimientos en precio entre dos puntos:

$$\gamma(s_i, s_j) = \frac{1}{2} \text{var}(z(s_i) - z(s_j))$$

Donde $z(s_i)$ es el crecimiento del precio por metro cuadrado observado en el punto s_i ; y $\gamma(\cdot)$ es la función de semivarianza. En este trabajo se identifica la estructura espacial de cada ciudad, a partir de la función de semivarianza y luego

4 Trabajar con los mismos proyectos activos en ambos períodos evita que resultados sobre el crecimiento de los precios de vivienda puedan deberse al lanzamiento de nuevos proyectos.

5 La varianza del error de predicción se define como: $\text{Var}(z(s_0) - z^*(s_0))$.

se despeja la función de covarianza que se emplea en el ejercicio de predicción.

Los modelos teóricos de semivarianza tienen como parámetros *el efecto pepita, el rango y la silla*. El primero hace referencia a la semivarianza que deberían tener dos puntos que se encuentran muy cerca, el segundo se refiere a la distancia a partir de la cual se considera que dos observaciones ya no presentan una relación espacial, mientras que el último indica el valor de la semivarianza (o covarianza) que se registra a partir de dicha distancia⁶. De este modo, se estimaron modelos teóricos con diferentes parámetros iniciales y con distintas técnicas econométricas para determinar con el error cuadrático medio aquellos que mejor se ajustan a los datos (Cuadro R2.1).

Con estos modelos de semivarianza para cada una de las ciudades, se introduce su correspondiente función de covarianza dentro de la expresión del error de predicción; se minimiza su varianza para obtener cada λ_i , y finalmente se realiza el ejercicio de predicción.

2. Resultados y consideraciones

En el Gráfico R2.1 se presenta la estimación del crecimiento real anual de los precios por metro cuadrado para las ciudades de análisis a septiembre de 2021. Las tonalidades de los mapas cercanas a morado y negro representan las partes de la ciudad en donde los proyectos de vivienda más se encarecieron, mientras que las zonas amarillas muestran proyectos sin mayores cambios en sus precios. Adicionalmente, las tonalidades azules reflejan zonas en las cuales los precios disminuyeron.

En el caso de Bogotá⁷, el incremento en los precios por metro cuadrado se observó en mayor medida en la zona sur de

la ciudad, aunque en localidades como Usaquén (segunda localidad más costosa después de Chapinero) también se observaron incrementos (Gráfico R2.1, panel A). En general, el mayor encarecimiento de los proyectos se presentó en localidades cuyos precios de vivienda son relativamente bajos, como por ejemplo en Kennedy, Ciudad Bolívar, Tunjuelito, Usme y Rafael Uribe, y algunos puntos de Fontibón.

Para complementar el estudio de precios por metro cuadrado, posterior al ejercicio de estimación espacial se realiza un análisis descriptivo con variables observadas en este mercado, para inferir características por localidad o comuna. Se encuentra que en las localidades de Bogotá donde más aumentaron los precios también se registraron mayores ventas. En el caso de Usaquén no se evidenció un aumento en la demanda. Por otro lado, en algunas localidades como Ciudad Bolívar y Usme el mayor cambio en el precio por metro cuadrado se evidenció para proyectos de tipo VIS, que representan más del 80 % de los proyectos de esa zona. Caso contrario a Usaquén, que presenta una baja participación de este tipo de inmuebles.

Para Medellín⁸, la aceleración en los precios se observó en las zonas del noroccidente y en algunas partes del sur. Por comuna, esto se presentó en Guayabal⁹, Belén, Robledo y Poblado (zona más costosa de la ciudad; Gráfico R2.1, panel B). Adicionalmente, en esta ciudad se registraron 69 proyectos activos de vivienda, de los cuales menos del 5 % corresponden a proyectos VIS; por lo anterior, el incremento en los precios se dio en mayor medida para proyectos no VIS.

En Cali¹⁰, el mayor crecimiento de los precios se observó en la zona del suroccidente de la ciudad, en particular, en las comunas 18, 19 y 22, las cuales se caracterizan por tener una estratificación socioeconómica igual o superior a cuatro (Gráfico R2.1, panel C); mientras que los proyectos de la comuna 18 mantienen precios relativamente más bajos

Cuadro R2.1
Resumen de modelos de semivariograma

Ciudad	Modelo teórico	Error cuadrático medio		
Bogotá	<i>Powered exponential</i>	MCO: 2,05 MLE: 10,35	MCP1: 2,13 REML: 11,41	MCP2: 2,25
Medellín	<i>Exponential</i>	MCO: 18,91 MLE: 349,67	MCP1: 19,09 REML: 349,67	MCP2: 20,44
Cali	<i>Wave</i>	MCO: 95,92 MLE: 114,39	MCP1: 95,52 REML: 126,45	MCP2: 115,01

MCO: mínimos cuadrados ordinarios, MCP1: mínimos cuadrados ponderados por la cantidad de pares de puntos observados a cada distancia.

MCP2: mínimos cuadrados ponderados por la cantidad de pares y semivarianza observados a cada distancia.

MLE: máxima verosimilitud, REML: máxima verosimilitud restringida.

Fuente: Banco de la República.

6 Para una mayor comprensión de los modelos teóricos, véase Cressie, N. (1991).

7 A la fecha de análisis no hay registros de proyectos nuevos de vivienda residencial en las localidades de Tunjuelito y Sumapaz.

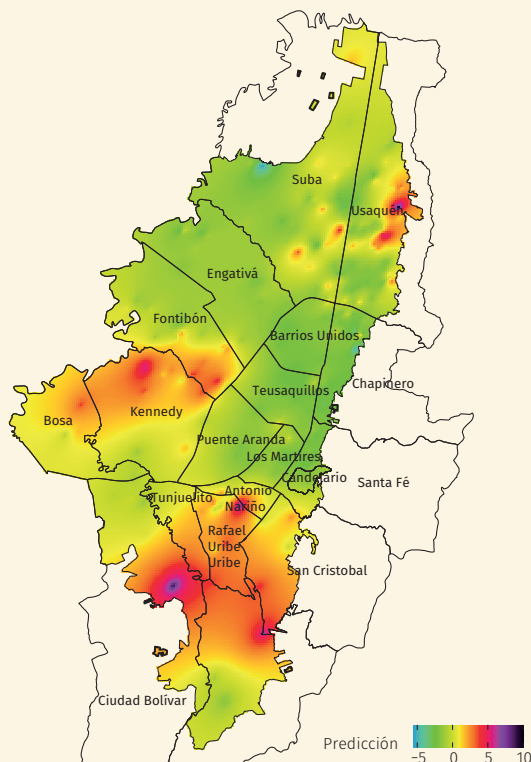
8 A la fecha de análisis, en las comunas 1 (Popular), 2 (Santa Cruz), 3 (Manrique), 4 (Aranjuez), 5 (Castilla), 6 (12 de octubre), 8 (Villa hermosa) y 13 (San Javier) no hay registros de proyectos nuevos de vivienda residencial.

9 En algunas zonas de la Medellín, como Guayabal y Robledo, este incremento se presentó en proyectos de vivienda de gran tamaño.

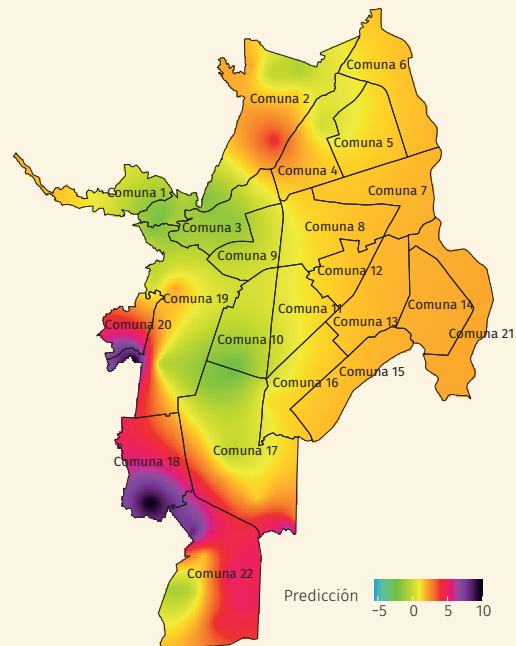
10 A la fecha de análisis existen proyectos de vivienda nueva únicamente en las comunas 2, 3, 4, 10, 16, 17, 18, 19 y 22.

Gráfico R2.1
Predicción del crecimiento del precio por metro cuadrado

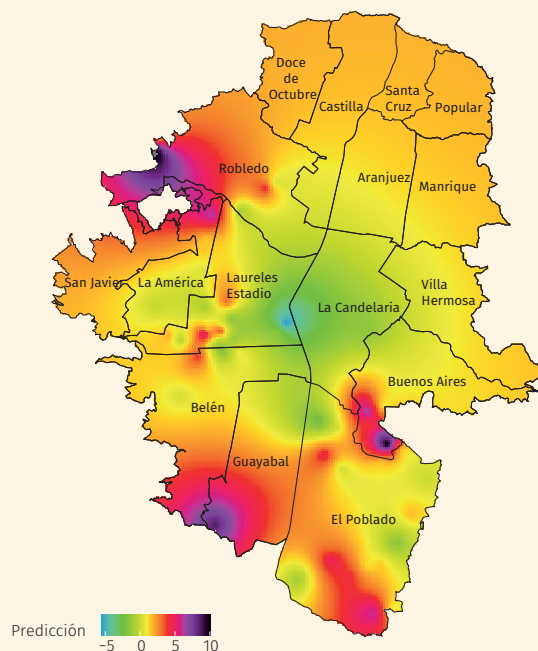
A. Bogotá



C. Cali



B. Medellín



y registran una alta participación de proyectos VIS. En el caso de los proyectos de vivienda de las comunas 19 y 22, los inmuebles corresponden en su mayoría a proyectos de vivienda no VIS y registran uno de los precios más altos de la ciudad. Por otro lado, en la comuna 2 (zona norte) se encuentran más del 30 % de proyectos de Cali, los cuales son en su mayoría de vivienda no VIS. Finalmente, las comunas 4 y 16, aunque registran pocos proyectos, son las zonas que más vendieron unidades de vivienda en la ciudad durante los últimos meses.

En síntesis, este ejercicio ofrece una herramienta distinta a un índice de precios, que explota información georreferenciada para estimar el crecimiento en los precios de la vivienda nueva por metro cuadrado en puntos de las ciudades donde no se cuenta con información, con el propósito de exponer gráficamente la dinámica de los precios dentro de determinada ciudad. En futuras investigaciones se podría refinar esta metodología al incluir dentro de la estimación otras variables de este mercado para aumentar la precisión de la predicción.

Referencias

Cressie, N. (1991). *Statistics for spatial data*. John Wiley & Sons.

Fuente: Galería Inmobiliaria; cálculos del Banco de la República.