

11. ÍNDICE DE PRECIOS DE LA VIVIENDA NUEVA PARA BOGOTÁ: METODOLOGÍA DE PRECIOS HEDÓNICOS

**Jéssica Castaño
Mariana Laverde
Miguel Morales
Ana María Yaruro***

El sector de la vivienda es reconocido por su enorme influencia en la estabilidad y desempeño de las economías. Tanto internacional como localmente, se han observado episodios donde auges desproporcionados en el mercado de la vivienda han contribuido al desarrollo de crisis financieras y económicas. Por esta razón, instituciones como bancos centrales, gobiernos y entes reguladores se preocupan por la evolución de los principales indicadores que caracterizan a este sector, entre los que se destacan los índices de precios de la vivienda nueva y usada.

Existen diferentes metodologías que permiten construir indicadores de precios, dentro las cuales se destaca la de precios hedónicos, que se caracteriza por aislar el efecto de los cambios de la calidad de los inmuebles sobre su precio. Esta metodología parte del supuesto de que la vivienda es un bien diferenciado, por lo que su precio debe evaluarse en función de sus características. A partir de una estimación econométrica se calcula la contribución marginal de cada atributo en el precio, lo que se conoce como precio implícito o hedónico; descontando estos efectos, es posible estimar los cambios en el precio de la vivienda.

Actualmente, en Colombia no existe un índice de precios de la vivienda calculado a partir de esta metodología, dada la limitada información detallada y periódica sobre

* Los autores son, en su orden, profesional, estudiante de doctorado en la Universidad de Chicago, profesional experto y profesional del Banco de la República. Agradecen los comentarios y sugerencias de Dairo Estrada, Juan Esteban Carranza, Diego Vásquez, Nancy Zamudio y Wilmar Cabrera. Además, a Jaime Enrique Fajardo por su ayuda con el procesamiento de datos. Las opiniones contenidas en este documento son exclusivas de los autores y no comprometen al Banco de la República ni a su Junta Directiva. Los autores son responsables de los errores que persistan.

las características de los inmuebles. No obstante, desde 2002 La Galería Inmobiliaria ha venido consolidando una base de datos, que recoge información sobre precios de oferta y las características de todos los inmuebles vendidos en las salas de venta de las principales ciudades del país.

El índice de precios de la vivienda nueva calculado en este trabajo tiene como objetivo capturar de una manera precisa las variaciones en los precios de los inmuebles ajustando por estos cambios en calidad. Este índice se construye para Bogotá para el período 2003-2012. La aproximación utilizada está basada en el modelo teórico de precios hedónicos formalizado por Rosen (1974) y su posterior implementación econométrica. El indicador de precios obtenido presenta un comportamiento similar a los de los índices calculados por el Departamento Nacional de Planeación (DNP), el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y el Banco de la República.

Los principales resultados permiten validar que, cuando se controla por calidad, el crecimiento del índice de precios de la vivienda es inferior al del índice que no incluye tales características, mostrando que los cambios en calidad han tenido una incidencia positiva en el precio de mercado de los inmuebles. Asimismo, al hacer el análisis por estratos, se encontró que para los estratos 2 a 5 el índice ajustado por calidad es menor que el que no lo hace, mientras que en el estrato 6 ocurre lo contrario, evidenciando la heterogeneidad que podría existir en este segmento.

Por otro lado, el análisis de los datos evidencia algunos cambios importantes en las características de los inmuebles durante el período analizado; algunos atributos como el número de garajes, la existencia de depósito, chimenea, ascensor, planta eléctrica, salón comunal, entre otros, ha aumentado durante el período analizado, mientras que el área y el número de alcobas promedio disminuyeron.

Este documento está dividido en cinco secciones, aparte de esta introducción. En la primera se presenta la revisión de la literatura; en la segunda se realiza un breve análisis del mercado inmobiliario en Colombia durante los últimos veinte años, así como una descripción de los datos. En la tercera, se describe el modelo teórico de precios hedónicos y las diferentes especificaciones econométricas utilizadas para las estimaciones. Posteriormente, en la cuarta se muestran los principales resultados de los modelos y los índices de precios de la vivienda nueva construidos. Por último, se destacan algunos comentarios finales y se concluye.

1. REVISIÓN DE LA LITERATURA

El mercado de vivienda y la evolución de su precio es un tema recurrente en la literatura internacional, debido a su impacto en la economía. De acuerdo con Syz (2008), la vivienda representa cerca de un tercio del total de la riqueza en el mundo y, según Eurostat (2013), es el principal componente dentro del gasto de los hogares. Por otro lado, siguiendo a Hill (2011), el comportamiento del mercado inmobiliario tiene una fuerte repercusión en el resto de la economía: sus ciclos afectan el nivel de consumo, la distribución de la riqueza y la estabilidad financiera de los países. Adicionalmente, este autor sugiere que los índices de precios de vivienda constituyen una herramienta útil para la política fiscal y monetaria,

así como para los mercados financieros, en la medida en que actúan como un “barómetro” del estado de la economía.

Relacionado con lo anterior, el seguimiento de los precios de la vivienda es importante para entender no solo las condiciones de este mercado, sino también las de la actividad económica y del sistema financiero. Goodhart y Hofmann (2007) estudian los distintos canales por los cuales los precios de la vivienda afectan la actividad económica y la inflación: aumentos en el precio de la vivienda generalmente están asociados con períodos de expansión económica, mientras que sus caídas corresponden a períodos de recesión. Asimismo, Hofmann (2001) encuentra que existe una relación directa entre los precios de la vivienda, el crédito y el producto interno bruto (PIB).

Teniendo en cuenta lo anterior, resulta importante contar con índices de precios de vivienda que permitan analizar el comportamiento del mercado inmobiliario, así como identificar posibles vulnerabilidades que puedan afectar el crecimiento económico. Siguiendo a Eurostat (2013), los índices de precios de vivienda son de gran utilidad para diferentes agentes: por un lado, las instituciones financieras los utilizan para construir medidas de riesgo de crédito, mientras que para los bancos centrales constituyen una herramienta para monitorear la estabilidad financiera; por último, los hogares basan sus decisiones de compra de vivienda en el comportamiento de estos índices.

Existen diversas metodologías para construir índices de precios de vivienda, dentro de las cuales se pueden identificar cuatro grandes grupos: medias o medianas, ventas repetidas, método de tasaciones y precios hedónicos. La aplicación de cada una está condicionada a la disponibilidad de información. A continuación se presenta una descripción de estos métodos, algunas aproximaciones empíricas, así como sus principales ventajas y desventajas.

La primera y más sencilla de las metodologías es aquella que toma una medida de tendencia central de la distribución de los precios de las viviendas, generalmente representada por la media o la mediana. La ventaja de esta metodología es que no requiere una base de datos sofisticada y su cálculo es relativamente sencillo: se necesitan simplemente los precios de los inmuebles en el tiempo, para capturar el cambio en el precio de la vivienda media entre dos períodos. Sin embargo, con este método no es posible diferenciar qué parte del cambio en el precio se debe a diferencias en la calidad de los inmuebles y, por tanto, se pueden estimar índices imprecisos¹. Cabe resaltar que muchos índices de este tipo tratan de controlar por los cambios en la calidad de las viviendas estratificando la muestra, es decir, dividiendo el total de inmuebles vendidos en un momento del tiempo en diferentes segmentos del mercado (estratos, barrios, zonas, entre otros). Para cada submuestra se calcula un índice de media o mediana, y el índice agregado resulta de un promedio ponderado. Si bien esta técnica reduce la imprecisión de estos índices, no lo elimina totalmente, dado que puede haber diferencias en calidad dentro de cada segmento².

1 En la medida en que el índice no recoge cambios en la calidad de la vivienda, sus variaciones podrían generar índices que sobreestiman o subestiman los cambios en los precios.

2 Colombia los índices de precios de vivienda nueva construidos por el DANE y por el DNP utilizan esta metodología. En otros países se calculan índices similares, como el *median sales price index* de la National Association of Realtors (NAR) en los Estados Unidos y el del Real Estate Institute of Australia (REIA) en Australia.

Teniendo en cuenta que bajo la metodología de medias o medianas no es posible aislar el efecto de cambios en calidad, se han desarrollado otras propuestas metodológicas que abordan este problema, tales como los métodos de ventas repetidas, tasaciones y precios hedónicos. Estas metodologías permiten cuantificar el cambio de precios que se atribuye exclusivamente a la interacción entre la oferta y la demanda.

El método de ventas repetidas se construye con los datos de aquellas viviendas que han sido vendidas al menos dos veces en el período de estudio y que no han sufrido cambios significativos en su estructura física. La importancia de este método es que, al utilizar la información de los precios de una misma vivienda en dos momentos en el tiempo, garantiza que los cambios observados en el índice solo corresponden a las dinámicas del mercado. Esta metodología fue introducida por Bailey *et al.* (1969) y mejorada por Case y Shiller (1987), quienes le asignan una mayor ponderación a aquellos inmuebles vendidos en un período más corto.

El índice de precios de vivienda de Standard and Poor's/Case-Shiller (SPCS) es el más conocido dentro de este grupo de índices, y es calculado para veinte ciudades de los Estados Unidos. Asimismo, otros países, como Australia, Canadá, Inglaterra y los Países Bajos cuentan con índices de ventas repetidas³. En Colombia, Escobar *et al.* (2005) calcularon el índice de precios de la vivienda usada (IPVU) a partir de una adaptación del enfoque de ventas repetidas propuesto en Case y Shiller (1987), el cual es publicado por el Banco de la República.

Dentro de las desventajas de esta metodología está la reducción del tamaño de la muestra, dado que no usa toda la información disponible de los precios de transacción, al descartar los inmuebles que se vendieron una única vez. Además, puede presentar problemas de sesgo de selección de la muestra. Por otro lado, asume que la calidad de las viviendas es constante en el tiempo, lo cual no es necesariamente cierto, dado que una misma vivienda que se vendió en dos períodos distintos puede sufrir cambios significativos en su estructura⁴. Por último, los resultados del índice cambian a medida que se incorpora un nuevo período.

Esta metodología ha sido criticada por autores como Gao y Wang (2007), quienes señalan que el método de ventas repetidas presenta, además de las desventajas mencionadas, correlación en los términos de error, y no estima un nivel de precios de la vivienda, sino solamente su apreciación o depreciación. Por lo anterior, estos autores proponen como alternativa el método de transacciones múltiples con una aproximación de datos de panel, donde el precio de venta de cada vivienda es función de unas *dummies* que denotan el período en que la vivienda fue vendida y de una variable que la identifica a lo largo del tiempo. En este caso, la muestra de viviendas consideradas no solo abarca los pares de ventas que se emplean en el método de ventas repetidas, sino todos los inmuebles que hayan sido transados. De esta forma, la información empleada y, por tanto, el índice de precios estimado, resultan más representativos del mercado inmobiliario.

3 Estos índices son calculados por Residex y RPData-Rismark en Australia, mientras que en Inglaterra y en los Países Bajos es estimado por Dutch Land Registries. Por su parte, en Canadá la publicación de este índice está a cargo de Teranet y el Banco Nacional de Canadá.

4 La vivienda puede haber sido remodelada, ampliada, o haber sufrido deterioros entre las dos fechas de venta.

Gao y Wang (2007) subrayan que el método de transacciones múltiples supera al de ventas repetidas en términos de la robustez de la estimación, la variación del índice y su capacidad de predicción. No obstante, se debe mencionar que deja de lado, parcialmente, el hecho de que la calidad de una misma vivienda puede cambiar en el tiempo.

Otra alternativa a los índices de ventas repetidas consiste en calcular la razón entre los precios de venta de las viviendas y su avalúo, conocido en la literatura como el método *sale price appraisal ratio* (SPAR). Esta metodología fue propuesta por Bourassa *et al.* (2006), y ha sido ampliamente utilizada en Nueva Zelanda, Australia (Australian Bureau of Statistics, 2005; Rossini y Kershaw, 2006; Hansen, 2006) y en algunos países europeos como Dinamarca, Holanda y Suiza (Hill, 2004; Jansen *et al.*, 2006).

Al igual que en el método de ventas repetidas, los índices calculados mediante el SPAR parten de una base de pares de viviendas (*matched pairs*), pero no tienen la restricción de que se hayan transado al menos dos veces en el período de análisis. La diferencia radica en que la metodología SPAR utiliza los valores de los avalúos o tasaciones individuales de los inmuebles, a partir de los cuales se estiman los precios de venta del período base. Cabe resaltar que los índices calculados a partir del SPAR asumen que la calidad de los inmuebles es constante.

La ventaja de este método frente al de ventas repetidas es que permite aprovechar toda la información disponible de los precios de venta de los inmuebles, y mitiga el problema de sesgo de selección. Además, su cálculo es simple, puesto que se basa principalmente en la metodología tradicional de los modelos de emparejamiento (*matched model methodology*), y esto lo enlaza con la teoría de números índices (véase Eurostat, 2013; Vries *et al.*, 2009). Por otro lado, no requiere revisión, al incorporar nuevos datos, a diferencia de los índices de ventas repetidas y de precios hedónicos.

Por el lado de las desventajas, el valor de los avalúos depende de la precisión y de la calidad de la información con la que se calcula. Algunos estudios, como el de Eurostat (2013) y Chinloy *et al.* (1997), señalan que los avalúos se desvían significativamente del precio de transacción de las viviendas. Por otro lado, esta metodología no incorpora de manera exacta los cambios en la calidad, dado que asume que se mantiene constante, dejando de lado que las variaciones en los precios pueden originarse por remodelaciones, reparaciones o depreciación.

Uno de los métodos más utilizados y comúnmente aceptados para la construcción de índices de precios de vivienda es el de precios hedónicos, dado que permite controlar de manera precisa por los cambios en la calidad de los inmuebles, al incluir en la estimación la valoración marginal de los atributos. En la siguiente subsección se presenta la idea general detrás de estos modelos, así como una descripción de los principales trabajos que abordan este tema para el mercado inmobiliario y sus principales ramas de estudio.

1.1 Metodología de precios hedónicos

La metodología de precios hedónicos es más compleja que las anteriores, puesto que requiere información de las características de las viviendas que en muchos casos no está disponible. Con este tipo de modelos se parte del supuesto de que una vivienda es un bien heterogéneo, el cual puede valorarse por la utilidad que generan sus atributos o

características. En términos generales, una ecuación hedónica permite explicar el precio de un bien en función de sus características, logrando medir la contribución marginal de cada una de estas en el precio. De esta manera, los precios hedónicos son definidos como los precios implícitos de los atributos de los bienes.

Dentro de los primeros estudios se encuentran los de Court (1939) y Griliches (1961), quienes analizan el mercado de automóviles en los Estados Unidos. Estos autores intentaron descontar el efecto de las características de los carros sobre su precio. Posteriormente, Rosen (1974) estableció los fundamentos teóricos de la metodología de precios hedónicos, lo que promovió una notable expansión de su estudio y aplicación. Este autor plantea que los bienes diferenciados se describen por un vector de características, donde cada entrada representa la cantidad de unidades de cada una de estas. En este sentido, los precios hedónicos o implícitos resultan de una estimación econométrica entre el precio del bien diferenciado y las cantidades asociadas con sus atributos.

El enfoque hedónico para el mercado inmobiliario ha sido utilizado principalmente con dos objetivos: primero, estudiar el impacto de ciertas externalidades o atributos en los precios de los inmuebles y, segundo, construir índices de precios de vivienda. Este primer grupo de estudios ha sido el más implementado en Colombia, mientras que el segundo ha sido poco trabajado debido a la falta de información detallada sobre las características de las viviendas.

En particular, dentro del primer grupo se encuentran diferentes trabajos para Bogotá que, junto con herramientas de la economía espacial, evalúan el efecto que tienen sobre el precio de las viviendas sus atributos y las variables asociadas con la ubicación. Por ejemplo, Revollo (2009), Carriazo *et al.* (2011) y Santana y Núñez (2011) encuentran que variables como el área, el estrato y la cercanía a establecimientos de recreación, zonas verdes y servicios públicos tienen un efecto positivo en el precio de los inmuebles, mientras que elementos como la contaminación e inseguridad contribuyen de manera negativa. Por su parte, Morales y Arias (2011) comprueban que el número de cuartos, el número de baños, el estrato, la disponibilidad de garajes, zonas verdes y servicio telefónico tienen un efecto positivo en el valor de la vivienda.

Otro estudio que vale la pena resaltar es el de Arbeláez *et al.* (2011), quienes estiman una función de demanda de vivienda para Colombia, la cual depende del precio de los inmuebles, del ingreso de los hogares y un conjunto de sus características socioeconómicas. En el cálculo del precio los autores utilizan el método hedónico para construir un índice de precios a partir de las características físicas de las viviendas y de variables asociadas con el entorno.

En China, Wang *et al.* (2012) calculan el efecto de la calidad del barrio en el que está ubicado un inmueble sobre su valor, mediante la metodología de precios hedónicos. En particular, los autores construyen un panel desbalanceado a partir de la información de la encuesta de hogares de China⁵. En el modelo definen tres tipos de atributos que miden la calidad del barrio: capital humano (años promedio de escolaridad y diversidad ocupacional de los hogares), capital social (duración de la tenencia de vivienda y tasa

5 Cabe resaltar que los precios de las viviendas que se incluyen en el modelo corresponden al valor promedio de los arriendos que recibe el propietario del inmueble, que obtiene de la información reportada en la encuesta, y no a los precios de transacción o de lista.

promedio de propietarios de inmuebles) y capital cultural (diversidad étnica). Adicionalmente, incluyen otros atributos relacionados con la ubicación de los inmuebles, como la disponibilidad de colegios, parques, supermercados y hospitales, así como efectos fijos que capturan factores no observables.

Otro trabajo que incluye un componente de capital humano en la ecuación hedónica es el de Rauch (1992), quien señala que la concentración de capital humano en una ciudad o zona específica, donde los salarios son, en comparación, más altos que en otro lugar, incrementa el precio de la vivienda, en la medida en que muchos agentes (trabajadores y empresas) tienen interés por estar en este lugar y la oferta es limitada.

Para el segundo grupo de estudios no se conocen aproximaciones para el caso colombiano. No obstante, internacionalmente se encuentran diversos trabajos. Se resalta el artículo de Wallace (1996), en el que mediante técnicas no paramétricas se estimaron funciones de precios hedónicos y se construyeron índices de precios de vivienda para el Condado de Alameda en California: uno tipo Paasche, otro tipo Laspeyres⁶, y un índice ideal o superlativo de Fisher, que es el promedio geométrico entre los dos anteriores. Asimismo, Idrovo y Lennon (2011) calculan un índice de precios de vivienda nueva para el Gran Santiago en Chile a partir de los registros mensuales de ventas inmobiliarias de las empresas suscritas a la Cámara Chilena de Construcción desde 1994 hasta 2010. Las variables utilizadas en este trabajo fueron la ubicación, el tipo de inmueble y el área, que son determinantes en las variaciones del precio.

En el caso de España se resalta el trabajo de Bover y Velilla (2002), donde se propone una estimación alternativa del modelo hedónico para calcular un índice de precios de la vivienda nueva para varias ciudades de España, ajustada por cambios en la calidad. Los autores incorporan efectos fijos de sitio (proyecto inmobiliario) para controlar las características no observadas de los inmuebles, tales como el tráfico, la cercanía a servicios públicos, la ubicación, el transporte, entre otros. La base de datos empleada en estas estimaciones contiene información detallada de las características para cada inmueble, tales como el área, número de habitaciones y baños, el acceso a garaje, aire acondicionado, espacios deportivos, jardín, entre otros.

Adicionalmente, dentro de la metodología de precios hedónicos existe una rama que se ha enfocado en la estimación de índices de precios de la vivienda que controlan por factores asociados con su localización, mediante el uso de técnicas de la economía espacial. Dentro de este grupo se resaltan los trabajos de Baltagi y Bresson (2010) y Baltagi *et al.* (2013) en los que se estima un índice de precios de vivienda para París que controla por las características de los inmuebles y por elementos asociados con el entorno. En el primero los autores proponen la aplicación del método de máxima verosimilitud a los modelos de ecuaciones aparentemente no relacionadas, conocidos en la literatura como modelos *seemingly uncorelated regressions SUR*⁷. La especificación propuesta usa

6 Un índice tipo Laspeyres deja fijas las cantidades de compra del período base, para calcular el monto en que aumenta o disminuye el valor de compra de una canasta de bienes y servicios entre dos períodos. Por su parte, el índice Paasche utiliza la canasta de bienes del período t para calcular el monto en que aumenta o disminuye el valor de compra de dicha canasta en dos períodos.

7 En términos generales, estos tipos de modelos constan de varias ecuaciones por estimar, donde cada una tiene su propia variable dependiente y, potencialmente, diferentes conjuntos de variables explicativas exógenas.

un sistema de tres ecuaciones SUR correspondientes a tres tipos de inmuebles dentro de ochenta distritos de París entre 1990 y 2003. Los resultados sugieren que existe heterogeneidad en el comportamiento de los precios de las viviendas tanto en el tiempo como en la localización espacial.

En el segundo trabajo se utiliza información más desagregada acerca de la ubicación de los inmuebles ya que, además del barrio y el distrito, se emplea la ubicación del bloque al que pertenece⁸. Sumado a esto, se modela la estructura anidada de los datos, en el sentido de que un bloque hace parte de un barrio y este, a su vez, se localiza en un determinado distrito. En este caso los autores extienden la estimación de máxima verosimilitud desarrollada por Antweiler (2001) para paneles de datos desbalanceados y anidados, al caso donde se incorpora un rezago espacial.

Vale la pena resaltar que existen diferentes enfoques para la implementación de los modelos hedónicos. Siguiendo a Triplett (2004), estos enfoques se pueden clasificar en tres grupos: *time dummy method*, métodos de imputación y métodos híbridos.

El *time dummy method* es el enfoque más utilizado internacionalmente para construir índices de precios de vivienda, y fue propuesto por Court (1939). En términos generales, este método consiste en incluir dentro de la especificación del modelo, además del vector de atributos de los inmuebles, *dummies* de tiempo que identifiquen el período en que se vendió la vivienda. En sentido, los coeficientes que acompañan estas *dummies* estarían recogiendo las variaciones en los precios con respecto a un período base, aislando los cambios en la calidad. La forma más simple para calcular los índices de precios es el exponencial de estos coeficientes (véase Eurostat, 2013, y Hill, 2004).

El segundo enfoque de la metodología de precios hedónicos es el método de imputación, en el cual los precios implícitos de los atributos varían en el tiempo, dependiendo de qué tan rápido cambian las preferencias de los individuos por las características de los inmuebles. La idea general de esta metodología es relacionar el precio de las viviendas en función de *dummies* de tiempo que denotan el período en que el inmueble fue vendido, y de un vector con sus respectivas características, donde sus precios implícitos corresponden al promedio de los períodos considerados. De acuerdo con Diewert *et al.* (2007), esta metodología debe emplearse cuando la valoración de los atributos que definen una vivienda sean inestables en el tiempo, es decir, si los parámetros de la ecuación hedónica cambian significativamente al calcularlos en momentos diferentes.

En tercer lugar, se han hecho algunos intentos de combinar el enfoque de ventas repetidas con el de precios hedónicos. Case y Quigley (1995) fueron los primeros en abordar el método híbrido, argumentado que este enfoque explota toda la información de los precios de venta y soluciona los problemas de los cambios en la calidad de los inmuebles y de sesgo de selección de la muestra. La idea detrás del modelo híbrido es estimar conjuntamente una ecuación hedónica con una de ventas repetidas. Case y Quigley (1991) y Quigley (1995) emplean una muestra de ventas individuales y otra de ventas repetidas de

Además, los residuos entre las ecuaciones están correlacionados, es decir, que dichas ecuaciones están relacionadas solo mediante los términos de perturbación. En estas circunstancias, el estimador de MCO es ineficiente e inconsistente, por lo que se requiere de otro estimador, que se calcula en tres etapas.

8 En este caso la influencia del entorno se incorpora mediante el uso de variables *dummies* que identifican el distrito donde está ubicada la vivienda.

viviendas, para estimar un índice de precios mediante una regresión por mínimos cuadrados generalizados.

Teniendo en cuenta los métodos descritos, en este documento se utilizará el *time dummy method* para estimar el índice de precios de vivienda, debido a su simplicidad y a que es el que mejor se ajusta a la base de datos disponible. Además, es el más utilizado internacionalmente, con una amplia literatura que lo respalda. No obstante, presenta algunas limitaciones en términos de flexibilidad, dado que no recoge el cambio en el tiempo de las preferencias de los agentes por los atributos de los inmuebles.

Considerando que la base de datos disponible para Bogotá contiene información individual de las ventas de las inmuebles y de las características que las componen, se tomará como referencia el trabajo de Bover y Velilla (2002), donde la información empleada es similar. Esta metodología permitirá estimar un índice de precios de vivienda ajustado, no solo por los cambios en la calidad de los inmuebles, sino también por la influencia de factores no observados mediante la aplicación de efectos fijos por proyecto inmobiliario.

Finalmente, cabe resaltar que este trabajo es una primera aproximación a la medición de los precios de las viviendas mediante la metodología de precios hedónicos en Colombia, por lo que se debe seguir avanzando en el mejoramiento de las metodologías, por ejemplo mediante la implementación del método de imputación o incorporando elementos de la economía espacial.

2. EVOLUCIÓN DEL SECTOR DE LA VIVIENDA EN COLOMBIA

Durante las dos décadas más recientes el sector de la vivienda en Colombia ha experimentado un comportamiento cíclico, en el cual se observan períodos de auges y caídas en la construcción y en los precios de los inmuebles. En este lapso, el mercado de la vivienda presentó cambios significativos que se reflejaron en los principales indicadores económicos del sector, tales como su participación en el PIB, la dinámica de los precios de los inmuebles y el comportamiento del crédito de esta modalidad. Los cambios también se evidenciaron en el tipo de vivienda construida y su calidad.

En esta sección se presenta una breve descripción del mercado de la vivienda en Colombia para los últimos veinte años, y se muestran los cambios más importantes en algunas variables relacionadas con la calidad de las viviendas, que son relevantes para entender la situación actual del mercado y para una mejor interpretación de lo que sugiere un índice de precios hedónicos, el cual considera cambios en las características de la vivienda a lo largo del tiempo.

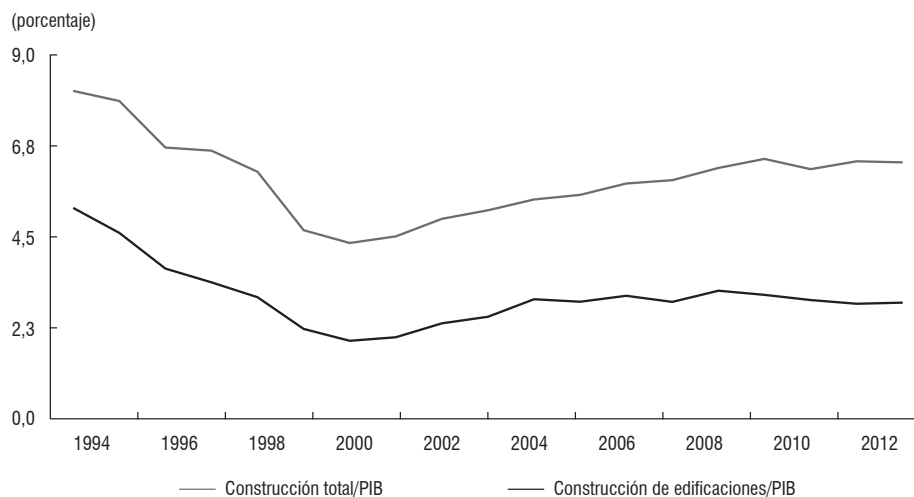
2.1 Dinámica del mercado

En términos generales, el sector de la vivienda en Colombia ha mostrado diferentes cambios en los últimos veinte años, que se han visto reflejados principalmente en el comportamiento de la construcción, en la evolución del crédito de esta modalidad y en los precios de los inmuebles.

En primer lugar, es importante mencionar que el sector de la construcción es relevante para el desempeño económico del país, ya que se encuentra interrelacionado con diversas industrias de la economía, como la metalúrgica, la maderera y la cementera. Adicionalmente, genera una importante demanda de mano de obra, especialmente no calificada: el 89% de la mano de obra en el sector es no calificada, la cual, a 2012, representó el 7,3% del total de mano de obra no calificada del país.

Al analizar el comportamiento del subsector de edificaciones, se observa que entre 1994 y 1995 su participación en el PIB alcanzó niveles cercanos al 5%, mientras que con la crisis descendió hasta valores cercanos al 2%. Desde entonces el indicador ha exhibido una lenta recuperación y para 2012 se ubicó en un nivel de 2,9% del PIB. Se destaca que el comportamiento del subsector de edificaciones exhibe una evolución similar a la observada para el sector de la construcción (Gráfico 1).

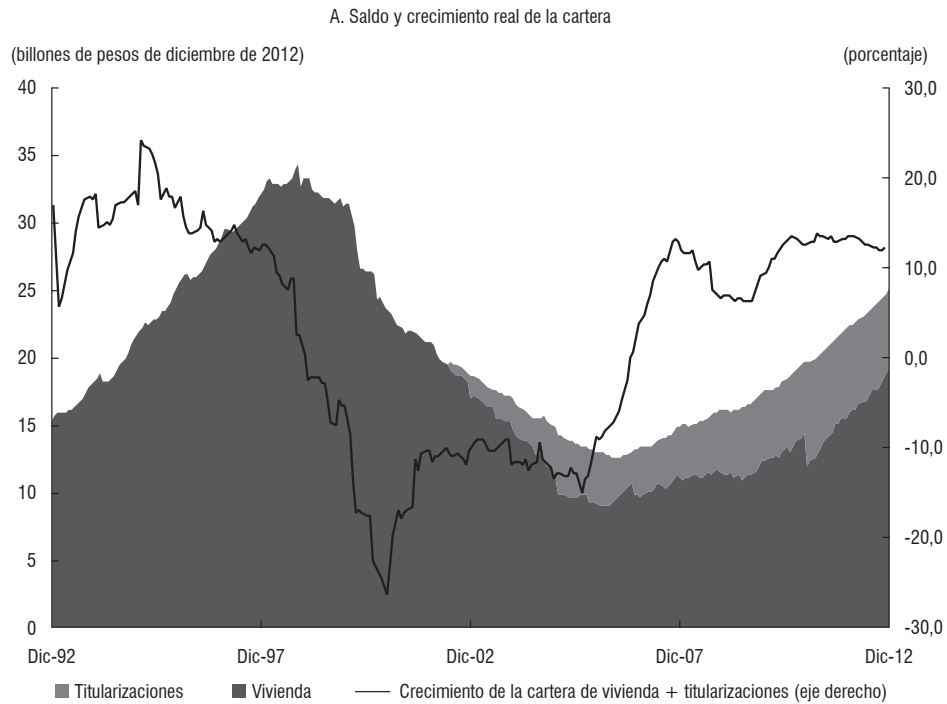
Gráfico 1
Participación de la construcción en el PIB



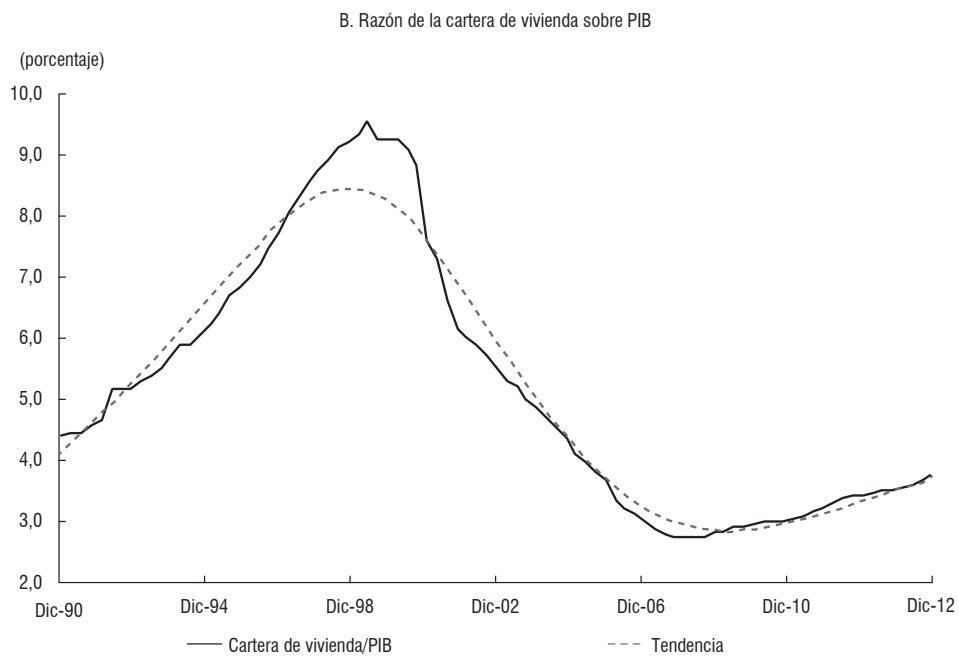
Fuente: DANE; cálculos del Banco de la República.

Por otro lado, el comportamiento de la cartera de vivienda y su participación dentro del PIB también han reflejado, en cierta medida, los períodos de auge, crisis y posterior recuperación de este mercado. Durante el comienzo de la década de los noventa el auge en el sector se evidenció en las altas tasas de crecimiento registradas por la cartera de vivienda (Gráfico 2, panel A). Las tasas reales de crecimiento de esta modalidad alcanzaron niveles por encima del 20%, las cuales fueron muy superiores al promedio de las dos décadas más recientes (2,8%). Al analizar el indicador de cartera de vivienda sobre el PIB, se observa una tendencia creciente, alcanzando en 1998 un nivel de 9,5% (máximo histórico) (Gráfico 2, panel B).

Gráfico 2
Evolución de la cartera de vivienda



Fuentes: Superintendencia Financiera de Colombia y DANE; cálculos del Banco de la República.

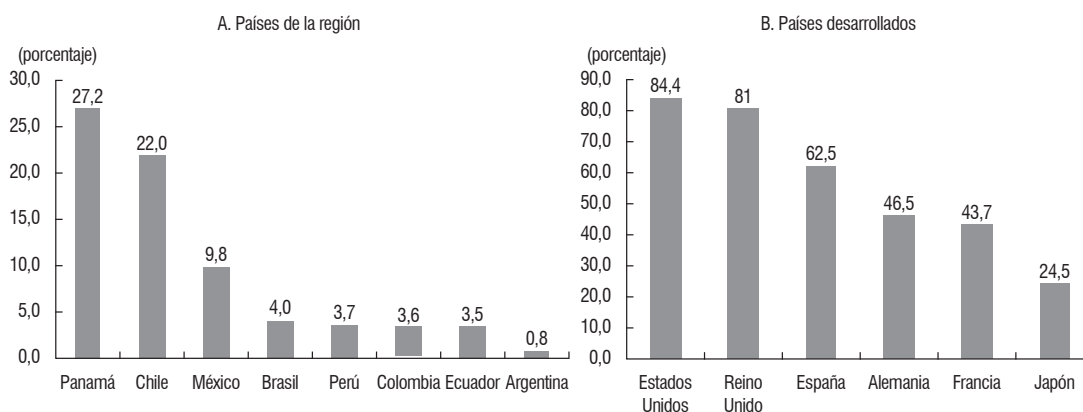


Fuentes: Superintendencia Financiera de Colombia y DANE; cálculos del Banco de la República.

Tras la crisis económica de finales de los años noventa, la cartera de vivienda presentó una fuerte desaceleración, registrando tasas de crecimiento cercanas al -25% a finales del año 2000. Por su parte, el indicador de cartera sobre PIB registró fuertes caídas que se prolongaron durante gran parte del período de análisis, llevando al indicador a alcanzar un nivel mínimo de 2,7% del PIB en 2006 (Gráfico 2, panel B). Durante el período de gran dinámica de la cartera (2006-2007), el crecimiento del crédito de vivienda se ubicó por encima del promedio histórico, tomando valores cercanos a los niveles precrisis, generando que la participación de esta modalidad de crédito en el PIB se incrementara, aunque sin alcanzar lo observado a comienzos de la década de los noventa.

Al comparar el indicador de cartera de vivienda sobre PIB entre economías de la región y con algunas economías desarrolladas, se observa que Colombia registra un nivel bajo en comparación con Panamá, Chile, México, Brasil y Perú (Gráfico 3, panel A). Por otra parte, este indicador para las economías desarrolladas está muy por encima del observado en las economías latinoamericanas, en general mayores al 40% (excepto Japón, la cual registró un indicador de 24,5%) (Gráfico 3, panel B).

Gráfico 3
Indicadores de profundización financiera



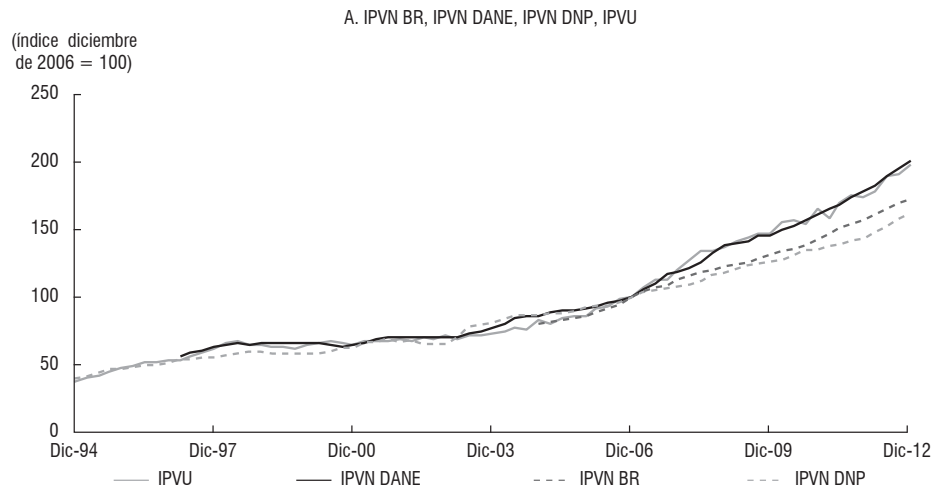
Fuentes: Asobancaria y Global Property Guide; cálculos del Banco de la República.

Los precios de la vivienda en Colombia también han reflejado el comportamiento cíclico observado en el crecimiento de la cartera y en la participación de la construcción en el PIB. En el Gráfico 4 se presenta la evolución de los índices de precios de la vivienda nueva y usada, junto con sus respectivas variaciones anuales calculadas por el DANE, el DNP y el Banco de la República⁹. Se destacan las altas tasas de crecimiento que los precios de la vivienda registraron durante el comienzo de los años noventa, y la pronunciada dismi-

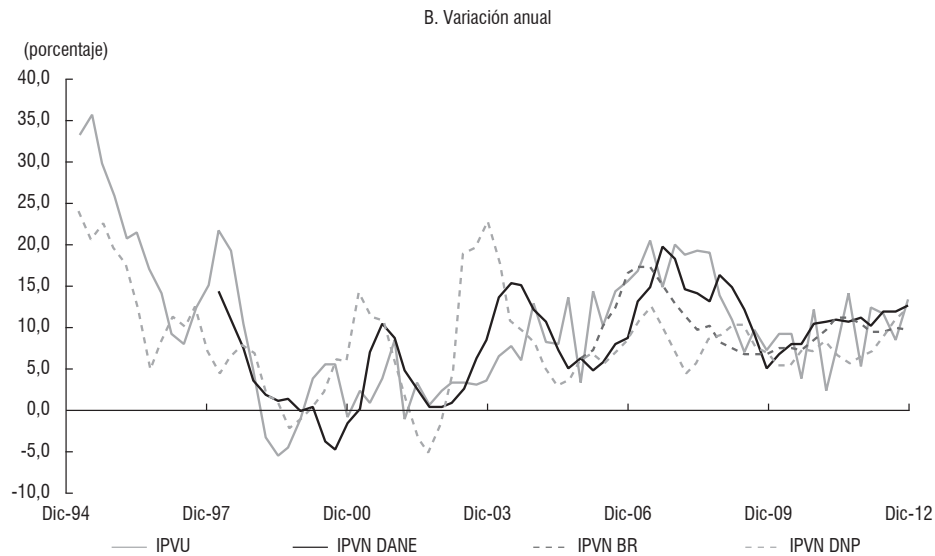
9 El índice de precios de vivienda nueva (IPVN BR), calculado por el banco central, utiliza la base de datos de La Galería Inmobiliaria y consiste en un promedio simple del precio por metro cuadrado de todos los inmuebles nuevos que están a la venta en cada momento del tiempo. Para mayor información véase el *Reporte de Estabilidad Financiera* (marzo de 2013).

nución de dichas tasas en el preámbulo de la crisis de finales de la década pasada. Desde 2002 los precios de la vivienda han venido mostrando un crecimiento nominal anual sostenido, el cual se intensificó en el período 2006-2007, cuando dichas tasas de crecimiento se ubicaron por encima del promedio histórico (1994-2012) y que inclusive alcanzaron niveles superiores al 20%. Tras la crisis financiera internacional de 2008 dichas tasas de crecimiento se redujeron levemente, pero continúan por encima del promedio histórico.

Gráfico 4
Índices de precios de la vivienda^{a/}



a/ IPVU Nacional (Bogotá, Medellín y Cali), IPVN DANE (zona urbana Bogotá), IPVN BR (Bogotá), IPVN DNP (Bogotá).
Fuentes: DANE, DNP, Banco de la República y La Galería Inmobiliaria; cálculos del Banco de la República.



Fuentes: DANE, DNP, Banco de la República y La Galería Inmobiliaria; cálculos del Banco de la República.

En general, se observa que después de la crisis financiera de finales de los años noventa, el sector de la vivienda presenció un estancamiento hasta mediados de la década pasada, alcanzando mínimos históricos en términos de participación en la actividad económica, cartera de vivienda sobre PIB y precios. No obstante, a partir de 2005 el sector mostró una importante recuperación, que se ha evidenciado con el crecimiento de la cartera y de la dinámica de los precios de la vivienda. Todo esto ha estado sin duda influenciado también por la mayor dinámica que exhibió la economía colombiana en el mismo período.

2.2 Cambios en las características de los inmuebles en Bogotá

Además de los cambios macroeconómicos observados en el sector de la vivienda en Colombia durante el período 1990-2012, también se evidenciaron cambios importantes en la calidad de los inmuebles, tal y como lo confirma la información recolectada por La Galería Inmobiliaria. Esta base de datos contiene información del mercado de vivienda nueva (apartamentos y casas) para Bogotá, Cali, Medellín, Barranquilla, Cartagena, Santa Marta, Bucaramanga y Villavicencio¹⁰, la cual se obtiene por medio de encuestas mensuales que se aplican a todas las salas de ventas en cada ciudad. Cada proyecto inmobiliario se monitorea desde el momento en que aparece la sala de ventas, hasta que la última unidad es vendida. La información contenida en esta base incluye características de cada uno de los inmuebles, así como las unidades ofrecidas, vendidas, y el precio de venta de cada vivienda¹¹.

El presente análisis se desarrolla para la ciudad de Bogotá, cuyo mercado representa el 40% del total de las ventas en la base de datos; se utiliza, además, información del período 2003-2013, dada la disponibilidad de los registros. El Cuadro 1 contiene las estadísticas descriptivas más relevantes de la base a lo largo del período de estudio. En el Cuadro 2 se presenta el comportamiento de estas variables por estrato socioeconómico, para el promedio del período de análisis.

Desde enero de 2003 hasta marzo de 2013 se vendieron 400.526 inmuebles nuevos, que hacían parte de 3.416 proyectos de vivienda. Estas ventas se concentraron en los estratos 2 y 3 (62%), mientras que los estratos 5 y 6 tuvieron una menor participación (13%). Los períodos en los que se registró el mayor número de ventas coinciden con los momentos en que se observaron fuertes incrementos en los precios de la vivienda y un mayor dinamismo de esta cartera (2006-2007). En contraste, durante el año 2012 se registró el número más bajo de ventas de inmuebles de la muestra.

Por otra parte, en el período de análisis se aprecia una sustitución de venta de casas por apartamentos: mientras que en el año 2003 el 53% del total de viviendas vendidas eran casas, en 2012 este porcentaje disminuyó a 1,4%. Este comportamiento es observado

10 De acuerdo con La Galería Inmobiliaria, la muestra de ciudades que abarca la base de datos corresponde aproximadamente al 80% del total de la oferta de vivienda nueva del país.

11 Las características son: estrato, zona, barrio, área, número de habitaciones, número de baños, número de garajes y un conjunto de atributos que pueden o no estar disponibles, tales como depósito, chimenea, tina, parque infantil, canchas o gimnasio, planta eléctrica, sauna, ascensor, otros.

Cuadro 1
Estadísticas descriptivas por año

| | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 ^{a/} |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------------|
| Total | | | | | | | | | | | |
| Número de proyectos | 604 | 800 | 854 | 932 | 921 | 906 | 910 | 1056 | 819 | 797 | 493 |
| Número de inmuebles vendidos | 34.594 | 35.586 | 40.636 | 50.655 | 42.426 | 34.415 | 40.324 | 41.411 | 41.061 | 31.917 | 7.501 |
| Porcentaje de apartamentos | 57,0 | 54,5 | 57,0 | 69,1 | 87,1 | 90,5 | 93,4 | 92,1 | 97,4 | 98,6 | 98,5 |
| Media | | | | | | | | | | | |
| Precio ^{b/} | 85,9 | 90,1 | 89,3 | 99,1 | 122,8 | 137,6 | 129,2 | 149,6 | 172,0 | 204,9 | 227,2 |
| Área total (m ²) | 79,4 | 80,6 | 76,5 | 73,6 | 74,6 | 72,7 | 67,0 | 68,7 | 69,4 | 68,9 | 69,7 |
| Precio por metro cuadrado ^{b/} | 0,9 | 1,0 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,7 | 1,9 | 2,2 | 2,7 | 2,9 |
| Número de alcobas | 2,8 | 2,8 | 2,7 | 2,7 | 2,7 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,6 |
| Número de baños | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 1,7 | 1,8 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,8 |
| Número de garajes | 1,1 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,2 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,4 | 1,5 |
| Porcentaje de viviendas que cuentan con la característica | | | | | | | | | | | |
| Depósito | 29,1 | 29,7 | 27,9 | 29,5 | 30,5 | 30,0 | 21,8 | 25,1 | 28,1 | 32,4 | 35,5 |
| Chimenea | 17,8 | 21,3 | 18,9 | 18,5 | 19,5 | 20,8 | 17,4 | 18,7 | 18,0 | 20,9 | 20,5 |
| Tina | 9,9 | 10,4 | 6,6 | 5,9 | 4,9 | 4,8 | 2,2 | 2,3 | 2,9 | 3,2 | 3,3 |
| Salón comunal | 89,4 | 91,3 | 89,9 | 91,4 | 96,4 | 97,3 | 96,3 | 96,7 | 93,9 | 97,1 | 95,1 |
| Parque infantil | 68,9 | 66,2 | 68,4 | 69,9 | 69,6 | 68,1 | 60,2 | 61,6 | 67,3 | 71,3 | 69,3 |
| Canchas o gimnasio | 31,8 | 31,6 | 30,3 | 32,8 | 37,2 | 34,2 | 34,3 | 39,2 | 36,4 | 39,6 | 40,9 |
| Planta eléctrica | 25,6 | 25,2 | 23,3 | 28,0 | 33,0 | 33,4 | 38,6 | 40,9 | 41,9 | 47,5 | 56,1 |
| Sauna | 9,2 | 7,3 | 6,8 | 8,8 | 11,2 | 10,2 | 8,3 | 12,2 | 10,1 | 12,5 | 14,1 |
| Ascensor | 33,7 | 36,0 | 35,5 | 39,6 | 47,5 | 47,9 | 47,7 | 52,3 | 57,5 | 65,1 | 71,1 |

a/ Incluye información hasta marzo.

b/ Cifras en millones de pesos.

Fuente: La Galería Inmobiliaria; cálculos de los autores.

Cuadro 2
Estadísticas descriptivas por estrato

| | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | Total |
|---|---------|---------|---------|--------|--------|---------|
| Total | | | | | | |
| Número de proyectos | 362 | 718 | 741 | 701 | 826 | 33.483 |
| Número de inmuebles vendidos | 121.499 | 126.470 | 100.693 | 28.735 | 23.129 | 400.526 |
| Participación en ventas | 30,0 | 32,0 | 25 | 7 | 6 | 100 |
| Porcentaje de apartamentos | 59,9 | 80,9 | 94,5 | 94,7 | 97,6 | 79,9 |
| Media | | | | | | |
| Área total (m ²) | 49,3 | 61,0 | 87,5 | 115,5 | 146,7 | 73,0 |
| Número de alcobas | 2,6 | 2,8 | 2,8 | 2,5 | 2,3 | 2,7 |
| Número de baños | 1,1 | 1,6 | 2,2 | 2,6 | 2,9 | 1,8 |
| Número de garajes | 0,9 | 1,2 | 1,3 | 1,7 | 2,0 | 1,3 |
| Porcentaje de viviendas que cuentan con la característica | | | | | | |
| Depósito | 0,6 | 12,0 | 50,8 | 88,3 | 92,5 | 28,4 |
| Chimenea | 0,7 | 2,6 | 35,3 | 65,8 | 77,6 | 19,1 |
| Tina | 0,0 | 0,5 | 5,6 | 23,0 | 34,7 | 5,2 |
| Salón comunal | 88,8 | 96,7 | 97,3 | 93,9 | 91,0 | 93,9 |
| Parque infantil | 56,6 | 75,2 | 78,9 | 59,3 | 37,1 | 67,1 |
| Canchas o gimnasio | 8,4 | 26,8 | 64,9 | 60,1 | 55,0 | 34,8 |
| Planta eléctrica | 3,8 | 23,2 | 63,4 | 67,8 | 81,0 | 34,0 |
| Sauna | 0,1 | 5,2 | 19,6 | 27,0 | 19,7 | 9,7 |
| Ascensor | 10,0 | 40,8 | 92,0 | 99,5 | 99,7 | 58,2 |
| Precio promedio por inmueble ^{b/} | | | | | | |
| 2003 | 23,4 | 40,9 | 94,1 | 188,4 | 353,0 | 85,9 |
| 2004 | 24,1 | 43,3 | 105,5 | 209,8 | 373,9 | 90,1 |
| 2005 | 24,9 | 47,1 | 118,5 | 222,1 | 408,6 | 89,3 |
| 2006 | 27,1 | 57,0 | 133,1 | 236,9 | 417,9 | 99,1 |
| 2007 | 32,6 | 71,0 | 161,6 | 278,7 | 452,0 | 122,8 |
| 2008 | 37,1 | 86,4 | 188,8 | 299,2 | 497,5 | 137,6 |
| 2009 | 40,7 | 87,0 | 201,3 | 307,8 | 510,7 | 129,2 |
| 2010 | 46,3 | 97,2 | 234,9 | 340,6 | 550,3 | 149,6 |
| 2011 | 53,9 | 103,1 | 244,0 | 345,2 | 699,8 | 172,0 |
| 2012 | 66,2 | 128,0 | 278,6 | 377,4 | 717,6 | 204,9 |
| 2013 ^{a/} | 78,0 | 134,5 | 320,7 | 399,8 | 790,9 | 227,2 |

a/ Incluye información hasta marzo.

b/ Cifras en millones de pesos.

Fuente: La Galería Inmobiliaria; cálculos de los autores.

en todos los estratos, especialmente en el 2 y 3¹². Lo anterior podría estar explicado por las restricciones de tierra en Bogotá, lo cual ha incentivado a los constructores a desarrollar proyectos principalmente de vivienda vertical.

En cuanto al precio promedio de la vivienda, se resalta la tendencia alcista observada durante todo el período para todos los estratos, dinámica que ha estado acompañada por una disminución en el área de los inmuebles: mientras que entre 2003 y 2008 las viviendas tenían en promedio 76 metros cuadrados, a partir de 2009 esta área ha permanecido alrededor de 69 metros cuadrados. Cabe destacar que entre estratos la diferencia en área es representativa: como se muestra en el Cuadro 2, los inmuebles de estrato 2 tienen en promedio un área de 49 metros cuadrados, mientras que en estrato 6 esta asciende a 146 metros cuadrados.

Con respecto a las características de los inmuebles, se observaron variaciones entre estratos socioeconómicos y en el tiempo. En primer lugar, se aprecia que el número de baños es superior en las viviendas de mayor estrato: mientras que en el estrato 2 el 88% de los inmuebles tienen un solo baño, en el estrato 6 el 37,3% cuenta con tres baños, y el 22% con cuatro baños. No obstante, esta característica se ha mantenido relativamente estable en el tiempo. Por otro lado, el número de alcobas es similar entre estratos, y no ha mostrado mayores cambios en el período de análisis. Por otra parte, el número promedio de garajes ha aumentado en el tiempo, y además se encuentra que la mayor parte de las viviendas vendidas tienen acceso por lo menos a un garaje, a excepción de las de estrato 2.

Con relación a la disponibilidad de ciertos servicios comunales, se encontró que el porcentaje de viviendas que cuenta con acceso a un salón comunal, parque infantil y canchas o gimnasios se ha incrementado en el tiempo. Asimismo, se observa que la oferta de estos atributos es más alta en los estratos intermedios, mientras que para los estratos 2 y 6 esta es más baja.

Finalmente, en relación con los domicilios con planta eléctrica, se observa un incremento considerable entre 2003 y 2012. Los estratos con mayor número de plantas eléctricas son el 5 y el 6, seguidos por el 4, mientras que en los estratos 2 y 3 esta cuantía es menos significativa. Asimismo, se evidencia un incremento en los apartamentos con ascensores, cuya proporción fue de 71,1% en 2012; no obstante, este comportamiento varía según estrato: en el estrato 2 tan solo el 10% de los apartamentos cuenta con esta característica, mientras que en los estratos 5 y 6 este porcentaje es cercano al 100%. Por otro lado, las chimeneas y el sauna son características que han venido apareciendo con mayor frecuencia y que se han concentrado fundamentalmente en los estratos 4 y 5. Por último, el porcentaje de viviendas con tina siempre ha sido bajo: se presenta principalmente en los estratos más altos y ha exhibido una reducción durante el período analizado.

12 Para 2003 en el estrato 2 el 82% de las ventas se concentraban en casas y el 18% restante en apartamentos, mientras que en 2012 estas participaciones pasaron a ser 2% y 98%, respectivamente. Asimismo, en el estrato 3 la participación de las casas dentro de las ventas en 2003 era 52%, y el 48% restante lo ocupaban los apartamentos; en 2012 estas cifras cambiaron a 1% y 99%, en su orden.

En resumen, se observa que la vivienda en Bogotá ha presentado cambios importantes en el decenio más reciente. Factores como cambios demográficos, culturales y de ingreso, junto con las restricciones de espacio evidenciadas en las grandes urbes, pudieron haber influenciado cambios en las características y calidad de los inmuebles y, por tanto, podrían haber afectado los precios. Entre los cambios observados, se resalta una mayor proporción de apartamentos frente a casas; inmuebles de menor tamaño con precios por metro cuadrado más altos; viviendas con mayor cantidad de garajes, depósitos, ascensores, salones comunales, parques y gimnasios. Sin embargo, no se han observado grandes cambios en el número de alcobas ni en el número de baños por inmueble.

3. METODOLOGÍA

3.1. Modelo teórico

En 1974 Sherwin Rosen formalizó la teoría de los precios hedónicos. La hipótesis principal detrás de estos modelos es que los bienes diferenciados son valorados de acuerdo con la cantidad de cada una de las características asociadas con el bien, y la utilidad que estas representen para cada individuo.

El modelo parte del supuesto de que el mercado de bienes diferenciados, en este caso el de la vivienda, es un mercado competitivo donde interactúan compradores y vendedores. Se supone que cada vivienda está descrita por un conjunto de n características que son medidas de forma objetiva entre agentes, es decir, la percepción de todos los agentes acerca de la cantidad de cada una de las características de un bien es la misma.

De acuerdo con lo anterior, cada uno de los inmuebles en el mercado está completamente representado por un vector $z = (z_1, z_2, \dots, z_n)$, donde z_i es la cantidad de la i -ésima característica presente en el bien. En este sentido, los precios de los inmuebles son una función del vector z , es decir, $p(z) = p(z_1, z_2, \dots, z_n)$. Se supone, además, que este mercado es competitivo en el sentido de que ningún agente tiene suficiente peso como para modificar los precios, más aún, estos resultarán de un proceso de maximización.

Sea $U = (x, z_1, z_2, \dots, z_n)$ la función de utilidad de los consumidores, donde x es el consumo de bienes diferentes a la vivienda. Si normalizamos el precio de x a 1 y definimos y como el ingreso del individuo, entonces la restricción presupuestal estará dada por $y = x + p(z)$ si se supone que el individuo demanda una unidad de vivienda (el modelo puede generalizarse de forma sencilla para tener en cuenta situaciones donde esto no se cumple).

De la maximización de la utilidad se obtiene que el individuo escogerá la demanda por x y z_i que satisfaga la condición de primer orden:

$$\frac{\partial p}{\partial z_i} = p_i = \frac{Uz_i}{Ux} \quad (1)$$

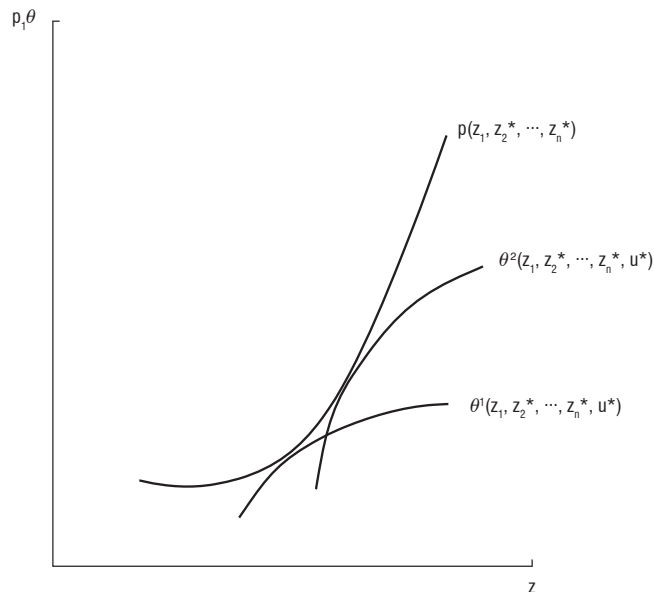
donde U_{z_i} y U_x son las derivadas parciales de la función de utilidad U con respecto a z_i y a x , respectivamente, y p_i es el precio hedónico del i -ésimo bien, es decir, el aporte que hace una unidad de esta característica al precio del bien final.

Si se define θ como la máxima disposición a pagar del individuo, por un bien con características z y dado unos niveles de ingreso y y utilidad \bar{u} , entonces θ se define de forma implícita mediante la ecuación:

$$U(y - \theta, z_1, \dots, z_n) = \bar{u} \tag{2}$$

Es posible mostrar mediante diferenciación implícita que θ se incrementa en la medida en que los z_i aumentan, pero que este aumento es decreciente, es decir, $\theta(z_i)$ es una función creciente y cóncava. En resumen, (θ, z, \bar{u}, y) es lo que el consumidor está dispuesto a pagar por z , si tiene un ingreso y y quiere garantizar una utilidad \bar{u} , mientras que $p(z)$ es el precio mínimo que tendrá que pagar en el mercado. En consecuencia, siguiendo a Rosen (1974), la utilidad se maximizará cuando se determinen valores óptimos de z y \bar{u} que garanticen que $\theta(z^*, \bar{u}^*, y) = p(z^*)$ y $\theta_{z_i}(z^*, \bar{u}^*, y) = p_{z_i}(z^*)$ para todo i , siendo θ_{z_i} y p_{z_i} las derivadas parciales de las funciones θ y con respecto a z_i . Lo anterior es equivalente a garantizar la tangencia entre la función de precios de mercado y la función de máxima disposición a pagar (Diagrama 1).

Diagrama 1
Ecuación hedónica y máximas ofertas de compra



Fuente: Rosen (1974).

Por su parte, el productor de bienes inmuebles deberá escoger qué cantidad de cada tipo de inmuebles desea producir. Sea $C(M, z, \beta)$ la función de costos asociada con la producción, donde $M(z)$ es la cantidad de unidades producidas del bien definido por z , y el parámetro β representa el tipo de estructura de costos de la firma.

La decisión del productor resulta de escoger la cantidad de producto final y de características z , que maximizan sus beneficios $\pi = Mp(z) - C(M, z_1, \dots, z_n)$. De lo anterior se obtiene que el ingreso y costo marginal deben ser iguales, tanto para los cambios en características como para el bien final:

$$p_i(z) = C_{z_i}(M, z_1, \dots, z_n) / M \quad (3)$$

$$p(z) = C_M(M, z_1, \dots, z_n) \quad (4)$$

De forma análoga a lo expuesto en el problema del consumidor, se plantea una función de oferta $\phi(z_1, \dots, z_n, \bar{\pi}, \beta)$, que determina el mínimo valor al que un productor estará dispuesto a vender un bien con características z , si quiere garantizar un nivel fijo de beneficios $\bar{\pi}$. Esta función se define de forma implícita en términos de z , π y β mediante las siguientes ecuaciones:

$$\pi = M\phi - C(M, z_1, \dots, z_n) \quad (5)$$

$$\phi = C_M(M, z_1, \dots, z_n) \quad (6)$$

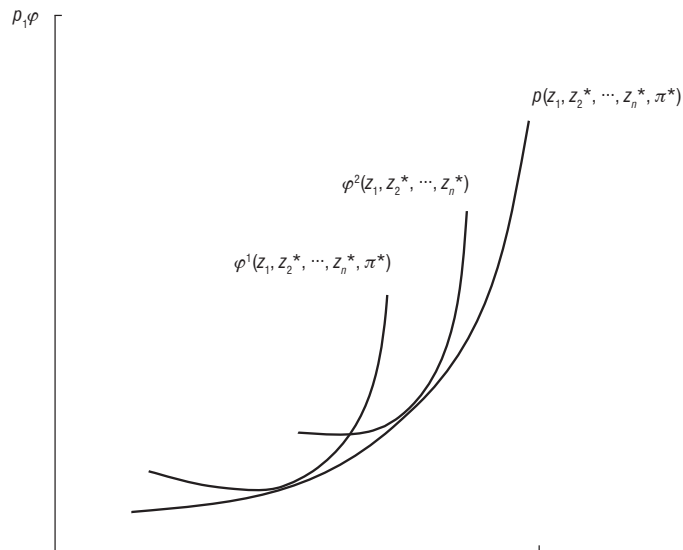
Rosen muestra que Π_{z_i} y $\Pi_{z_i z_i}$ son positivas, es decir, la función $\phi(z_i)$ es creciente y convexa. Siguiendo la misma intuición, el beneficio de las firmas se maximiza cuando las curvas $\phi(z_i)$ y $p(z_i)$ son tangentes para todo i . Es decir, $p_i(z^*) = \phi_{z_i}(z_i^*, \dots, z_n^*, \pi^*, \beta)$ y $p_i(z^*) = \phi(z_i^*, \dots, z_n^*, \pi^*, \beta)$ (Diagrama 2).

Sobreponiendo los diagramas 1 y 2, Rosen muestra que la función de precios hedónicos $p(z_1, \dots, z_n)$ es la envolvente de los equilibrios de un mercado diferenciado, que no se caracteriza mediante agentes representativos. Por lo anterior, la función hedónica resulta de todas las interacciones en el mercado, por lo que estimarla con técnicas econométricas permitiría encontrar el cambio del precio en el tiempo, controlando por el efecto de variaciones en las características.

3.2. Estimaciones econométricas

Si un determinado número de inmuebles de la misma calidad son vendidos en cada período, para construir un índice de precios de vivienda sería suficiente calcular una medida de tendencia central de los precios a los que se vendieron en cada momento. El hecho de que la calidad de los inmuebles varía en el tiempo hace necesaria la construcción de índices de precios que controlen por dichos cambios (Knight *et al.*, 1995).

Diagrama 2
Ecuación hedónica y mínimas ofertas de venta



Fuente: Rosen (1974).

En esta sección se presentan los modelos estadísticos que se estiman para construir índices de precios que controlan por calidad. Para construir estos índices, en la especificación econométrica se utilizan variables *dummy* que señalan el año en que un inmueble fue vendido y capturan la tendencia en el tiempo de los precios de la vivienda. Este enfoque, denominado el *time dummy method*, es usualmente utilizado en la metodología de precios hedónicos aplicada al mercado de vivienda, tal y como en Hill (2011), Knight *et al.* (1995), Gatzlaff y Ling (1994), Crone y Voith (1992) y Bover y Velilla (2002).

En este trabajo se estiman tres modelos econométricos con el objetivo de encontrar un índice de precios ajustado¹³. El primero es una regresión del precio en función del área y *dummies* de tiempo¹⁴, con el fin de estimar la variación del precio de la vivienda con respecto al año base, sin controlar por características. En el segundo se incluyen atributos observables de la vivienda junto con *dummies* de tiempo y, finalmente, en el tercero se controla por efectos fijos aditivos y multiplicativos¹⁵.

13 La base de datos utilizada para las estimaciones de este documento fue depurada de la siguiente manera: 1. Se eliminaron registros con precios iguales o menores a cero. 2. Para las estimaciones econométricas se eliminaron aquellos registros que presentaban áreas y precios atípicos (valores extremadamente altos o bajos), los cuales con certeza no reflejaban valores razonables de cualquier vivienda.

14 En lugar de definir la variable dependiente como el precio por metro cuadrado, el área será considerada como una variable explicativa. Esto permitirá estimar la elasticidad del precio de la vivienda con respecto al tamaño, la cual varía por proyecto en el ejercicio de efectos fijos multiplicativos.

15 En este trabajo se aplicó la prueba de Hausman para verificar la existencia de efectos fijos o aleatorios. Se concluyó que era necesario controlar por efectos fijos. Finalmente, para tener más detalles acerca de efectos fijos aditivos y multiplicativos —consúltese Cameron y Trivedi (2005)—.

El primer modelo estima, entonces, los precios de la vivienda incluyendo únicamente el área del inmueble y *dummies* de tiempo, de la forma:

$$p_{it} = \alpha_0 + \sum_{s=1}^T \delta_s d_{sit} + \beta a_{it} + e_{it} \quad (t = 1, \dots, T) \quad (7)$$

Donde p_{it} es el logaritmo del precio del inmueble i en el período t ; α_0 es el intercepto, y δ_s es el coeficiente asociado con la *dummy* de tiempo d_{sit} , la cual toma el valor de 1 cuando $s = t$ y 0 en otro caso. Por su parte, a_{it} es el logaritmo del área del inmueble i en t , medido en metros cuadrados y β su coeficiente asociado. Finalmente, e_{it} es el término de error.

En el segundo modelo se estima una ecuación hedónica de la forma:

$$p_{it} = \alpha_0 + \sum_{s=1}^T \delta_s d_{sit} + \beta a_{it} + \sum_k \phi_k c_{kit} e_{it} \quad (t = 1, \dots, T) \quad (8)$$

Esta especificación, a diferencia de la anterior, incluye el efecto de la calidad del inmueble, donde $\sum_k \phi_k c_{kit}$ es la sumatoria de las k características c de la vivienda i en el año t multiplicada por el precio implícito ϕ_k . Dichas características incluyen, entre otros, el número de baños y garajes, además de la existencia de ciertos atributos, como depósito, ascensor, chimenea, tina, estudio, extractor y cancha o gimnasio.

Adicional a estas características, variables asociadas con atributos propios de la zona o proyecto, como la seguridad y los niveles de contaminación, así como la distancia al transporte masivo, entre otras, podrían ser determinantes en la regresión hedónica. No incluirlas podría implicar problemas de variable omitida. Para asegurar que se controla por estas características no observadas se hizo una tercera regresión, incluyendo efectos fijos aditivos η_j asociados con cada proyecto inmobiliario. De esta forma, la ecuación hedónica se especifica de la siguiente manera:

$$p_{ijt} = \sum_{s=1}^T \delta_s d_{sit} + \beta a_{ijt} + \eta_j + \sum_m \phi_m c_{mit} + \epsilon_{ijt} \quad (t = 1, \dots, T) \quad (9)$$

donde el subíndice j identifica cada uno de los proyectos inmobiliarios, la variable η_j captura los efectos fijos por proyecto y las variables c_{mit} son las características que varían para los inmuebles dentro de un proyecto, es decir, la que no está recogida en los efectos fijos.

Como es usual, la ecuación (9) se estima después de transformar las variables, restando de cada una su media por proyecto:

$$(p_{ijt} - \bar{p}_j) = \sum_{s=1}^T \delta_s (d_{sijt} - \bar{d}_{sj}) + \beta (a_{ijt} - \bar{a}_{ijt}) + (\epsilon_{ijt} - \bar{\epsilon}_j) \quad (t = 1, \dots, T) \quad (10)$$

donde $\bar{p}_j, \bar{d}_{sj}, \bar{a}_{ijt}, \bar{\epsilon}_j$ son los promedios de las variables $p_{ijt}, d_{sijt}, a_{ijt}, \epsilon_{ijt}$ para el proyecto j .

Las especificaciones descritas se estimarán utilizando el método de mínimos cuadrados generalizados (MCG) y una estimación de regresión por cuantiles de la mediana, que es menos sensible a datos extremos.

Adicional a los controles por efectos fijos aditivos mencionados, se podría esperar que la contribución marginal del área en el precio varíe por zonas. Por lo anterior, se estima también una especificación del modelo con efectos fijos multiplicativos y aditivos, los cuales capturan justamente diferencias en la valoración marginal del área. La especificación de este modelo es la siguiente:

$$p_{ijt} = \sum_{s=1}^T \delta_s d_{sit} + \beta_j a_{ijt} + \eta_j + \epsilon_{ijt} \quad (t=1, \dots, T) \quad (11)$$

Como en Bover y Velilla (2002), la estimación de (11) se realiza de acuerdo a la siguiente transformación:

$$(p_{ijt} - \bar{p}_j) = \hat{\theta}_j (a_{ijt} - \bar{a}_j) + \sum_{s=1}^T [(d_{sit} - \bar{d}_{sj})] - \hat{\phi}_{sj} (a_{ijt} - \bar{a}_j) + \tilde{v}_{ijt} \quad (t=1, \dots, T) \quad (12)$$

Donde $\hat{\theta}_j$ es el coeficiente de la regresión estimada por OLS auxiliar de $(p_{ijt} - \bar{p}_j)$ en $(m_{ijt} - \bar{m}_j)$ y $\hat{\phi}_{sj}$ es el coeficiente asociado con la variable de área de la regresión auxiliar entre $(d_{ijt} - \bar{d}_{sj})$ y $(m_{ijt} - \bar{m}_j)$.

En general, los modelos de precios hedónicos usualmente presentan algunos problemas econométricos, tales como de variable omitida, no normalidad de los errores y multicolinealidad. En el caso de la variable omitida, la severidad de este problema depende del objetivo del análisis; cuando se quiere estimar un índice de precios sin analizar los precios marginales de las características, el problema por variable omitida es menor¹⁶ (Hill, 2011). En el caso de la multicolinealidad y la no normalidad de los errores, ninguno de estos problemas afecta la consistencia e insesgamiento de los estimadores; en el caso de la no normalidad esto ocurre porque se cuenta con un N suficientemente grande, y en el caso de la multicolinealidad (no perfecta) puede mostrarse que, aún en presencia de este problema, los estimadores son consistentes e insesgados (Gujarati, 2004). Por lo anterior, las *dummies* de tiempo, utilizadas para construir el índice de precios, son estimadores insesgados y consistentes.

Como se mencionó, los modelos se estiman también por medio de regresión por cuantiles de la mediana. Esta metodología tiene ciertas ventajas sobre los estimadores de MCG, entre las que se destacan: que se obtienen estimadores menos sensibles a datos extremos, estimadores que son consistentes en condiciones más débiles y, finalmente, menos restricciones en cuanto a los supuestos sobre el comportamiento de los datos y los errores asociados con las regresiones (Cameron y Trivedi, 2005). En la siguiente sección se presentan los resultados de las estimaciones y los índices de precios calculados en cada uno de estos escenarios.

16 Es importante tener en cuenta que el objetivo de este trabajo es construir un índice de precios de vivienda nuevo controlando por variaciones en las características, y no estudiar el efecto de estas últimas en el precio de los inmuebles.

4. RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados de las estimaciones bajo las diferentes especificaciones econométricas, utilizando tanto el método de MCG como el de regresión por cuantiles en cada caso¹⁷. En el Cuadro 3 se muestran las estimaciones de la ecuación (7), en la que solo se incluyen *dummies* de tiempo y el logaritmo del área de los inmuebles. Esta especificación captura las variaciones en los precios de la vivienda, sin tener en cuenta el efecto de las características. Como es esperado, los coeficientes asociados con las *dummies* son significativos y positivos, y aumentan a lo largo del tiempo, lo cual indica que los precios de la vivienda han venido aumentando de manera sostenida durante todo el período analizado con respecto al año base (2002). Asimismo, el área tiene un efecto positivo sobre el precio de los inmuebles. Cabe resaltar que estos resultados son similares para los dos métodos de estimación utilizados.

El Cuadro 4 contiene los resultados de la ecuación (8), donde, además de incluir el área y θ de tiempo, también se incorporan variables asociadas con las características de las viviendas, tales como el número de baños, número de garajes y el piso en que está ubicado el inmueble, entre otras¹⁸. Como se puede observar, el efecto del área y de las *dummies* de tiempo sobre el precio se reduce en el modelo cuando se controla por características.

Como es usual en esta literatura, es probable que exista multicolinealidad entre los regresores de los modelos planteados¹⁹, lo que generalmente ocasiona errores estándar sobredimensionados y, por ende, estadísticos t pequeños. No obstante, se encontró que para todas las regresiones, el error estándar toma valores bajos y estadísticos t suficientemente grandes para obtener coeficientes significativos. Esto también permite obtener intervalos de confianza de las *dummies* de tiempo que son disyuntos, lo que significa que los crecimientos en el precio de los inmuebles son significativamente diferentes entre sí.

Dada la forma funcional de las especificaciones econométricas, las variaciones del precio de la vivienda con respecto al año base se aproximan a partir de la siguiente transformación de los coeficientes asociados con las *dummies* de tiempo:

$$\frac{E(P_t) - E(P_0)}{E(P_0)} \approx e^{(\delta_t)} - 1 \quad (13)$$

donde P_t y P_0 es el precio de la vivienda en el período t y en el año base, respectivamente. Esta aproximación es exacta cuando se supone que los precios de la vivienda P_t siguen una distribución *log-normal* con varianza constante en el tiempo, como lo muestra la siguiente ecuación:

17 Los resultados de las estimaciones se encuentran al final de este documento.

18 El resto de variables hacen referencia a ciertos atributos que pueden estar o no disponibles: depósito, canchas o gimnasio, estufa a gas, ascensor, planta eléctrica, chimenea, cocina integral, contenedor de basuras, tanque de agua, horno a gas, tina, cuarto y baño de servicio, estudio, extractor, instalación de secadora y calentador a gas.

19 Se analizó la matriz de varianzas y covarianzas de los β y se realizaron las pruebas de *variance inflation factor* (VIF), junto con la prueba de índice de condición, que se calcula con los valores propios de la matriz de varianzas y covarianzas de los regresores. En las dos pruebas se obtuvo cierto grado de multicolinealidad.

$$\frac{E(P_t) - E(P_0)}{E(P_0)} = \frac{E(P_t)}{E(P_0)} - 1 \quad (14)$$

$$\frac{E(P_t) - E(P_0)}{E(P_0)} = \frac{e^{\mu_t + \frac{\sigma^2}{2}}}{e^{\mu_0 + \frac{\sigma^2}{2}}} - 1 \quad (15)$$

$$\frac{E(P_t) - E(P_0)}{E(P_0)} = e^{(\delta_t)} - 1 \quad (16)$$

Asumiendo *log*-normalidad se obtiene que $E[P_t] = e^{\mu_t + \frac{\sigma^2}{2}}$, donde μ_t es la media del logaritmo de P_t y σ^2 es su varianza, la cual se supone constante en el tiempo. Finalmente, si se expresa la media del logaritmo del precio de acuerdo con la especificación economé-

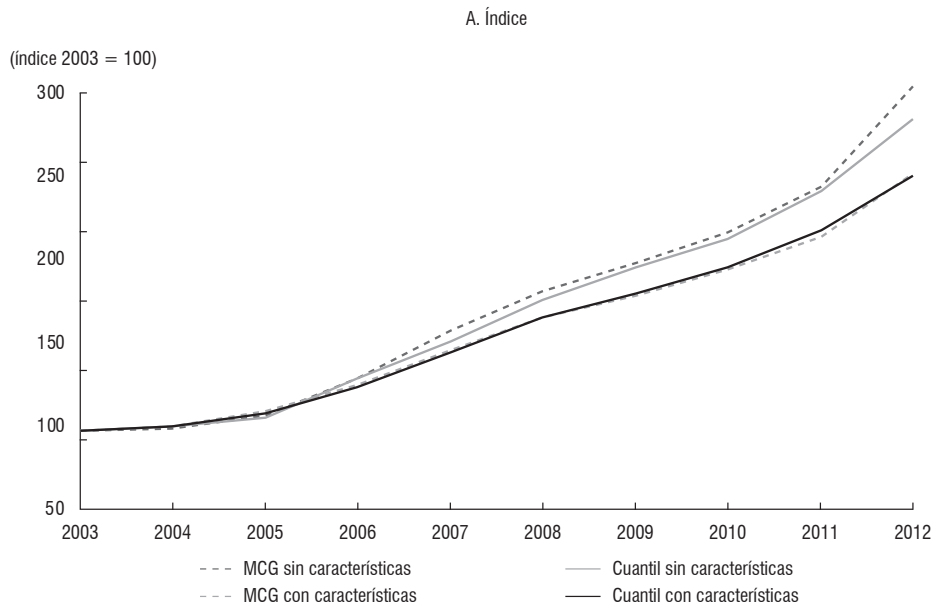
trica, se encuentra que el término $\frac{e^{\mu_t + \frac{\sigma^2}{2}}}{e^{\mu_0 + \frac{\sigma^2}{2}}} = e^{\mu_t + \mu_0}$ es igual a e^{δ_t} .

Al construir los índices de esta manera, se encuentra efectivamente que aquellos que incorporan cambios en características muestran menores crecimientos, lo que puede indicar que las variaciones en los precios calculados en la ecuación (7) se encuentran sobreestimados, al no aislar el efecto de los cambios en la calidad de los inmuebles. Cabe destacar que, a pesar de las diferencias en los niveles de los índices, estos muestran un ciclo similar, evidenciando robustez en las estimaciones (Gráfico 5).

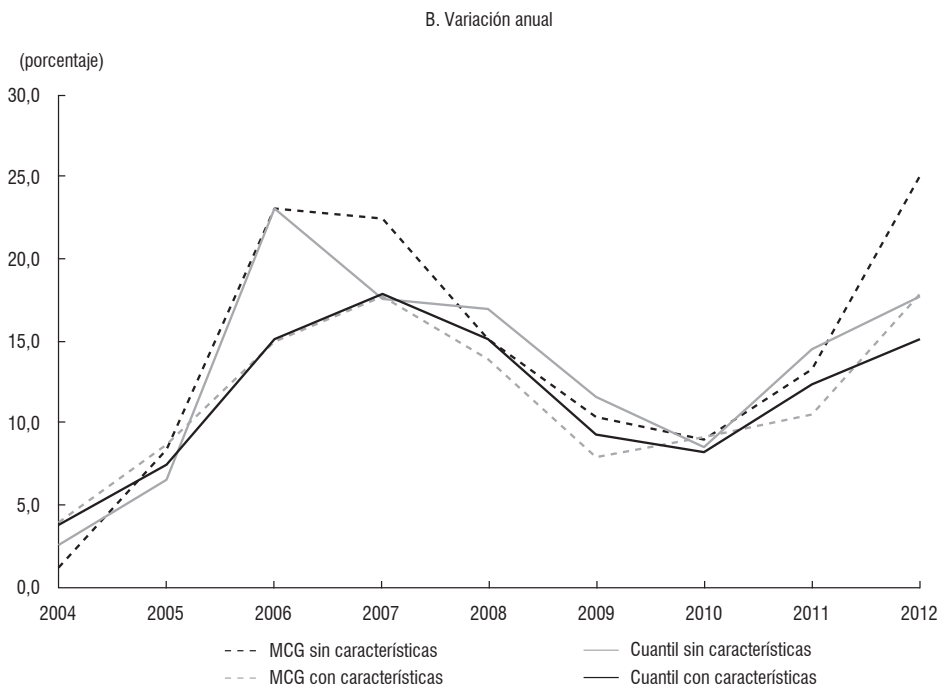
En un segundo ejercicio se estimaron las regresiones controlando por efectos fijos y, además, se incluyeron algunas variables observables que varían entre proyectos. Al estimar las regresiones con y sin dichas características observables, los resultados obtenidos son similares, mostrando que las variables capturadas en el efecto fijo recogen la mayor parte del cambio en el precio. De nuevo, se encontró que los coeficientes asociados con las *dummies* de tiempo son positivos y crecientes, indicando un aumento sostenido en los precios en el tiempo. Este comportamiento podría estar relacionado con las restricciones de oferta, al tiempo que existe una demanda dinámica relacionada con el déficit habitacional de la ciudad, especialmente para los estratos bajos.

Al calcular los índices de precios para el ejercicio con efectos fijos aditivos, se encontró que utilizando ambos métodos de estimación (MCG y regresión por cuantiles), los resultados son similares (Gráfico 6). En general, se observa que los indicadores que controlan por efectos fijos aditivos resultan inferiores a los que no tienen en cuenta dichos efectos, lo que indica que existen características comunes a los inmuebles de un proyecto que influyen en su precio y que no eran parte de las variables inicialmente observadas. Al incluir efectos multiplicativos, se encuentra que el índice estimado es muy similar al que se obtuvo con el modelo que solo incorpora efectos aditivos.

Gráfico 5
Índices de precios de la vivienda nueva sin efectos fijos

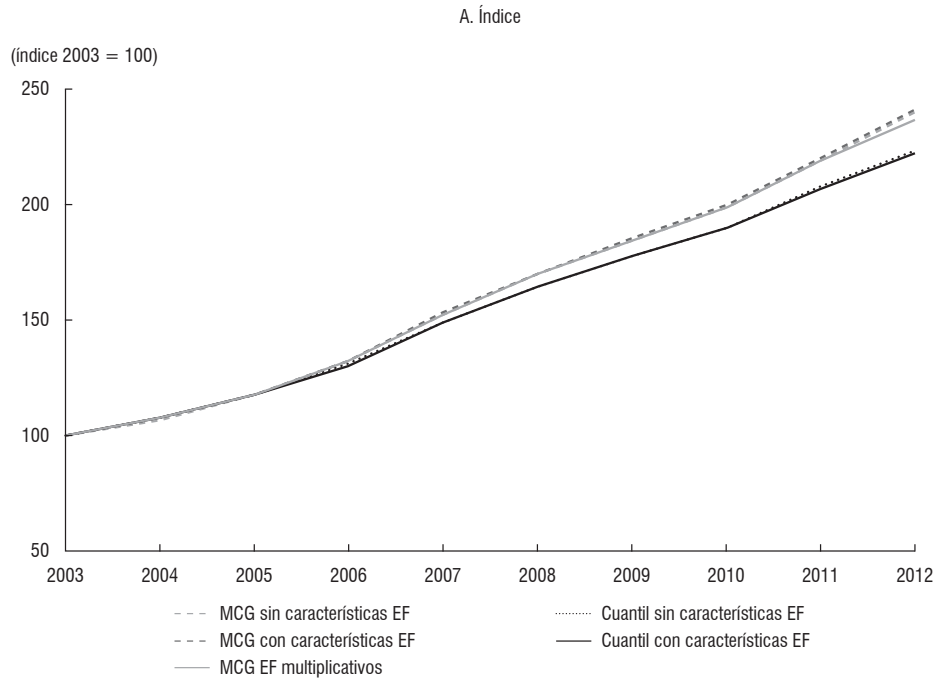


Fuente: La Galería Inmobiliaria; cálculos de los autores.

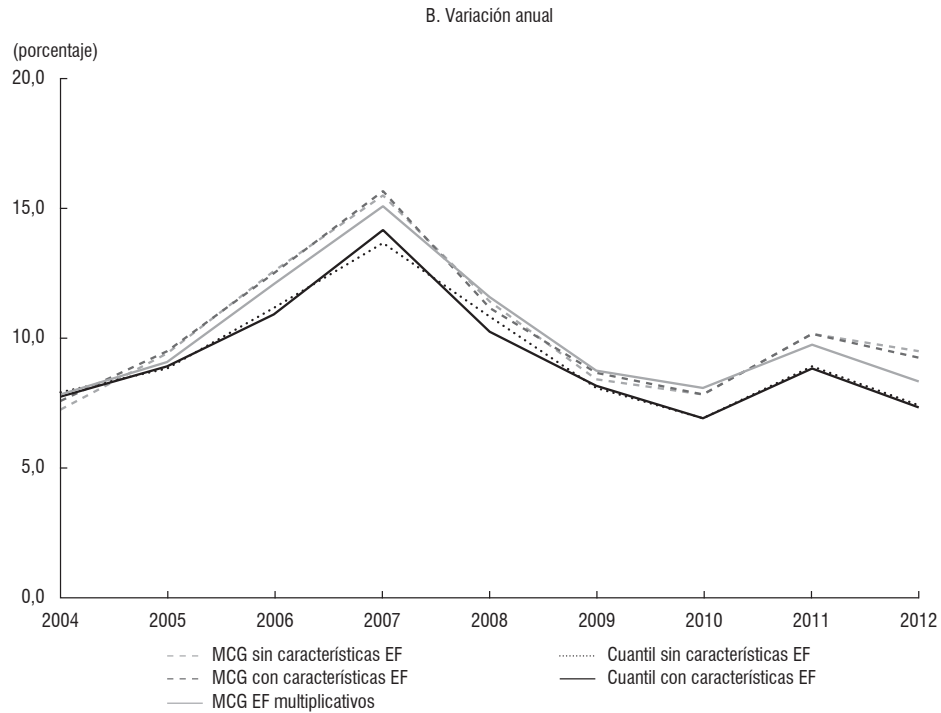


Fuente: La Galería Inmobiliaria; cálculos de los autores.

Gráfico 6
Índices de precios de la vivienda nueva con efectos fijos

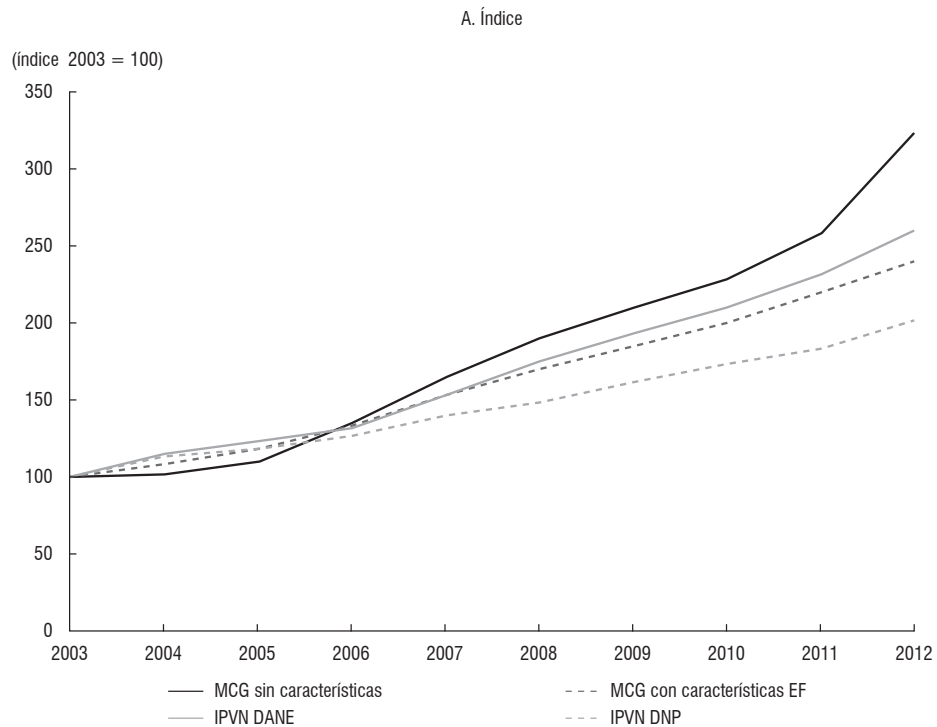


Fuente: La Galería Inmobiliaria; cálculos de los autores.

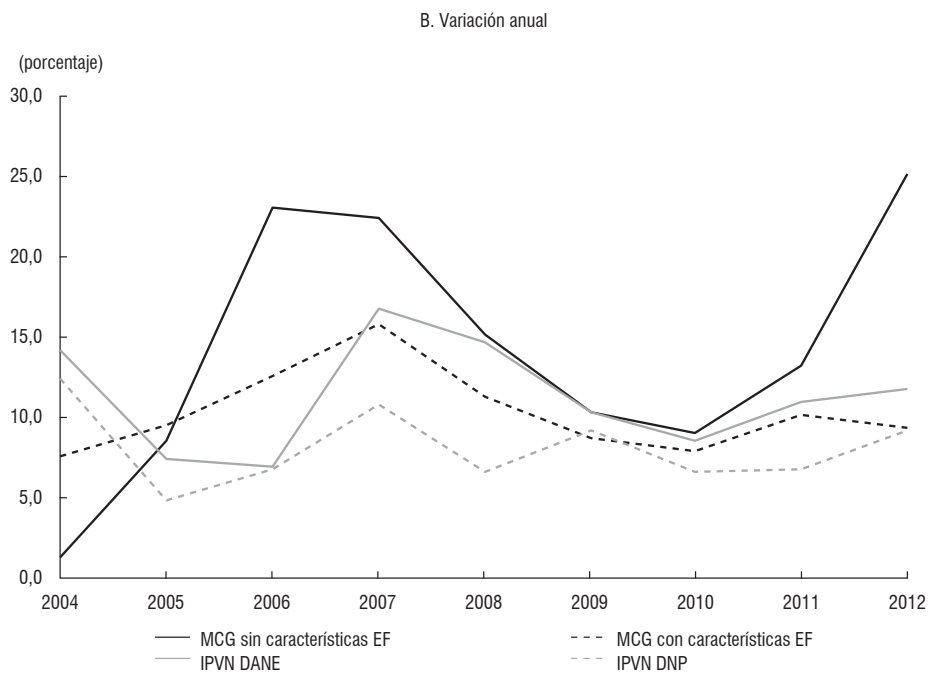


Fuente: La Galería Inmobiliaria; cálculos de los autores.

Gráfico 7
Comparación de los índices de precios de la vivienda nueva



Fuente: La Galería Inmobiliaria; cálculos de los autores.



Fuente: La Galería Inmobiliaria; cálculos de los autores.

Cuando se analizan los índices construidos por medio de la metodología de precios hedónicos con los índices de precios de vivienda nueva y usada existentes para Bogotá (DNP, DANE y Banco de la República), se resalta que todos los indicadores presentan una tendencia similar, aunque se encuentran diferencias entre los niveles, siendo el más alto aquel que no controla por efectos fijos ni características, y el más bajo el que calcula el DNP (Gráfico 7). En general, los indicadores exhiben tasas altas de crecimiento para el año 2007, una desaceleración entre 2008 y 2010, seguida por una mayor dinámica para 2011 y 2012. En particular, durante 2012 el índice obtenido, controlando por características y efectos fijos, presentó un crecimiento de 9,3%, cifra inferior a la registrada por los otros índices (11,8% de acuerdo con el índice del DANE, y 15,3% según el IPVU), con excepción del construido por el DNP (9,2%). Es importante mencionar que los indicadores difieren en la base de datos utilizada y en su metodología, y que el único que controla por cambios en la calidad es el calculado en este trabajo.

Al comparar los índices estimados (MCG sin características y MCG con efectos fijos y características), se puede observar que el primero ha sido superior al segundo en los últimos años. En particular, durante 2012 el índice que no controla por características tuvo un aumento importante, mientras que el que sí lo hace mostró una leve desaceleración; esto podría implicar que en este período hubo un incremento en la calidad de los inmuebles que llevó a un aumento del primer índice.

Adicional a los anteriores ejercicios, se construyeron índices de precios para los estratos 2 a 6, utilizando la especificación que solo incluye *dummies* de tiempo, así como la que controla por efectos fijos aditivos. Las estimaciones se hicieron empleando MCG y regresiones por cuantiles en la mediana (Gráfico 8).

Para los estratos 2 a 5 los índices de precios obtenidos de las estimaciones incluyendo efectos fijos son inferiores a los que no controlan por características, mostrando que los cambios en calidad de estos inmuebles han tenido efectos positivos en los precios de venta. Adicionalmente, los índices resultantes de las estimaciones para cada especificación, realizados utilizando MCG y regresión por cuantiles, son similares.

Finalmente, para el estrato 6 se encontró que, con los diferentes métodos de estimación (MCG y regresión por cuantiles), los índices obtenidos difieren entre sí, evidenciando que podría existir heterogeneidad en este segmento²⁰. Asimismo, en este estrato se encuentra que, mediante estimaciones por MCG, el índice que controla por calidad es superior al que no lo hace, mientras que utilizando regresión por cuantiles en la media, ocurre lo contrario. Lo anterior podría explicarse por la heterogeneidad presente en este segmento y, además, porque posiblemente existen características que no están recogidas en los efectos fijos, con lo cual se explique la variación en precios²¹.

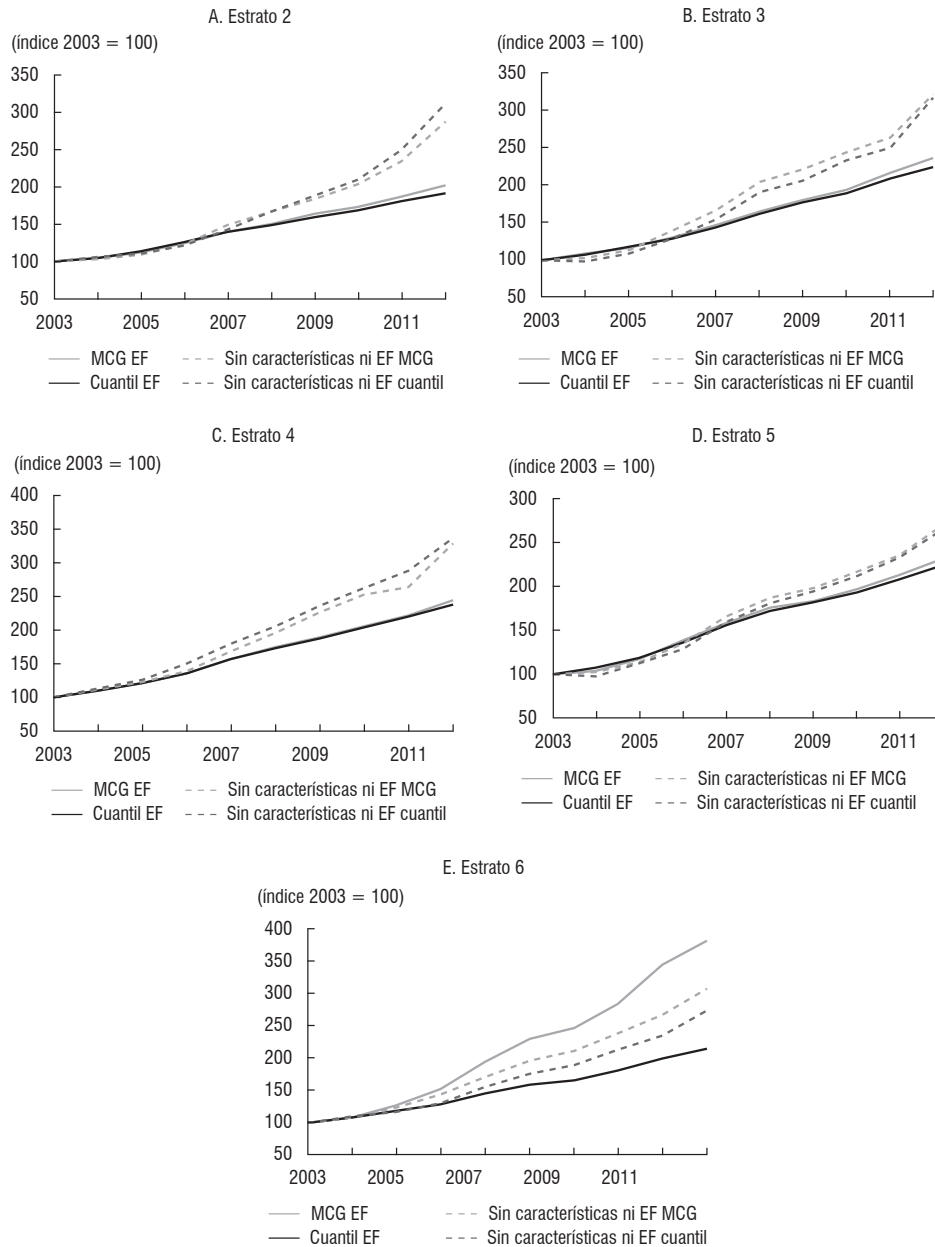
Para modelar más a fondo el comportamiento del estrato 6, sería necesario incluir características diferentes a las que contiene nuestra base, buscando lograr una mejor

20 Mientras que la regresión MCG busca aproximar el comportamiento medio, la regresión por cuantiles modela los datos medianos.

21 Por ejemplo, se podrían encontrar grandes diferencias en la calidad de los materiales de las características de los inmuebles, así como la preferencia por ciertos atributos de lujo que posiblemente no están siendo consideradas dentro del modelo.

especificación, así como emplear otros métodos de estimación no paramétricos que se ajusten mejor al comportamiento de los datos.

Gráfico 8
Índices de precios de la vivienda nueva por estratos



Fuente: La Galería Inmobiliaria; cálculos de los autores.

6. CONCLUSIONES

En este trabajo se utilizó la metodología de precios hedónicos para estimar la variación de los precios de la vivienda nueva para Bogotá entre 2003 y 2012, descontando el efecto del cambio en la calidad de los inmuebles. Para las estimaciones se empleó información de características observables y también se realizaron especificaciones incluyendo efectos fijos por proyecto inmobiliario.

Al comparar los índices calculados con los ya existentes para Colombia, se encontró que estos tienen tendencias y ciclos similares, aunque aquellos construidos controlando por características son inferiores. Lo anterior muestra que efectivamente hay cambios en la calidad de los inmuebles que deben ser considerados para hacer un análisis más preciso de la evolución de los precios de la vivienda. Estos resultados se mantienen cuando se hace un análisis detallado por estrato socioeconómico, a excepción del estrato 6, donde ocurre lo contrario, evidenciando la heterogeneidad de este segmento.

Por otro lado, el análisis de los datos evidencia algunos cambios importantes en las características de los inmuebles durante el período analizado. En primer lugar, se aprecia una sustitución de casas por apartamentos, que podría estar explicada por las restricciones de tierra en Bogotá, lo que ha llevado a los constructores a desarrollar principalmente proyectos de vivienda vertical. Esto se ha visto acompañado de una reducción en el área promedio de los inmuebles, la cual difiere significativamente entre estratos. Con respecto a las características de las viviendas, se observa que el número de garajes, y la disponibilidad de ciertos atributos, como depósito, chimenea, ascensor, planta eléctrica y salón comunal, han aumentado en el tiempo.

Finalmente, es importante mencionar que este trabajo es una primera aproximación para el cálculo de índices de precios de la vivienda nueva, utilizando la metodología de precios hedónicos en Colombia, por lo que hay que seguir avanzando en el mejoramiento de las metodologías; por ejemplo, mediante la implementación del método de imputación o incorporando elementos de econometría espacial. Además, se pueden incluir ejercicios para otras ciudades del país con el fin de obtener una visión nacional del comportamiento del sector.

REFERENCIAS

- Antweiler, W. (2001). "Nested Random Effects Estimation in Unbalanced Panel Data", *Journal of Econometrics*, vol. 101, issue 2, pp. 295-313.
- Arbeláez, M.; Steiner, R.; Becerra, A.; Wills, D. (2011). "Housing Tenure and Housing Demand in Colombia", working paper, núm. 259, Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
- Australian Bureau of Statistics (ABS) (2005). "Renovating the Established House Price Index", Information Paper, núm. 6417.0.
- Bailey, M.; Muth, R.; Nourse, H. (1969). "A Regression Method for Real Estate Price Index Construction", *Journal of the American Statistical Association*, vol. 58, núm. 304, pp. 933-942.

- Baltagi, B. H.; Bresson, G.; Etienne, J.M, (2013). “Hedonic Housing Prices in Paris: An Unbalanced Spatial Lag Pseudo-Panel Model with Nested Random Effects”, working paper series, núm. 163, Center for Policy Research.
- Baltagi, B. H.; Bresson, G. (2010). “Maximun Likelihood Estimation and Lagrange Multiplier Tests for Panel Seemingly Unrelated Regressions with Spatial Lag and Spatial Errors: An application to hedonic housing prices in Paris”, discussion paper series, núm. 5227, Institute for the Study of Labor.
- Bourassa, S. C.; Hoesli, M.; Sun, J. (2006). “A Simple Alternative House Price Index Method”, *Journal of Housing Economics*, núm. 15, 80-97.
- Bover, O.; Velilla, P. (2002), Hedonic House Prices without Characteristics: The Case of New Multiunit Housing, working paper, núm. 117, European Central Bank.
- Cameron, A.; Trivedi, P. (2005), *Microeconometrics: Methods and Applications*, Cambridge University Press.
- Cameron, A.; Trivedi, P. (2010). *Microeconometrics Using Stata*, College Station, Texas: Stata Press.
- Carriazo, F.; Ready, R.; Shortle, J. (2011). “Using Frontier Models to Mitigate Omitted Variable Bias in Hedonic Pricing Models: a Case Study for Air Quality in Bogotá, Colombia”, Documentos CEDE, núm. 111, Universidad de los Andes.
- Case, B.; Quigley, J. M. (1987). “The Dynamics of Real Estate Prices”, *Review of Economics and Statistics*, núm. 22, pp. 50-58.
- Case, K.; Shiller, R. (1987). “Prices of Single-family Homes since 1970: New Indexes for Four Cities”, *New England Economic Review*, pp. 45-56.
- Chinloy, P.; Cho, M.; Megbolugbe, I. F. (1997). “Appraisals, Transactions Incentives and Smoothing”, *Journal of Real Estate Finance and Economics*, vol. 14, núm. 1, pp. 45-55.
- Court, A. (1939). “Hedonic Price Indexes with Automotive Examples”, *The Dynamics of Automobile Demand*, General Motors, New York, pp. 98.
- Crone, T. M.; Voith, R. P. (1992). “Estimating House Price Appreciation: A Comparison of Methods”, *Journal of Housing Economics*, vol. 2, n.º 4, pp. 324-338.
- Diewert, E.; Heravi, S.; Silver, M. (2007). “Hedonic Imputation versus Time Dummy Hedonic Indexes”, working paper, núm. 234, International Monetary Fund.
- Escobar, J.; Huertas, C.; Mora, D.; Romero, J. (2005). “Índice de precios de la vivienda usada en Colombia”, Borrador de Economía, núm. 368, Banco de la República.
- Eurostat (2013). *Handbook on Residential Property Price Indices (RPPI)*, Methodologies and Working Papers, OECD, Luxemburgo.
- Gao, A.; Wang, G. (2007). “Multiple Transactions Model: A Panel Data Approach to Estimate Housing Market Indices”, *Journal of Real Estate Research*, vol. 29, issue 3, pp. 241-266.
- Gatzlaff, D. H.; Ling, D. C. (1994). “Measuring Changes in local House Prices: An Empirical Investigation of Alternative Methodologies”, *Journal of Urban Economics*, núm. 35, pp. 221-244.
- Goodhart, C.; Hofmann, B. (2007). *Financial Conditions Indices, in ‘House Prices and the Macroeconomy: Implications for Banking and Price Stability*, Oxford: Oxford University Press.

- Griliches, Z. (1961). *Hedonic Price Indexes for Automobiles: An Econometric Analysis of Quality Change*, Technical report, The Price Statistics of the Federal Government.
- Gujarati, D. (2004). *Econometría*, New York: Mc Graw Hill.
- Hansen, J. (2006). Australian House Prices: A Comparison of Hedonic and Repeat-Sales Measures, Research Discussion Paper, núm. 03, Reserve Bank of Australia.
- Hill, R. (2004). Constructing Price Indexes across Countries and Time: The Case of the European Union, *American Economic Review*, núm. 94, pp. 1379-1410.
- Hill, R. (2011), "Hedonic Price Indexes for Housing", Statistics Working Papers, núm. 36, OECD.
- Hofmann, B. (2001), "The Determinants of Private Sector Credit in Industrialized Countries: Do Property Prices Matter?", working papers, núm. 108, BIS.
- Idrovo, B.; Lennon, J. (2011), "Índice de precios de viviendas nuevas para el Gran Santiago", working paper, núm. 65, Cámara Chilena de la Construcción.
- Judge, G.; Griffiths, W. E.; Carter Hill, R.; Lütkepohl, H.; Lee, T. C. (1985). *The Theory and Practice of Econometrics* (segunda edición), New Jersey: Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics.
- Jansen, S.; De Vries, P.; Coolen, H.; Lamain C.; Boelhouwer, P. (2006). "Developing a House Price Index for the Netherlands: A Practical Application of Weighted Repeat Sales", presentado en el ENHR Housing Economics Workshop, 16-17 febrero, Copenhagen.
- Knight, J. R.; Dombrow, J.; Sirmans, C. F. (1995). "A Varying Parameters Approach to Constructing House Price Indexes", *Real Estate Economics*, vol. 23, núm. 2, pp. 187-205.
- Morales, L.; Arias, F. (2005). "La calidad de la vivienda en Bogotá: enfoque de precios hedónicos de hogares y de agregados espaciales", *Sociedad y Economía*, núm. 9, pp. 47-80.
- Quigley, J. (1995). "A simple Hybrid Model for Estimating Real Estate Price Indexes", *Journal of Housing Economics*, vol. 4, pp. 1-12.
- Rauch, J. (1992). "Productive Gains from Geographic Concentration of Human Capital: Evidence from the Cities", *Journal of Urban Economics*, vol. 34, issue 3, pp. 380-400.
- Revollo, D. (2009). "Calidad de la vivienda a partir de la metodología de precios hedónicos para la ciudad de Bogotá-Colombia", *Revista Digital Universitaria*, vol. 10, núm. 7, pp. 2-16.
- Rosen, S. (1974). "Hedonic Prices and Implicit Markets: Product Differentiation in Pure Competition", *Journal of Political Economy*, vol. 82, núm. 1, pp. 34-55.
- Rossini, P.; Kershaw, P. (2006). "Developing a Weekly Residential Price Index Using the Sale Price Appraisal Ratio", presentado en la Twelfth Annual Pacific Rim Real Estate Society Conference, Auckland, 22-25 de enero.
- Santana, L.; Núñez, L. (2011). "Una aproximación hedónica al efecto de las preferencias por segregación en el precio del suelo urbano en Bogotá", *Equidad y Desarrollo*, núm. 16, pp. 139-162.
- Syz, J. (2008). *Property Derivatives: Pricing, Hedging and Applications*, New Jersey: John Wiley and Sons Inc.

- Triplett, J. E. (2004). “Handbook on Hedonic Indexes and Quality Adjustments in Price Indexes: Special Application to Information Technology Products”, STI working paper, núm. 2004/9, OECD, Science Technology and Industry.
- Wallace, N. (1996). “Hedonic-based Price Indexes for Housing: Theory, Estimation, and Index Construction”, *Economic Review*, núm. 3, pp. 34-48.
- Wang, Y.; Ran, R.; Deng, G. (2012). “Neighborhood Quality and Housing Value: Evidence from Urban Micro Data”, *Journal of Management and Sustainability*, vol. 2, núm. 1.

ANEXO 1

DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES INCLUIDAS EN LOS MODELOS

Cuadro A1.1

Descripción de las características de las viviendas incluidas en las especificaciones econométricas

| Variable | Descripción |
|---------------------------|---|
| Área | Número de metros cuadrados del inmueble |
| Estrato socioeconómico | Estrato socioeconómico en el que se ubica el inmueble (2, 3, 4, 5, 6) |
| Barrio | Barrio en el que se ubica el inmueble |
| Número de habitaciones | Número de habitaciones que tiene el inmueble |
| Número de baños | Número de baños que tiene el inmueble |
| Número de garajes | Número de garajes que tiene el inmueble |
| Piso | Número del piso en el que está ubicado el inmueble |
| Depósito | <i>Dummy</i> que toma el valor de 1 si el inmueble tiene depósito, 0 en caso contrario |
| Cuarto o baño de servicio | <i>Dummy</i> que toma el valor de 1 si el inmueble tiene cuarto o baño de servicio, 0 en caso contrario |
| Estudio | <i>Dummy</i> que toma el valor de 1 si el inmueble tiene estudio, 0 en caso contrario |
| Estufa a gas | <i>Dummy</i> que toma el valor de 1 si el inmueble tiene estufa a gas, 0 en caso contrario |
| Horno a gas | <i>Dummy</i> que toma el valor de 1 si el inmueble tiene horno a gas, 0 en caso contrario |
| Cocina integral | <i>Dummy</i> que toma el valor de 1 si el inmueble tiene cocina integral, 0 en caso contrario |
| Extractor | <i>Dummy</i> que toma el valor de 1 si el inmueble tiene extractor, 0 en caso contrario |
| Instalación de secadora | <i>Dummy</i> que toma el valor de 1 si el inmueble tiene instalación para secadora, 0 en caso contrario |
| Calentador a gas | <i>Dummy</i> que toma el valor de 1 si el inmueble tiene calentador a gas, 0 en caso contrario |
| Chimenea | <i>Dummy</i> que toma el valor de 1 si el inmueble tiene chimenea, 0 en caso contrario |
| Tina | <i>Dummy</i> que toma el valor de 1 si el inmueble tiene tina, 0 en caso contrario |
| Parque infantil | <i>Dummy</i> que toma el valor de 1 si el inmueble cuenta con acceso a parque infantil, 0 en caso contrario |
| Cancha o gimnasio | <i>Dummy</i> que toma el valor de 1 si el inmueble cuenta con acceso a cancha o gimnasio, 0 en caso contrario |
| Planta eléctrica | <i>Dummy</i> que toma el valor de 1 si el inmueble cuenta con planta eléctrica, 0 en caso contrario |
| Contenedor de basuras | <i>Dummy</i> que toma el valor de 1 si el inmueble cuenta con acceso a contenedor de basuras, 0 en caso contrario |
| Sauna | <i>Dummy</i> que toma el valor de 1 si el inmueble cuenta con acceso a sauna, 0 en caso contrario |
| Ascensor | <i>Dummy</i> que toma el valor de 1 si el inmueble cuenta con acceso a ascensor, 0 en caso contrario |
| Tanque de agua | <i>Dummy</i> que toma el valor de 1 si el inmueble cuenta con acceso a tanque de agua, 0 en caso contrario |

Fuente: cálculos de los autores.

Cuadro A1.2
Modelo sin efectos fijos no ajustado por calidad

| | MCG | Cuantiles |
|-----------|------------------------------|------------------------|
| | | lnp |
| constante | 9,938*** (1289,5) | 9,448*** (1.193,14) |
| lna | 1,821*** (1.020,38) | 1,936*** (1.169,32) |
| t2 | 0,115*** (41,06) | 0,143*** (32,2) |
| t3 | 0,127*** (42,57) | 0,169*** (32,47) |
| t4 | 0,208*** (74,54) | 0,232*** (49,76) |
| t5 | 0,415*** (162,83) | 0,439*** (111,48) |
| t6 | 0,617*** (239,08) | 0,601*** (129,99) |
| t7 | 0,758*** (263,13) | 0,758*** (193,18) |
| t8 | 0,856*** (311,23) | 0,868*** (219,96) |
| t9 | 0,942*** (335,71) | 0,950*** (265,02) |
| t10 | 1,066*** (363,4) | 1,085*** (311,31) |
| t11 | 1,290*** (430,43) | 1,248*** (255,23) |
| t12 | 1,382*** (278,51) | 1,336*** (176,34) |
| N | 432.932 | 432.932 |
| R-sq | 0,803 | |
| adj. R-sq | 0,803 | |
| ps. R-sq | | 0,5948 |
| | Estadísticos t en paréntesis | |
| *p < 0,05 | **p < 0,01 | ***p < 0,001 |

Fuente: cálculos de los autores.

Cuadro A1.3
Modelos sin efectos fijos ajustado por calidad

| | MCG | Cuantiles | | MCG | Cuantiles | | MCG | Cuantiles |
|-----------|-----------------------|-----------|--------------------|----------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|----------------------|
| | lnp | | | lnp | | | lnp | |
| constante | 13,71*** (1843,2) | 13,69*** | est 3 | 0,256*** (264,41) | 0,241*** (179,03) | contenedor | 0,0405*** (37,5) | 0,076*** (35,45) |
| t2 | 0,00290*** (18,47) | 0,0334*** | est 4 | 0,435*** (285,57) | 0,397*** (230,23) | tanque agua | 0,04919*** (43,24) | 0,0547*** (46,37) |
| t3 | 0,0682*** (40,91) | 0,0711*** | est 5 | 0,590*** (265,22) | 0,541*** (228,94) | horno gas | 0,0231*** (22,41) | 0,0101*** (9,22) |
| t4 | 0,152*** (105,43) | 0,143*** | est 6 | 0,872*** (281,44) | 0,836*** (276,01) | tina | 0,0452*** (23,68) | 0,0466*** (21,48) |
| t5 | 0,291*** (222,09) | 0,283*** | núm. baños | 0,0918*** (94,41) | 0,0947*** (98,81) | cb. de serv. | 0,0334*** (15,73) | 0,0155*** (7,23) |
| t6 | 0,454*** (339,42) | 0,447*** | estufa gas | 0,108*** (65,36) | 0,0726*** (51,29) | estudio | 0,00351*** (4,1) | 0,0190*** (15,41) |
| t7 | 0,584*** (386,91) | 0,587*** | depósito | 0,582*** (61,36) | 0,0666*** (59,76) | núm. garajes | 0,0317*** (67,55) | 0,025*** (40,89) |
| t8 | 0,660*** (440,3) | 0,676*** | canchas / gimm. | 0,0259*** (28,66) | 0,0100*** (9,82) | piso | 0,00432*** (41,47) | 0,00385*** (31,5) |
| t9 | 0,747*** (484,14) | 0,755*** | ascensor | 0,166*** (151,33) | 0,0135*** (80,81) | extractor | 0,118*** (77,8) | 0,143*** (97,51) |
| t10 | 0,847*** (482,01) | 0,871*** | planta elect. | 0,0461*** (46,9) | 0,0659*** (47,28) | inst. sec. | 0,0442*** (34,27) | 0,0710*** (54,46) |
| t11 | 1,011*** (614,16) | 1,012*** | chimenea | 0,0278*** (21,73) | 0,00973*** (9,14) | calentador gas | 0,0268*** (23,1) | 0,0410*** (28,02) |
| t12 | 1,083*** (431,46) | 1,065*** | cocina int. | 0,0206*** (29,99) | 0,0335*** (37,17) | lna | 0,763*** (383,24) | 0,772*** (336,42) |
| N | 432.932 | 432.932 | | | | | | |
| R-sq | 0,952 | | | | | | | |
| adj. R-sq | 0,952 | | | | | | | |
| ps. R-sq | | 0,8097 | | | | | | |

Estadísticos t en paréntesis
 *p < 0,05 **p < 0,01 ***p < 0,001

Fuente: cálculos de los autores.

Cuadro A1.4
Modelo con efectos fijos aditivos sin ajustar por características específicas de los proyectos

| | MCG | Cuantiles |
|-----------|------------------------------|----------------------|
| | | lnp |
| lna | 0,839*** (399,53) | 0,906*** (50,57) |
| t2 | 0,0756*** (67,21) | 0,0867*** (64,32) |
| t3 | 0,146*** (100,03) | 0,163*** (15,27) |
| t4 | 0,236*** (134,23) | 0,248*** (43,89) |
| t5 | 0,355*** (172,53) | 0,354*** (15,72) |
| t6 | 0,499*** (184,44) | 0,482*** (18,13) |
| t7 | 0,607*** (191,5) | 0,585*** (22,05) |
| t8 | 0,688*** (195,35) | 0,663*** (27,52) |
| t9 | 0,764*** (192,64) | 0,730*** (22,52) |
| t10 | 0,861*** (182,32) | 0,816*** (35,65) |
| t11 | 0,952*** (190,57) | 0,888*** (31,89) |
| t12 | 0,996*** (195,24) | 0,922*** (23,62) |
| N | 327.103 | 327.103 |
| R-sq | 0,748 | |
| adj. R-sq | 0,748 | |
| | Estadísticos t en paréntesis | |
| | *p < 0,05 | ***p < 0,001 |

Fuente: cálculos de los autores.

Cuadro A1.5

Modelo con efectos fijos aditivos

| | MCG | Cuantiles | | MCG | Cuantiles |
|------------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------|-----------------------|-----------------------|
| | lnp | | | lnp | |
| ln_a | 0,751 *** (301,37) | 0,836 *** (508,84) | núm. baños | 0,0450 *** (39,93) | 0,0374 *** (43,95) |
| t2 | 0,075 *** (68,1) | 0,0902 *** (94,18) | cb. de serv. | 0,0290 *** (12,7) | 0,0205 *** (13,00) |
| t3 | 0,148 *** (103,22) | 0,165 *** (165,7) | estudio | 0,0396 *** (43,41) | 0,0277 *** (36,86) |
| t4 | 0,239 *** (138,52) | 0,251 *** (264,37) | piso | (0,000321 (-1,86) | 0,00018 (1,51) |
| t5 | 0,357 *** (175,26) | 0,355 *** (301,53) | depósito | 0,0203 *** (11,88) | 0,0107 *** (9,33) |
| t6 | 0,503 *** (187,52) | 0,488 *** (406,54) | | | |
| t7 | 0,609 *** (193,77) | 0,586 *** (376,25) | | | |
| t8 | 0,692 *** (197,9) | 0,665 *** (411,8) | | | |
| t9 | 0,768 *** (194,91) | 0,732 *** (424,3) | | | |
| t10 | 0,865 *** (183,87) | 0,817 *** (429,66) | | | |
| t11 | 0,954 *** (191,46) | 0,888 *** (427,33) | | | |
| t12 | 0,999 *** (196,32) | 0,923 *** (370,96) | | | |
| N | 327.103 | 327.103 | | | |
| R-sq | 0,755 | | | | |
| adj. R-sq | 0,755 | | | | |
| Estadísticos t en paréntesis | | | | | |
| | *p < 0,05 | **p < 0,01 | ***p < 0,001 | | |

Fuente: cálculos de los autores.

Cuadro A1.6
Modelos fijos aditivos y multiplicativos

| | MCG | |
|-------------------------------------|------------------------|---------------------|
| | lnp | |
| <i>t</i> 2 | 0,0840 *** (80,39) | |
| <i>t</i> 3 | 0,160 *** (120,88) | |
| <i>t</i> 4 | 0,247 *** (149,49) | |
| <i>t</i> 5 | 0,361 *** (172,00) | |
| <i>t</i> 6 | 0,502 *** (180,61) | |
| <i>t</i> 7 | 0,611 *** (186,61) | |
| <i>t</i> 8 | 0,6960 *** (189,77) | |
| <i>t</i> 9 | 0,773 *** (186,23) | |
| <i>t</i> 10 | 0,867 *** (174,79) | |
| <i>t</i> 11 | 0,947 *** (181,80) | |
| <i>t</i> 12 | 0,992 *** (187,11) | |
| <i>N</i> | 327.111 | |
| <i>R-sq</i> | 0,484 | |
| <i>adj. R-sq</i> | 0,484 | |
| Estadísticos <i>t</i> en paréntesis | | |
| <i>*p</i> < 0,05 | <i>**p</i> < 0,01 | <i>***p</i> < 0,001 |

Fuente: cálculos de los autores.

ANEXO 2

APÉNDICE ECONOMETRICO²²

1. MODELOS PANEL: EFECTOS FIJOS Y ALEATORIOS

En este anexo se detallarán las especificaciones econométricas empleadas en este documento. Se discutirá por qué fueron escogidas, y se presentarán los resultados de otras estimaciones que no fueron incluidas en el cuerpo del documento.

La base de datos con la que se cuenta para este proyecto es, en esencia, una serie de cortes transversales para cada momento del tiempo. En la base de datos podemos observar cada uno de los inmuebles nuevos vendidos en el período en el que fueron transados. En este sentido, la base de datos no es estrictamente un panel, pues cada inmueble se observa una única vez. A pesar de esto, se conoce cuáles son los inmuebles que pertenecen a cada proyecto inmobiliario y se sabe que, de alguna forma, estos representan “individuos” similares. Las estimaciones buscan explotar esta característica de la base: así se puede seguir individuos similares a lo largo del tiempo y en este sentido podemos capturar variaciones temporales y entre individuos.

Dentro del universo de los modelos de datos panel, el modelo más general puede escribirse de la siguiente manera:

$$y_{it} = \alpha_{it} + \sum_{k=1}^K \beta_{kit} x_{kit} + \epsilon_{it}, \quad (A1)$$

donde el subíndice i identifica a los individuos y el subíndice t recorre el tiempo. En la forma más general, expresada en la ecuación (A1), el intercepto α_{it} varía en el tiempo y entre individuos al igual que lo hacen las pendientes asociadas con cada una de las variables explicativas (β_{kit}). Sin embargo, en la mayoría de los casos se supondrá que estos parámetros no varían en todas las dimensiones, en particular, los modelos pueden clasificarse de acuerdo con los supuestos; en cuanto a estas variaciones, y la forma como sean estimadas, también estará determinada por esto.

Siguiendo a Judge *et al.* (1985), los modelos pueden clasificarse de la siguiente manera:

1. Todos los coeficientes, de intercepto y pendiente, son constantes en el tiempo y entre individuos.
2. Los coeficientes de pendiente son constantes y los interceptos varían entre individuos.
3. Los coeficientes de pendiente son constantes y los interceptos varían entre individuos y en el tiempo.
4. Todos los coeficientes varían entre individuos.
5. Todos los coeficientes varían entre individuos y en el tiempo.

22 La estructura de este apéndice y algunas de las ecuaciones fueron tomadas de Judge *et al.* (1985, cap. 13).

En este escenario las especificaciones utilizadas en este artículo pueden ubicarse en los casos 1, 2 y 4. En las primeras regresiones, descritas por las ecuaciones (7) y (8), el intercepto es constante entre individuos y en el tiempo, y las pendientes, asociadas con cambios en área y otras características observables, también lo son.

Por su parte, en la especificación descrita por la ecuación (9) se estima una regresión que incluye, además, efectos fijos por proyecto inmobiliario. En este caso, los interceptos varían entre proyectos, mientras que las pendientes asociadas con características observables son constantes entre individuos y en el tiempo. Estamos, entonces, ubicados en el caso 2.

Finalmente, en la especificación que se describe en la ecuación (11) contamos con interceptos que varían entre individuos, al igual que las pendientes asociadas con cambios en el área. En este sentido, estamos en el caso 4.

Para estimar la regresión asociada con el caso 2, especificación (9), es necesario determinar si se está en un caso de efectos fijos o aleatorios. Para esto se realizó la prueba de Hausman para las especificaciones sin características observables ni efectos fijos de proyecto. Se corroboró que los efectos individuales en este caso son efectos fijos. En el Cuadro A2.1 se muestran estos resultados: el valor de p confirma que se rechaza la hipótesis nula de que las estimaciones por efectos aleatorios muestran estimadores consistentes.

Cuadro A2.1

Prueba de Hausman de efectos fijos y aleatorios

| | |
|---------|---|
| b | = consistente bajo H_0 y H_a |
| B | = inconsistente bajo H_a , eficiente bajo H_0 |
| Prueba: | H_0 : la diferencia en los coeficientes no es sistemática |
| | $\chi^2(12) = (b - B)' [(V_b - V_B)^{-1}] (b - B)$ |
| | 2452,3 |
| | Prob > $\chi^2 = 0,0000$ |

Fuente: La Galería Inmobiliaria; cálculos de los autores.

Consistente con el resultado anterior, y siguiendo a Judge *et al.* (1985), el modelo descrito en la ecuación (9) fue estimado como uno de variable *dummy*. Para estimar los parámetros asociados con este modelo se utilizó el estimador *within*.

Finalmente, en el caso de la especificación (11) encontramos efectos fijos aditivos y multiplicativos, es decir, podemos situarnos en el caso 4. Siguiendo a Bover y Velilla (2002), estas ecuaciones se estiman mediante MCO, empleando la transformación que se discute en el documento. Realizar estas estimaciones mediante MCO asegura que los β estimados son consistentes (Cameron y Trivedi, 2010).

2. PRUEBA BOX-COX

Como se mencionó en la metodología, siguiendo un enfoque estándar, las estimaciones se realizaron tomando como variable dependiente el logaritmo natural del precio de cada inmueble.

En el Cuadro A2.2 se muestran los resultados de la prueba de Box-Cox realizada a este conjunto de datos para la especificación (7). Como puede verse en el cuadro, se rechaza la hipótesis nula de que el modelo tenga una forma logarítmica ($H_0:\theta = 0$) al igual que se rechaza que el modelo sea lineal ($H_0:\theta = 1$), esto comprueba que el mejor ajuste se da con un modelo intermedio. Dada la dificultad para interpretar los resultados en un modelo de este tipo, se tomó el modelo *log*-lineal como la mejor aproximación, puesto que el valor de $\hat{\theta}$ que maximiza la verosimilitud (-0,098), e inclusive los límites de su intervalo de confianza, son más cercanos a cero.

Cuadro A2.2
Prueba de Box-Cox

| | | | | | |
|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| Número de observaciones | 327.103 | | | | |
| LR $\chi^2(12)$ | 416.531 | | | | |
| Prob. > χ^2 | | | | | |
| Log verosimilitud | 296.851 | | | | |
| Precio | Coficiente | Error estándar | z | $P > z$ | [95% intervalo de confianza] |
| θ | -0,0976954 | 0,0024482 | -39,91 | 0 | -0,1953907 |
| Test H_0 : | Log verosimilitud restringido | LR estadístico χ^2 | P -value prob. > χ^2 | | |
| $\theta = -1$ | 254.064,22 | 85.573,02 | 0,000 | | |
| $\theta = 0$ | 295.998,48 | 1.704,49 | 0,000 | | |
| $\theta = 1$ | 83.860,09 | 4,30E+05 | 0,000 | | |

Fuente: La Galería Inmobiliaria; cálculos de los autores.

Finalmente, en el Cuadro A2.3 se presentan los resultados de esta prueba para la especificación (8). De nuevo, a pesar del que el test sugiere un modelo intermedio, utilizaremos la especificación logarítmica, dado que el sugiere una especificación más cercana a la *log*-lineal.

Cuadro A2.3
Prueba de Box-Cox

| | | | | | |
|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------|------------------------------|
| Número de observaciones | | 327.103 | | | |
| LR chi2(12) | | 433.474 | | | |
| Prob. > chi2 | | | | | |
| Log verosimilitud | 296.851 | | | | |
| Precio | Coficiente | Error estándar | z | P > z | [95% intervalo de confianza] |
| θ | -0,1300228 | 0,0024817 | -52,39 | 0 | -0,2600457 |
| Test H_0 : | Log verosimilitud restringido | LR estadístico χ^2 | P-value prob. > χ^2 | | |
| $\theta = -1$ | 265.317,12 | 80.010,18 | 0 | | |
| $\theta = 0$ | 303.824,05 | 2.996,31 | 0 | | |
| $\theta = 1$ | 84.892,48 | 4,40E+05 | 0 | | |

Fuente: La Galería Inmobiliaria; cálculos de los autores.

3. OTRAS ESPECIFICACIONES

Finalmente, en las especificaciones descritas en nuestro modelo se asume que el coeficiente que acompaña a cada una de las características observables es constante en el tiempo y entre individuos; es decir, el valor ϕ_k que hemos llamado el precio hedónico de la i -ésima característica no cambia en el tiempo y tampoco entre diferentes tipos de inmuebles, a pesar de que es razonable esperar que este precio varíe.

A continuación se analizan estos casos alternativos. La razón por la que no fueron incluidos en el cuerpo del texto es que el índice de precios resultante en estos casos no varía sustancialmente del que se calculó sin tener en cuenta estas variaciones.

Para tener en cuenta la fluctuación en el tiempo en los precios hedónicos asociados con las características, se incluyó un término de interacción entre cada una de los atributos y las *dummies* de tiempo de la siguiente forma:

$$p_{it} = \alpha_0 + \sum_{s=1}^T \delta_s d_{sit} + \beta a_{it} + \sum_k \phi_k c_{kit} + \sum_k \sum_{s=1}^T \gamma_{ks} c_{kis} d_{sit} + e_{it} \quad (t = 1, \dots, T)$$

Después de estimar esta ecuación hedónica, con y sin efectos fijos de proyecto inmobiliario, se obtuvieron los siguientes resultados.

Cuadro A2.4
Modelo con interacción entre características y dummies de tiempo sin efectos fijos

| | | | | | | | | | |
|------------|--------------------------|---------------|--------------------------|-----------------|--------------------------|------------|---------------------------|---------------|--------------------------|
| t2 | 0,0305251*** (17,78) | estufa_gas_8 | 0,0181542*** (3,46) | coc_integral_11 | 0,0734066*** (16,58) | estudio_4 | 0,0275398*** (6,48) | extractor_10 | 0,1885055*** (27,03) |
| t3 | 0,11641*** (19,35) | estufa_gas_9 | -0,0642649*** (-12,1) | coc_integral_12 | 0,0734385*** (8,6) | estudio_5 | 0,0172577*** (4,85) | extractor_11 | 0,2526131*** (40,62) |
| t4 | 0,1666301*** (29,38) | estufa_gas_10 | 0,1360846*** (14,23) | shut_basuras | 0,0560144*** (43,32) | estudio_6 | -0,02226981*** (-6,27) | extractor_12 | 0,1913088*** (18,51) |
| t5 | 0,2614609*** (55,04) | estufa_gas_11 | -0,0552597*** (-8,75) | tanque_agua | 0,0969381*** (86,1) | estudio_7 | -0,0317857*** (-8,38) | inst_secad | 0,0750275*** (19,02) |
| t6 | 0,4212272*** (89,73) | estufa_gas_12 | -0,0497189*** (-4,22) | horno_gas | 0,0024376 (0,75) | estudio_8 | 0,0176912*** (4,5) | inst_secad_3 | -0,0462355*** (-5,76) |
| t7 | 0,588068*** (108,33) | deposito | 0,1060706*** (34,42) | horno_gas_3 | -0,0265488*** (-4,25) | estudio_9 | -0,0326276*** (-8,01) | inst_secad_4 | 0,052214*** (7,4) |
| t8 | 0,666753*** (122,83) | deposito_3 | 0,0831984*** (13,05) | horno_gas_4 | -0,0062827 (-1,08) | estudio_10 | -0,013768*** (-3,01) | inst_secad_5 | 0,035092*** (6,1) |
| t9 | 0,687513*** (132,51) | deposito_4 | 0,0250494*** (4,65) | horno_gas_5 | 0,0173995*** (3,93) | estudio_11 | -0,0017124 (-0,43) | inst_secad_6 | 0,0580787*** (10,71) |
| t10 | 0,8172708*** (141,49) | deposito_5 | 0,0054901 (1,19) | horno_gas_6 | 0,0340133*** (7,52) | estudio_12 | -0,0437629*** (-7,09) | inst_secad_7 | 0,1108029*** (19,47) |
| t11 | 0,9991198*** (160,82) | deposito_6 | -0,0253761*** (-5,59) | horno_gas_7 | 0,0324437*** (6,81) | núm_gar | 0,0616846*** (41,11) | inst_secad_8 | 0,0619415*** (11,09) |
| t12 | 1,107941*** (93,92) | deposito_7 | -0,0002589 (-0,05) | horno_gas_8 | 0,089398*** (18,02) | núm_gar_3 | 0,0036435 (1,39) | inst_secad_9 | 0,0845152*** (-15,64) |
| logm | 0,8280862*** (354,3) | deposito_8 | -0,0132353*** (-2,88) | horno_gas_9 | 0,0281346*** (5,85) | núm_gar_4 | -0,0056267*** (-2,65) | inst_secad_10 | 0,0018875 (-0,32) |
| núm_bannio | 0,1867602*** (62,48) | deposito_9 | 0,0058366 (1,34) | horno_gas_10 | 0,0429744*** (7,93) | núm_gar_5 | 0,0400925*** (21,32) | inst_secad_11 | 0,0850035*** (-16,14) |

Cuadro A2.4 (Continuación)
Modelo con interacción entre características y dummies de tiempo sin efectos fijos

| | | | | | | | | | |
|--------------|---------------------------|------------------|--------------------------|--------------|--------------------------|-------------|---------------------------|---------------|---------------------------|
| núm_bañño_3 | -0,0951028*** (-18,24) | deposito_10 | 0,047261*** (10,71) | horno_gas_11 | -0,0053752 (-1,09) | núm_gar_6 | 0,03541*** (17,66) | inst_secad_12 | 0,1000037*** -11,9 |
| núm_bañño_4 | -0,0856191*** (-17,62) | deposito_11 | 0,0114626*** (2,41) | horno_gas_12 | 0,0617903*** (7,72) | núm_gar_7 | -0,0380059*** (-16,19) | cal_gas | 0,0681667*** -18,71 |
| núm_bañño_5 | -0,0760426*** (-18,52) | deposito_12 | -0,0182149*** (-2,24) | tinas | 0,098629*** (42,83) | núm_gar_8 | -0,0415429*** (-18,99) | cal_gas_3 | -0,0945292*** (-12,34) |
| núm_bañño_6 | -0,0718116*** (-17,86) | canchas_gimnasio | 0,0003913 (0,39) | c_b_serv | 0,0765913*** (12,06) | núm_gar_9 | 0,0289066*** (13,75) | cal_gas_4 | -0,1055056*** (-14,54) |
| núm_bañño_7 | -0,0752507*** (-17,89) | ascensor | 0,2512452*** (176,52) | c_b_serv_3 | 0,0086497 (0,77) | núm_gar_10 | 0,0298084*** (12,7) | cal_gas_5 | -0,0578858*** (-10,45) |
| núm_bañño_8 | -0,0811895*** (-20,19) | planta_elect | 0,0737203*** (64,38) | c_b_serv_4 | -0,0783152*** (-7,83) | núm_gar_11 | -0,0381959*** (-13,82) | cal_gas_6 | -0,0610756*** (-11,37) |
| núm_bañño_9 | -0,0895292*** (-23,06) | chimeneas | 0,0574409*** (40,55) | c_b_serv_5 | -0,0204555*** (-2,42) | núm_gar_12 | -0,0947332*** (-15,07) | cal_gas_7 | -0,0763246*** (-13,81) |
| núm_bañño_10 | -0,1199737*** (-25,33) | coc_integral | -0,0101587*** (-6,65) | c_b_serv_6 | -0,0471571*** (-5,35) | piso | 0,0015725*** (13,21) | cal_gas_8 | -0,1059648*** (-19,03) |
| núm_bañño_11 | -0,0440236*** (-10,53) | coc_integral_3 | 0,0296805*** (8,08) | c_b_serv_7 | -0,0321815*** (-3,4) | extractor | 0,066344*** (16,81) | cal_gas_9 | -0,1228687*** (-22,31) |
| núm_bañño_12 | 0,00098262 (1,29) | coc_integral_4 | 0,0871858*** (31,79) | c_b_serv_8 | -0,0358381*** (-3,72) | extractor_3 | 0,0210729*** (2,47) | cal_gas_10 | -0,1956994*** (-31,22) |

Cuadro A2.4 (Continuación)
Modelo con interacción entre características y dummies de tiempo sin efectos fijos

| | | | | | | | | | |
|--------------|-------------------------|------------------|-------------------------|-------------|--------------------------|-------------|-------------------------|------------|---------------------------|
| estufa_gas | 0,0891774*** (24,04) | coc_ integral_5 | 0,064944*** (25,11) | c_b_serv_9 | -0,0609803*** (-6,56) | extractor_4 | 0,1391782*** (18,04) | cal_gas_11 | -0,1237009*** (-21,08) |
| estufa_gas_3 | 0,1543142*** (17,43) | coc_ integral_6 | 0,0737118*** (29,09) | c_b_serv_10 | -0,0079678 (-0,71) | extractor_5 | 0,0901613*** (13,75) | cal_gas_12 | -0,1874442*** (-19,68) |
| estufa_gas_4 | 0,0539667*** (8,34) | coc_ integral_7 | 0,0631654*** (20,37) | c_b_serv_11 | -0,119707*** (-12,65) | extractor_6 | 0,1495147*** (24,28) | _cons | 13,47238*** -1387,22 |
| estufa_gas_5 | 0,0495814*** (9,82) | coc_ integral_8 | 0,0973213*** (35,94) | c_b_serv_12 | -0,0829919*** (-4,69) | extractor_7 | 0,116555*** (19,05) | | |
| estufa_gas_6 | 0,0160072*** (3,41) | coc_ integral_9 | 0,1678341*** (51,55) | estudio | 0,0024953 (0,92) | extractor_8 | 0,2003597*** (33,25) | | |
| estufa_gas_7 | 0,1044651*** (19,55) | coc_ integral_10 | 0,1058152*** (25,05) | estudio_3 | 0,0408369*** (8,43) | extractor_9 | 0,2520926*** (41,51) | | |

Número de obs. = 432.932

F(141,432790) = 56.591,77

Prob. > F = 0,0000

R-cuadrado = 0,9370

Fuente: La Galería Inmobiliaria; cálculos de los autores.

Cuadro A2.5**Modelo con interacción entre características y *dummies* de tiempo con efectos fijos**

| | | | | | |
|--------------|---------------------------|-----------------|--------------------------|-----------------|--------------------------|
| t2 | 0,0752773*** -67,85 | cód_c_b_serv | 0,0285141*** -12,99 | piso_3 | -0,0017576*** (-1,77) |
| t3 | 0,1482388*** -103,07 | cód_c_b_serv_3 | -0,0779849*** (-5,02) | piso_4 | -0,000392 (-0,31) |
| t4 | 0,2395627*** -137,76 | cód_c_b_serv_4 | -0,0267933 (-0,98) | piso_5 | -0,0015398 (-1,16) |
| t5 | 0,3575403*** -174,06 | cód_c_b_serv_5 | 0,0866848*** -2,42 | piso_6 | -0,0020302 (-1,43) |
| t6 | 0,5025296*** -187,07 | cód_c_b_serv_6 | 0,1140822*** -2,57 | piso_7 | -0,0028053*** (-1,86) |
| t7 | 0,6086981*** -194,85 | cód_c_b_serv_7 | 0,1204614*** -2,39 | piso_8 | -0,0034473*** (-2,21) |
| t8 | 0,6911492*** -200,87 | cód_c_b_serv_8 | 0,1328247*** -2,51 | piso_9 | -0,0031058*** (-1,89) |
| t9 | 0,7669824*** -199,45 | cód_c_b_serv_9 | 0,148166*** -2,51 | piso_10 | -0,0159153*** (-6,2) |
| t10 | 0,8642284*** -188,83 | cód_c_b_serv_10 | 0,1787222*** -2,44 | piso_11 | 0,0016426 -0,45 |
| t11 | 0,9547719*** -196,35 | cód_c_b_serv_11 | 0,1856158*** -2,26 | piso_12 | -0,0044867 (-1,2) |
| t12 | 0,9995316*** -201,26 | cód_c_b_serv_12 | 0,1819007*** -2,04 | cód_depósito | 0,0200549*** -11,71 |
| lna | 0,7532406*** -303,68 | cód_estudio | 0,0391468*** -43,22 | cód_depósito_3 | 0,0681495*** -4,5 |
| núm_bannio | 0,0452323*** -41,26 | cód_estudio_3 | -0,009648*** (-1,81) | cód_depósito_4 | -0,0178579 (-1,04) |
| núm_bannio_3 | -0,0567664*** (-10,16) | cód_estudio_4 | -0,0779621*** (-12,7) | cód_depósito_5 | -0,015394 (-1,1) |
| núm_bannio_4 | -0,0586711*** (-8,13) | cód_estudio_5 | -0,0543962*** (-7,85) | cód_depósito_6 | 0,0155183 -1,01 |
| núm_bannio_5 | -0,0195246*** (-2,08) | cód_estudio_6 | -0,0533096*** (-6,73) | cód_depósito_7 | 0,0198753 -1,24 |
| núm_bannio_6 | -0,022717*** (-1,89) | cód_estudio_7 | -0,059014*** (-6,64) | cód_depósito_8 | 0,0537011*** -3,16 |
| núm_bannio_7 | -0,0518648*** (-3,62) | cód_estudio_8 | -0,0718228*** (-7,68) | cód_depósito_9 | 0,0303483*** -1,76 |
| núm_bannio_8 | -0,0722798*** (-4,62) | cód_estudio_9 | -0,0918593*** (-9,32) | cód_depósito_10 | 0,0471716*** -2,49 |

Cuadro A2.5 (Continuación)

Modelo con interacción entre características y dummies de tiempo con efectos fijos

| | | | | | |
|---------------|--------------------------|----------------|--------------------------|-----------------|-----------------------|
| núm_bannio_9 | -0,0738701*** (-4,27) | cód_estudio_10 | -0,0844745*** (-7,86) | cód_depósito_11 | 0,0371103*** -1,66 |
| núm_bannio_10 | -0,0887983*** (-4,23) | cód_estudio_11 | -0,0741955*** (-5,82) | cód_depósito_12 | 0,042229*** -1,7 |
| núm_bannio_11 | -0,1569252*** (-6,66) | cód_estudio_12 | -0,0564036*** (-4,21) | _cons | 0,0000423 -0,26 |
| núm_bannio_12 | -0,1514962*** (-6,35) | piso | -0,0003397*** (-2,02) | | |

Número de obs. = 327.103

F(67,327035) = 4.628,31

Prob > F = 0,0000

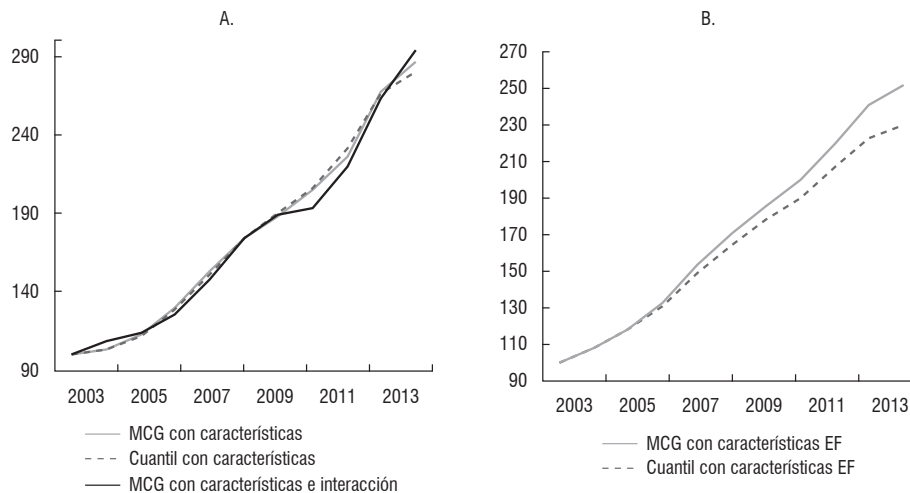
R-cuadrado = 0,7577

Fuente: La Galería Inmobiliaria; cálculos de los autores.

En el Gráfico A2.1 se presentan los índices de precios calculados con y sin efectos fijos, e incluyendo características observables. En los dos casos es posible corroborar gráficamente que no hay diferencias importantes en el índice construido, cuando se permite que el precio asociado con características observables varíe en el tiempo, frente al índice calculado donde esto no ocurre.

Gráfico A2.1

Índices de precios de la vivienda con características



Fuente: La Galería Inmobiliaria; cálculos de los autores.