

DOCUMENTOS DE TRABAJO
CÁMARA CHILENA DE LA CONSTRUCCIÓN

WORKING PAPERS
CHILEAN CONSTRUCTION CHAMBER



N°65

ENERO 2011

Índice de Precios de Viviendas Nuevas para el Gran Santiago

BYRON IDROVO A. JOAQUÍN LENNON S.

La publicación de los Documentos de Trabajo no está sujeta a la aprobación previa de la Mesa Directiva de la Cámara Chilena de la Construcción A.G. Tanto el contenido de los Documentos de Trabajo como también el análisis y conclusiones que de ellos se deriven, son de exclusiva responsabilidad de su(s) autor(es) y no reflejan necesariamente la opinión de la Cámara Chilena de la Construcción A.G. o sus directivos. Se prohíbe la reproducción total o parcial de este documento sin autorización previa de la Cámara Chilena de la Construcción A.G.

Índice de Precios de Viviendas Nuevas para el Gran Santiago*

Byron Idrovo** Joaquin Lennon***

Cámara Chilena de la Construcción, Gerencia de Estudios.

Resumen

El presente artículo desarrolla una metodología basada en modelos de precios hedónicos, para calcular índices de precios de viviendas nuevas en el Gran Santiago. La fuente primaria de información son los registros mensuales de ventas inmobiliarias de las empresas socias de la Cámara Chilena de la Construcción A.G. en la provincia de Santiago –desde enero de 1994 hasta julio de 2010. La base de datos nos permitió generar índices separados para casas y departamentos, así como para cuatro zonas geográficas dentro del Gran Santiago: Santiago centro, zona nor-oriente, zona nor-poniente y zona sur.

Abstract

This paper develops a methodology based on hedonic pricing models to calculate price indexes for new houses in the Santiago province. The primary source of information are the monthly real estate sales records of the Chilean Chamber of Construction associate companies –from January 1994 to July 2010. The database allowed us to create separate indices for houses and apartments, as well as for four locations within this province: center, north-east, north-west and south.

Palabras clave: Forma funcional; series de tiempo; mercado inmobiliario; índice de precios; viviendas nuevas.

* Los autores agradecen los valiosos comentarios realizados por el equipo de la Gerencia de Estudios de la Cámara Chilena de la Construcción. Cualquier error es responsabilidad de los autores.

** E-mail: bidrovo@cchc.cl

*** E-mail: jlennon@cchc.cl

1. Introducción

Tras los efectos más severos de la crisis de las hipotecas subprime en la economía global, cuya génesis es el desbordamiento de innovaciones financieras en segmentos poco o nada regulados, se gestó un mayor interés entre los economistas por el análisis sistemático de indicadores de precios y de actividad del sector inmobiliario. Particularmente en Chile, a diferencia de la mayoría de los países industrializados, está pendiente la discusión sobre los factores que eludieron significativas burbujas de precios de vivienda en los últimos años, lo que preliminarmente implicaría que la valorización de mercado de las propiedades fluctuó cerca de sus fundamentos (servicios de vivienda que provee el inmueble). De lo anterior, De Gregorio (2009) postula al menos dos hipótesis para estudiar este fenómeno: una de ellas se asocia a la mayor cautela en el otorgamiento de créditos por parte de los bancos, “tal vez fue la forma en que se otorgan los créditos hipotecarios, así como sus garantías”; y la otra, aunque no excluyente, se atribuye a una mayor elasticidad precio de la oferta inmobiliaria (basado en Glaeser et al., 2008). En esta línea, es directo notar que el contraste de ambas conjeturas requiere de una métrica apropiada de precios, dada su naturaleza endógena.

En efecto, a partir de los registros de ventas de viviendas nuevas de las empresas socias de la Cámara Chilena de la Construcción (en adelante CChC), el presente artículo se centra en el cálculo de series de tiempo de índices de precios de vivienda, condicional a la localización (o zona geográfica), tipo de vivienda (casa o departamento) y superficie del terreno (medido en m^2) –variables relacionadas con los fundamentos del precio. De esta manera, este documento, se enmarca en el esfuerzo de la CChC por reducir la incertidumbre y las asimetrías de información de este mercado y de apoyar la toma de decisiones económicas por parte de los agentes públicos y privados involucrados. Para lo anterior, se publicarán mensualmente índices de precios de viviendas confeccionados a partir de la metodología aquí desarrollada¹. El aporte de este documento es, por lo tanto, hacer público los índices y su metodología, facilitando así su uso para la industria y para otras investigaciones, toda vez que no existe en nuestro país un seguimiento semejante a los precios de las viviendas.

En Chile y en la mayoría de los países desarrollados la inversión inmobiliaria cumple un rol fundamental en la actividad agregada. Tal es así que en la composición de Cuentas Nacionales del Banco Central se considera a la vivienda como un componente de la Formación Bruta de Capital Fijo, equivalente a 29 % del valor corriente de la inversión en construcción (esto es un tercio de su valor real)² y 2,4 % del PIB agregado³. En este sentido, no menos relevante es la relación que se establece entre el mercado inmobiliario y las tasas de interés, ya que estas últimas podrían afectar los precios de las viviendas, estableciéndose un eventual canal de transmisión de la política monetaria. En definitiva, el mercado inmobiliario no solo juega un rol importante en la formación bruta de capital fijo y el consumo, sino también en el sistema financiero. Por lo tanto, cambios en los precios de las viviendas pueden impactar tanto a la demanda agregada como a la estabilidad financiera.

Desde la perspectiva microeconómica, la vivienda constituye gran parte del patrimonio o riqueza de los hogares, así como la garantía de los créditos hipotecarios tomados para dicho propósito. En esta línea, la Encuesta Financiera de Hogares 2007⁴ muestra que el volumen de deuda hipotecaria representa alrededor del 45 % de la deuda total de los hogares. De la misma encuesta se deduce que la exposición directa de la banca a los hogares representa cerca de un tercio de sus colocaciones totales; y de ésta, más de

¹La publicación de las series se realizará a través de la web de la CChC, www.cchc.cl a partir de marzo de 2011.

²En base a la información de la Cámara Chilena de la Construcción (2003-2009).

³Basado en Cuentas Nacionales del Banco Central y Cámara Chilena de la Construcción (2003-2009).

⁴La Encuesta Financiera de Hogares, de iniciativa del Banco Central, busca generar información detallada del balance financiero de los hogares. El 2007 fue levantada por el Centro de Microdatos de la Universidad de Chile.

dos tercios se concentra en créditos hipotecarios⁵. En efecto, significativas fluctuaciones en los precios de las viviendas, entre otros factores, son consustanciales a las decisiones de consumo e inversión de los hogares y a los montos y concentración de las colocaciones del sistema financiero. Sin duda, esta es una característica inherente de nuestro mercado inmobiliario, en el cual, según la Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional 2009, al rededor del 65,9 % de la población chilena es propietaria de la vivienda en que reside⁶. Si a lo anterior agregamos que las colocaciones al sector construcción acaparan más del 9 % del total de colocaciones, de las cuales 31 % corresponden a la construcción de viviendas⁷, podemos concluir que nuestro sistema financiero está fuertemente influenciado por lo que ocurra en el sector inmobiliario.

Con relación a la estrategia de medición de precios, cabe mencionar que los índices de esta naturaleza se calculan por lo general para bienes homogéneos, es decir, bienes cuyas características y atributos permanecen relativamente constantes en el tiempo. Por ejemplo, en la elaboración de índices de precios al consumidor, productor o costos de la construcción, se toma una canasta de bienes representativa de su objeto de estudio, la cual no presenta cambios sustanciales ni en su composición (gustos y preferencias de los consumidores), ni en la estructura cualitativa de sus productos en un plazo considerable (cambios tecnológicos o productivos de las empresas). La particularidad de las viviendas es que, al poseer tan amplia diversidad de atributos y características, son prácticamente únicas e inigualables. Los atributos pueden ser físicos, funcionales, de localización, así como de durabilidad, todo lo cual brinda un conjunto de servicios como los son el confort, la seguridad, proximidad a zonas de interés –centros comerciales y de trabajo, servicios de educación, salud y transporte, entre otros. Por esta razón es que, para capturar en forma confiable los movimientos *puros* de precios, se debe prestar especial atención y cuidado a aislar las variaciones *cualitativas* de estos, y con ello sus efectos sobre nuestras estimaciones. Pese a lo anterior, una práctica común en el mercado de viviendas es la comparación directa de precios promedio calculados en distintos momentos del tiempo. Sin embargo, el carácter de bienes heterogéneos tornaría inválida esa simple comparación intertemporal. Ello se debe a que, al tratarse de mercancías disímiles, las variaciones de los precios promedio podrían obedecer tanto a factores puramente económicos (i.e. movimientos de la oferta y la demanda), como a cambios cualitativos en la canasta de viviendas utilizadas para su cálculo, corriéndose el riesgo de obtener estimaciones muy sesgadas (Bailey et al, 1963). Estos sesgos sólo podrían eliminarse si se comparan en cada período los precios de mercado de exactamente los mismos inmuebles, lo cual es empíricamente imposible, por lo que surge la necesidad de utilizar métodos econométricos que permiten construir en forma teórica lo que no puede sostenerse en la práctica.

Una manera comúnmente utilizada para abordar el problema de la heterogeneidad, consiste en tomar exclusivamente las variaciones de precios de aquellos productos que no sufrieron variaciones cualitativas dentro del período considerado; originalmente propuesto por Berndt (1991) y denominado *Matched Model*. Lamentablemente, la aplicación de este método al caso del mercado inmobiliario, presenta inconvenientes en el *matching*, ya que además de tratarse de bienes fuertemente heterogéneos, está el hecho de que una misma vivienda demora años en pasar de un propietario a otro y su venta esté sujeta a fuertes procesos de negociación, lo que hace aun más difícil el seguimiento adecuado de su valoración.

La literatura estadística y económica sobre las técnicas de elaboración de índices es sumamente extensa como para cubrirla en su totalidad en el presente artículo. No obstante, existen dos enfoques metodológicos

⁵Las colocaciones para vivienda llegan al 67 % del total de colocaciones a personas, según el *Balance Consolidado del sistema Bancario Chileno* de la Superintendencia de Bancos e Instituciones Financieras, mayo 2010.

⁶Cabe mencionar que en la actualidad dicho porcentaje podría ser algo menor, debido al efecto terremoto y tsunami del 27 de febrero de 2010.

⁷*Colocaciones por Actividad Económica* febrero 2010, Superintendencia de Bancos e Instituciones Financieras.

frecuentemente utilizados en economía: ventas repetidas y precios hedónicos. El primer enfoque involucra los registros de viviendas que hayan sido transadas (o vendidas) al menos dos veces en el período de estudio, toda vez que éstas no hayan sufrido cambios respecto de su estructura física original. En este caso no es necesario emplear la estadística multivariante para capturar la valoración del bien inmueble, ya que al permanecer los atributos físicos “constantes”, las variaciones temporales de una misma unidad anulan las características que per se marcan la heterogeneidad de la vivienda.⁸ Por su parte, el método hedónico utiliza análisis econométrico para enfrentar el problema de la heterogeneidad del bien inmueble; así, se identifican los ponderadores o valoración de cada vivienda, según sus características.⁹ Esta última técnica es la que utilizamos en nuestro estudio, ya que la información de precio y sus fundamentos corresponden a viviendas que fueron tranzadas por una sola vez. La base de datos proviene de los registros de ventas de viviendas nuevas de un promedio mensual de 62 empresas socias de la CChC. El número de proyectos promedia los 390 (esto significa un registro de ventas de 683 viviendas mensuales en promedio), de los cuales el 27 % corresponde a casas y 73 % son departamentos.¹⁰ El período de análisis es enero 1994 hasta julio 2010.

Con relación a la forma funcional entre el precio de la vivienda y sus características, se tiene que empíricamente no existe una especificación estandarizada –debido principalmente a las discusiones sobre su potencial fuente de sesgo–, por lo que en estricto rigor ésta debiese ser determinada a partir de los datos. Pese a que se han desarrollado transformaciones complejas y flexibles¹¹ que buscan adaptarse a la realidad observada, las especificaciones mayormente usadas son aquellas en que tanto el precio como los atributos se presentan en logaritmo (modelo *log-log*) y aquellas en que sólo el precio es transformado en logaritmo (modelos *semi-log*). La principal ventaja de expresar la ecuación en logaritmos por sobre una ecuación restringida a ser lineal, proviene de su utilidad para incorporar relaciones no lineales entre el precio y las variables independientes, mitigando con ello, en parte, la presencia de heteroscedasticidad severa. Además, dado que las metodologías más complejas no han sido del todo validadas en la literatura, estas formas de sencilla aplicación –que además ofrecen una fácil interpretación de los parámetros– se han impuesto por sobre las primeras. En el caso que nos compete, evaluamos la estimación por mínimos cuadrados generalizados (MCG) de tres tipos de especificaciones (*lineal*, *semi-log* y *log-log*). Para hacer factible la comparación estadística entre las tres especificaciones, utilizamos el criterio de Akaike corregido. En el caso de especificaciones anidadas para cada tipo de modelo, recurrimos a los criterios estándares de Akaike y Schwarz. Los resultados fueron concluyentes en que una especificación linealizada tomando logaritmos (modelo *log-log*) sería lo más apropiado para replicar nuestro vector de precios.

La presente investigación está organizada de la siguiente manera: la primera sección presenta la introducción; la segunda sección trata la evidencia empírica de los métodos de construcción de índices de precios más utilizados en la literatura económica; la tercera sección exhibe la metodología utilizada; los resultados del índice de precios de viviendas se muestran en la cuarta sección; finalmente, la quinta sección, concluye.

⁸Para un análisis pormenorizado véase Case et al (1991), Bailey et al (1963), Case y Shiller (1987). Para el caso chileno, ver Cox et al (2009).

⁹Ver Waugh (1928), Court (1939), Griliches (1961) y Rosen (1974). Entre los trabajos aplicados al mercado inmobiliario de Chile, consideramos a Agostini y Palmucci (2008), Desormeaux y Piguillem (2003), Desormeaux y Vespa (2005), Figueroa y Lever (1992), Quroga (2005) y Sagner (2009).

¹⁰Con el propósito de medir el pulso del mercado inmobiliario para la toma de decisiones de inversión en el rubro, la CChC recaba información inmobiliaria –con periodicidad mensual y desagregada a nivel comunal. Para mayor detalle, véase Idrovo B. (2009).

¹¹Por ejemplo, Box y Cox (1964) desarrollaron un procedimiento estadístico para identificar la forma funcional que mejor se ajusta a los datos.

2. Hechos estilizados

A raíz de lo expuesto anteriormente, el uso de canastas de viviendas de tipo “calidad constante” es una consideración ineludible al elaborar índices de precios confiables. Por ello, se han desarrollado métodos alternativos que permiten controlar su heterogeneidad y lograr estimaciones eficaces. A continuación se describen sintéticamente los dos métodos más explorados en la literatura, los cuales han exhibido un muy buen desempeño a través de sucesivas aplicaciones empíricas en diversos mercados inmobiliarios del mundo: *ventas repetidas* y *precios hedónicos*.¹² Es necesario mencionar además que, con el propósito de generar información de mayor valor y conforme a la disponibilidad de datos, los índices de precios de viviendas se presentan, generalmente, desagregados por zonas geográficas y por segmento de viviendas nuevas –separado del de segunda mano.

a) Índice Basado en Ventas Repetidas

Bajo esta metodología, el índice se construye en base a los registros de viviendas que hayan sido transadas (vendidas) al menos dos veces en el período de estudio, exigiéndoles adicionalmente que no hallan sufrido variaciones significativas (como puede ser una ampliación, por ejemplo).

El valor de este método radica en el hecho de que –al utilizar información de precios de una misma unidad en dos puntos del tiempo– se controla por la diferencia entre los atributos de las distintas propiedades sin tener que recurrir a métodos econométricos adicionales para dicho fin. Autores como Case, Pollakowski y Wachter (1991) han encontrado que la estimación del precio promedio de las viviendas individuales bajo esta metodología, presenta menor error estándar en comparación con su contraparte de precios hedónicos. Bailey, Muth y Nourse (1963), fueron los primeros en proponer la forma precisa de estimar índices con ventas repetidas, dando origen a una creciente literatura académica e incentivando su uso empírico en diversos mercados inmobiliarios. De igual manera, se reconocen las extensiones prácticas y econométricas al modelo, generadas por Case y Shiller (1987); trabajo que derivó en la metodología de “ventas repetidas ponderadas”. A partir de este último método, las firmas federales estadounidenses *Freddie Mac* y *Fannie Mae* desarrollaron a comienzos de los 90’s el índice emblema *Office of Federal Housing Enterprise Oversight* (OFHEO), el cual se publica hasta la fecha con frecuencia trimestral. Esta metodología también fue adoptada por el gobierno de Canadá y en Latinoamérica, por el Banco de la República de Colombia.

La principal restricción empírica de este procedimiento es que la ventana temporal en que se vende una misma vivienda dos veces, es por lo general muy amplia¹³; por lo que la exigencia de una base de datos de larga data es muy severa. Otra debilidad inherente de esta técnica es que se excluyen los precios de las viviendas transadas por primera vez en el mercado; las cuales pueden diferir ampliamente en los precios de las viviendas incluidas, y que en algunos casos pueden representar gran parte del mercado inmobiliario. Además, el supuesto de que los atributos cualitativos de las viviendas transadas se mantienen constantes durante el período transcurrido entre ambas ventas, es un planteamiento altamente debatible en la práctica. Por ejemplo, en Chile es sabido que muchos propietarios realizan ampliaciones de sus viviendas sin la respectiva declaración y autorización pública, lo que constituye un incentivo perverso para no perder beneficios estatales¹⁴, invalidando la aplicación de la metodología de ventas repetidas –principalmente,

¹²Cabe destacar la existencia de un tercer método, denominado método Mixto o Híbrido, el cual fusiona los dos anteriores en la búsqueda del mayor control de las variaciones en los precios asociados a los atributos de una vivienda. Para mayor detalle, ver Escobar y Romero (2003).

¹³En Chile, autores como Cox et al (2009), basándose en el Conservador de Bienes Raíces de Santiago, encontraron que las casas se venden en promedio cada nueve años. Esto tomando el total de transacciones repetidas sobre el total de transacciones de viviendas.

¹⁴El año 1959 se publicó en Chile la ley “DFL-2” que estableció una serie de beneficios tributarios para quienes adquirieran

porque las características actuales del inmueble difieren de las originales. Es necesario tener en cuenta además, que este método no distingue los cambios en el tiempo de las preferencias por ciertos atributos de las viviendas, antecedente que puede ser crucial para un buen análisis de precios y sus variaciones intertemporales.

b) Índice Basado en Precios Hedónicos

Un segundo enfoque para resolver el problema de la heterogeneidad, más sofisticado que el anterior, es utilizar análisis econométrico multivariante para estimar la influencia de cada característica de la vivienda sobre su precio: ¿cuál es la contribución marginal en el precio el hecho de que una vivienda posea una pieza adicional?. ¿En cuanto aumenta la valoración del inmueble si éste incluye estacionamiento entre sus servicios?. ¿Cuál es la valoración marginal de estar físicamente próximo a alguna estación de metro, colegio o centro de salud?. Esta medición es referida como “precios implícitos” de las características de la vivienda, cuyo enfoque es conocido como el método “hedónico”, y tiene como médula la idea de que el precio de bienes heterogéneos se encuentra determinado por la cantidad y el precio implícito –o *hedónico*– de las características asociadas a ellos. Waugh (1928) y Court (1939) fueron pioneros en su desarrollo y luego Griliches (1961) y Rosen (1974) le dieron un nuevo impulso, lo que desencadenó una notable expansión por su estudio y aplicación, especialmente en los mercados de viviendas.¹⁵ En una muestra de su versatilidad, Berndt (1991) lo aplica por ejemplo en el mercado de automóviles y computadoras.

En lo que respecta a su utilidad para generar índices de precios de viviendas, es posible eliminar la influencia de las variaciones en el *mix* de características de una vivienda, sumando estos precios ponderados por las cantidades de atributos que correspondan a una vivienda estándar –o vivienda *tipo*, previamente determinada. Así, se logra medir los cambios en precio de esta vivienda (de características invariables en el tiempo). Cabe destacar que mediante esta metodología se puede incluir las viviendas nuevas y las transacciones repetidas, a diferencia del método expuesto anteriormente en el cual solo es posible usar datos de viviendas usadas. En esencia, la metodología consiste en estimar los parámetros de la ecuación hedónica, bajo cierta frecuencia determinada (típicamente trimestral), donde se incluyen variables (características de la vivienda) según su disponibilidad estadística. Entre los atributos comúnmente considerados, se encuentran los referidos a características estructurales de la vivienda (superficie, antigüedad, número de baños, dormitorios, orientación de la fachada, tipo de calefacción, material de construcción de las paredes, etc.) y aquellos relacionados con el entorno en el que ésta se encuentra (la existencia de áreas verdes, cercanía a centros escolares y de transporte, servicios de seguridad, ubicación en determinados barrios de alta o baja valorización inmobiliaria, etc.). A pesar de que la metodología hedónica es teóricamente muy atractiva, su principal limitación es el requerimiento de información. En muchos países –Chile incluido– no hay razones administrativas de consideración para generar bases de datos extensivas de los atributos de las viviendas y sus precios de venta.

La técnica de precios hedónicos es utilizada por el *Bureau of the Census* de EE.UU., que calcula 5 índices de precios de viviendas: uno para cada una de las 4 principales regiones censales, y uno a nivel nacional. La Unión Europea por su parte instauró en 2002, en el seno de la Oficina de Estadística Europea (Eurostat), un grupo de estudio con el objetivo de crear índices de precios de vivienda en cada país –bajo metodologías similares y comparables. Así, varios países europeos publican actualmente en forma periódica estos índices, dentro de ellos: España, Francia, Alemania, Finlandia y Gran Bretaña. Otros usuarios

viviendas cuya superficie construida o de autoconstrucción no supere los 140 m^2 .

¹⁵Diversas aplicaciones de la metodología hedónica para el mercado inmobiliario chileno se encuentran por ejemplo en Agostini y Palmucci (2008), Desormeaux y Piguillem (2003), Desormeaux y Vespa (2005), Figueroa y Lever (1992), Quiroga (2005) y Sagner (2009).

de la metodología a nivel oficial son: China, Rusia y recientemente se integró México, que a fines de 2009 lanzó el índice SHF (Sociedad Hipotecaria Federal). Lamentablemente, más allá de ejercicios académicos y privados aislados, en América del Sur (a excepción de Colombia) no contamos con índices oficiales basados en alguna de las dos metodologías discutidas.

En Chile la aplicación de estos métodos ha sido relativamente escasa. En el primer ejercicio registrado, Morandé (1992) utilizó la técnica de precios hedónicos para construir un índice de precios de viviendas para la comuna de Ñuñoa, abarcando el período 1975-1989 con frecuencia trimestral. Posteriormente, Bergoing, Morandé y Soto (1998) dieron continuidad a este trabajo, expandiendo la serie para la misma comuna y bajo la misma metodología, para el período 1989-1998. Desormeaux y Piguillem (2003) expanden estas series aún más, para los años 1998-2003. En el ejercicio más reciente, Cox, Fuenzalida y Parrado (2009) aplican ventas repetidas y precios hedónicos en el período 2001-2007 en base a datos del Conservador de Bienes Raíces.

3. Construcción del Índice de Precios para el Gran Santiago

En la siguiente sección se describe la base de datos y la estrategia a utilizar para generar índices de precios de viviendas nuevas en el Gran Santiago, basado en la metodología de precios hedónicos. Siguiendo la experiencia internacional, aquí analizamos separadamente el mercado de departamentos del de casas, y desagregamos geográficamente la provincia de Santiago en cuatro sub-grupos, correspondiéndole a cada uno un índice propio.

3.1. Base de Datos

Los datos provienen de los *registros de ventas inmobiliaria* recopilados mensualmente por la CChC a un promedio de 62 empresas del rubro (285 proyectos de departamentos y 105 proyectos de casas), quienes a través de ésta reportan sus ventas y precio de viviendas de cada mes. El período abarcado es de enero 1994 hasta julio 2010.¹⁶ La base fue sometida a limpieza eliminándose presuntos errores de digitación en los precios y las superficies (esto representa cerca de 1% de la muestra). Con todo, el total de observaciones relevante es 135.898 registros, de los cuales 38% corresponde a casas y 62% a departamentos.

La información que se dispone de cada registro de venta es la siguiente: tipo de inmueble (casa o departamento), comuna y nombre del proyecto al cual pertenece la vivienda, precio de promesa de compraventa de la vivienda en UF, superficie construida en metros cuadrados, y mes y año de venta. Por otro lado, el uso del precio de promesa de compraventa representa una ventaja respecto del precio final –registrado en el Conservador de Bienes Raíces–, por cuanto el primero se genera con anterioridad en relación con las escrituraciones en los registros oficiales. También es importante mencionar que la diferencia entre el precio *ex-ante* (basado en la promesa de compraventa) versus el precio *ex-post* (o de transacción) de venta inmobiliaria no debiese reflejar mayores cambios en la valoración de los atributos (en nuestro caso, de la superficie construida), por lo que dicha diferencia de precios responde mayormente a la negociación final entre las partes. Con todo, disponer de un índice de precio de vivienda con frecuencia mensual que, por basarse en una promesa de compraventa, constituye un indicador adelantado innato del mercado inmobiliario respecto de otras fuentes de información más rezagada. Además, la presencia de errores de medición en las variables endógenas (como lo es el precio en nuestro caso) no tiene mayor consecuencia sobre las propiedades asintóticas de los estimadores.

¹⁶Se tiene registros anteriores, pero esporádicos y de tamaño muestral insuficiente.

La Figura 1 muestra un mapa político de la provincia de Santiago sobre el cual se conformaron 4 sub grupos de comunas. El criterio de agrupación es por lo tanto geográfico, cuidando escoger zonas que difieran en sus precios observados y, por lo tanto, sus mercados inmobiliarios presentan distintas características, a priori. La elección de 4 sub grupos y no más, obedece puramente a una restricción de tamaño muestral. Se dejó la comuna de Santiago separada del resto de los grupos por su relevancia relativa en el mercado de departamentos en la capital.



Figura 1: División Geográfica Gran Santiago

De esta forma, a cada uno de estos grupos le corresponderá un índice de precios para casas y otro para departamentos, a exceptuar de la comuna de Santiago (grupo 1) que solo posee departamentos. Con todo, los grupos relevantes son 7: departamentos del grupo geográfico 1 (santiago centro), departamentos grupo 2 (nor-poniente), departamentos grupo 3 (nor-orient), departamentos grupo 4 (sur), casas grupo 2, casas grupo 3 y casas grupo 4. En el caso de los departamentos de la zona nor-poniente se consideran los registros desde marzo de 2003, para los ubicados en santiago desde febrero de 1994 y para los departamentos de la zona sur, desde marzo de 1995. Las comunas señaladas con un punto en la figura no se encuentran cubiertas por la muestra en ningún período. Estos municipios albergan buena parte de los barrios más pobres de la capital en los que coexiste una alta proporción de viviendas sociales otorgadas desde décadas pasadas, por lo que el mercado de viviendas con precios mayores a 500 UF es nulo o muy escaso.

El Cuadro 1 muestra un resumen estadístico del precio y la variable superficie, además de los tamaños muestrales para cada grupo.

Cuadro 1: Resumen Variables Período Enero 1994 - Julio 2010

| | Departamentos | | | | Casas | | |
|--------------------------------------|---------------|----------|---------|---------|----------|---------|---------|
| | Santiago | Nor-Pon. | Nor-Or. | Sur | Nor-Pon. | Nor-Or. | Sur |
| Precio (UF) | | | | | | | |
| Promedio Mensual | 1.495,9 | 1.419,9 | 4.041,3 | 1.882,5 | 1.588,7 | 7.031,6 | 1.819,0 |
| <i>Desv.Est.</i> | 156,7 | 185,6 | 440,0 | 292,3 | 569,0 | 957,4 | 536,9 |
| Mediana | 1.459,6 | 1.415,8 | 4.053,2 | 1.853,6 | 1.595,9 | 7.067,8 | 1.763,9 |
| Max | 2.150,0 | 2.120,6 | 5.731,0 | 3.105,4 | 3.051,7 | 9.705,3 | 3.268,8 |
| Min | 156,7 | 185,6 | 440,0 | 292,3 | 569,0 | 957,4 | 536,9 |
| Superficie (m^2) | | | | | | | |
| Promedio Mensual | 49,3 | 54,6 | 88,7 | 67,8 | 78,5 | 154,2 | 79,4 |
| <i>Desv.Est.</i> | 7,0 | 5,2 | 7,4 | 6,5 | 16,9 | 13,6 | 11,6 |
| Mediana | 47,8 | 54,9 | 89,4 | 66,4 | 80,4 | 152,8 | 79,7 |
| Max | 74,5 | 66,4 | 110,0 | 89,7 | 113,9 | 200,4 | 109,4 |
| Min | 35,0 | 42,5 | 71,0 | 52,8 | 47,5 | 116,6 | 54,7 |
| Nº Observaciones | | | | | | | |
| Promedio Mensual | 137 | 42 | 214 | 57 | 118 | 21 | 122 |
| Total | 27.056 | 3.750 | 42.578 | 10.600 | 23.539 | 4.070 | 24.288 |

Del Cuadro 1 se desprenden algunos hechos a destacar: por un lado, se aprecia una notable diferencia entre las características de precio y superficie de la zona nor-oriente respecto del resto de las divisiones geográficas, tanto en casas como en departamentos. Particularmente, el precio promedio de los departamentos para este grupo más que duplica el promedio para el resto de las zonas, y en el caso de las casas este valor más que se triplica. Con relación a la superficie construída, también se observa una clara diferencia de la zona nor-oriente con el resto. Lo anterior es una muestra de la segmentación geográfica de la ciudad de Santiago, que valida la necesidad de contar con indicadores de precios diferentes para cada uno de estos distintos mercados inmobiliarios. Por otro lado, podemos notar que existe bastante diferencia en los promedios mensuales de tamaño muestral entre grupos, lo cual refleja en cierta medida la heterogeneidad en los niveles de desarrollo inmobiliario entre las diferentes agrupaciones de comunas.

Por otro lado, considerar apriori la variable de superficie como variable única de caracterización física de la vivienda, acompañada de otras variables de locación y tipo (casa o departamento) –en línea con la información disponible de los registros de ventas inmobiliarias de la CChC–, nos lleva a cuestionarnos sobre el problema de omisión de variables relevantes al momento de planter un modelo de precios hedónicos. No obstante, para este caso particular, consideramos que no es un factor que reste valor al modelo de manera importante. Existen algunos antecedentes a tomar en cuenta que apoyan esta postura. Por ejemplo, en el estudio llevado a cabo por Figueroa y Lever (1992) se establece que de las variables consideradas como propias o inherentes a la vivienda, la superficie del terreno y el área edificada muestran los mayores efectos sobre el precio de esta, en desmedro de las otras variables incluidas –cantidad de habitaciones y si posee o no pieza de servicio. Esto también se deduce del reciente estudio desarrollado por la oficina estadística europea Eurostat¹⁷, en el cual se resalta a la superficie construída como uno de los principales determinantes del precio de una vivienda: 1) la superficie construída, 2) la superficie del terreno, 3) la ubicación de la propiedad, 4) la edad de la estructura, 5) el tiempo transcurrido desde la última renovación, 6) el tipo de estructura (casa o departamento entre otros), 7) los materiales usados y 8) otras características físicas (como cantidad de habitaciones y baños). Podemos notar, que contamos con la mayoría de esta

¹⁷Handbook on Residential Property Price Indices, Draft Version, Eurostat, Mayo 2010, páginas 19 y 20.

información considerando que dado que son viviendas nuevas, los puntos 4 y 5 pierden relevancia.

Además, resulta bastante intuitivo pensar que a mayor superficie habitable, la vivienda nueva posea mayor cantidad de atributos relacionados con otras características de la misma (como la cantidad de habitaciones y baños); y por lo tanto, gran parte del aporte de estas variables al modelo ya esté incorporado en la variable superficie. Como una forma de verificar lo anterior nos apoyamos en el módulo de vivienda de la Encuesta Financiera a Hogares 2007, donde se pregunta por diferentes características físicas de la vivienda. La siguiente tabla nos muestra las medidas de correlación entre estos atributos y la superficie construida. En otras palabras, la superficie construida, en gran parte, parece abarcar múltiples variables relacionadas con las características del inmueble.

Cuadro 2: Correlación de la Superficie Construida con Variables Físicas de la Vivienda

| | Departamento | Casa | Total Vivienda |
|-------------------------------|--------------|--------|----------------|
| Nº Baños | 0.573 | 0.536 | 0.537 |
| Nº Dormitorios | 0.339 | 0.500 | 0.496 |
| Terreno (metros cuadrados) | 0.963 | 0.399 | 0.401 |
| Nº Otras Piezas no habitables | 0.322 | 0.393 | 0.391 |
| Estar-Comer independiente | 0.281 | 0.347 | 0.346 |
| Cocina independiente | 0.134 | 0.158 | 0.158 |
| Estar-comer dormir y cocinar | 0.030 | -0.020 | -0.016 |
| Estar-comer y cocinar | -0.114 | -0.026 | -0.038 |

Podemos notar que la superficie se correlaciona positiva y fuertemente con las variables asociadas a una vivienda de mayor calidad. Estas son: la cantidad de baños y de dormitorios, la superficie de terreno sobre la cual está construida la vivienda, la existencia de otras piezas no habitables (como bodegas por ejemplo), el hecho de poseer el comedor separado de otras habitaciones, así como una cocina independiente. Además, se deja de manifiesto que la superficie construida está negativamente correlacionada con la cantidad de “habitaciones múltiples” donde se realiza más de una función, como piezas para estar, comer y cocinar y/o dormir, generalmente asociadas a una vivienda de menor calidad. En definitiva, a pesar de no contar con abundante información acerca de la viviendas, la teoría y la práctica señalan que lo disponible está dentro de lo más pertinente y determinante del precio de estas.

3.2. Metodología basada en precios hedónicos

3.2.1. El modelo teórico y conceptos básicos

De acuerdo al principio de Rosen (1974), los bienes son valorados (comercializados) según la utilidad o ventaja que proveen sus características o atributos. Por lo que, la valoración implícita (o precio hedónico) del bien final es aproximada por el efecto marginal de sus atributos observables sobre el precio de mercado. En este contexto, sin pérdida de generalidad, supondremos que la preferencia por una determinada vivienda dependerá de qué características (número de habitaciones, ubicación, calidad, etc.) la hacen más atractiva respecto de otra. Formalmente, el consumo de inmuebles (q) se define como una función de sus atributos observables (x). Así, desde una perspectiva básica de precios hedónicos, las familias enfrentan el siguiente problema de optimización (con extremos restringidos) en sus decisiones de compra.

$$\text{Max } U(q(x), z)$$

$$\text{s.a. } qp_q(x) + zp_z = I$$

donde $U(q(x), z)$ es la función de utilidad que depende tanto del consumo de vivienda –condicional a los servicios o beneficios que ésta ofrece– como del consumo de otros bienes, colapsados en z . En la restricción presupuestaria, I es el ingreso familiar; p_z es el precio a pagar por cada unidad del bien compuesto z ; y $p_q(x)$ es el precio de la vivienda, según su canasta de atributos (x). De las condiciones de primer orden se tiene:

$$\frac{\frac{\partial U(q(x), z)}{\partial q(x)} \frac{\partial q(x)}{\partial x}}{\frac{\partial U(q(x), z)}{\partial z}} = \frac{\partial p_q(x)}{\partial x} p_z$$

Cabe notar que en las ecuaciones anteriores se substituyó el término $qp_q(x)$ por la variable $p_q(x)$, ya que suponemos que en la mayoría de los casos los hogares adquieren sólo una vivienda. Por lo tanto, el óptimo es alcanzado cuando la tasa marginal de sustitución entre la compra de una casa –con atributos de tipo (x)– y el consumo del bien (z), es igual a los precios relativos de los mismos.

$$TMS_{x,z} = \frac{p_x}{p_z}$$

$$I - p_q(x) - zp_z = 0$$

Finalmente, a partir de las ecuaciones anteriores es posible construir la función de demanda inmobiliaria de los hogares, que al aplicar la aproximación lineal de Taylor, obtenemos la siguiente expresión algo más analítica:

$$q_d(p_q, p_z, I) \cong \alpha + p_q \beta + Q(p_z, I)$$

Así, la estructura lineal más simple de la metodología de precios hedónicos corresponde a la normalización de la función de demanda respecto del precio, olvidándonos por un momento del término $Q(\bullet)$ y otras variables, como por ejemplo de división geográfica por grupos de comunas:

$$p_q(x) = q(x)\beta + \varepsilon$$

A partir de la aproximación lineal de $q(x)$ respecto de los atributos de la propiedad, se tiene lo siguiente:

$$p_q(x) = x\beta^\lambda + \varepsilon$$

donde el multiplicador β^λ corresponde a la valoración marginal de los atributos del inmueble, esto es:

$$\frac{\partial p_q(x)}{\partial x} = p_x = \beta^\lambda$$

Ahora, considerando el proceso de optimización por el lado de la oferta, suponga una función de costo $C(\bullet)$, que depende del nivel de stock inmobiliario (q), de los atributos con que se construye cada vivienda (x) y de un componente λ que refleja la tecnología de producción de cada empresa. Por lo tanto, cada oferente busca maximizar sus beneficios netos. Formalmente, las unidades productivas toman como dado el precio (p_q) de construcción de viviendas, por lo que, cada empresa deberá hallar el número total de viviendas a construir y los atributos que éstas deberán poseer, tal que obtengan la máxima rentabilidad posible:

$$\text{Max } \Pi = p_q(x)q - C(x, q, \lambda)$$

De lo anterior, las condiciones de primer orden son:

$$\frac{\partial p_q(x)}{\partial x} = \frac{\partial C(x, q, \lambda)}{\partial x} \equiv p_x = CMg_x$$

$$p_q(x_0) = \frac{\partial C(x_0, q, \lambda)}{\partial q} \equiv p_q = CMg_q$$

A partir de las condiciones de primer orden se tiene que el máximo beneficio ocurre cuando cada oferente iguala el costo marginal (CMg) de generar cada atributo al precio hedónico, y construye viviendas hasta que el costo marginal de construir una propiedad adicional (del tipo $x = x_0$, por ejemplo) sea igual al precio del inmueble p_q .

Por lo tanto, en condiciones de equilibrio general se satisface la siguiente igualdad: $p_x = CMg = \beta^v$. En este sentido, dependiendo del grado de heterogeneidad de las preferencias de los consumidores y/o de las tecnologías de producción de los oferentes, la función de precio hedónico corresponderá a la función de oferta, o a la función de demanda, o a los puntos de intersección de las distintas curvas de demanda de compradores con gustos heterogéneos, y las diversas curvas de oferta de las inmobiliarias. Esto es posible explicarlo económicamente, siguiendo de cerca el planteamiento de Hamilton (1994) (Ver anexo 6.1). En el caso del mercado inmobiliario chileno, aún no hay estudios que adopten una posición al respecto. Ello requiere de un estudio que va más allá del alcance de este documento.

3.2.2. Estrategia de estimación

La idea central de la metodología de precios hedónica señala que las condiciones de mercado determinan la contribución marginal de las características, por lo que si las condiciones de oferta o demanda cambian en el tiempo, no hay ninguna razón a priori para esperar que esas contribuciones permanezcan constantes (Pakes 2003). Por ello, aquí estimamos las distintas funciones de precio por mínimos cuadrados generales (MCG) en bloques de meses ¹⁸ –en lugar de la utilización de variables *dummy* de tiempo. Bajo este enfoque, se obtiene la evolución intertemporal de la valoración implícita de las características o atributos de la vivienda, la cual puede ser relativamente constante o muy variable en el tiempo.

Las ecuaciones a estimar se dividen en tres grupos que son: lineal, semi-logarítmica y doble logarítmica. Un primer planteamiento de estos modelos sería:

| Modelo | Tipo |
|--|----------|
| $p_{it} = \alpha_{1t} + \beta_{1t}x_{it} + \varepsilon_{1it}$ | Lineal |
| $\ln p_{it} = \alpha_{2t} + \beta_{2t}x_{it} + \varepsilon_{2it}$ | Semi-log |
| $\ln p_{it} = \alpha_{3t} + \beta_{3t} \ln x_{it} + \varepsilon_{3it}$ | log-log |

En el modelo lineal, p_{it} corresponde al precio –en unidades de fomento– de la vivienda i vendida en el período t . Los modelos *sem-log* y *log-log* también utilizan como variable dependiente el precio, pero expresado en logaritmo ($\ln p_{it}$), ya que ambas especificaciones constituyen una aproximación lineal de la relación *superficie-precio* de un proceso originalmente no lineal. La variable x_{it} corresponde a la superficie

¹⁸Las estimaciones por bloque de meses se realizan para el período de enero de 1994 a julio de 2010, son 199 meses en total.

construida en metros cuadrados de la vivienda a considerar. Esta variable ingresa a la ecuación en forma de logaritmo para el caso del modelo *log-log*, lo que significa nuevamente que la relación entre la superficie y el precio es no lineal. En el modelo lineal β_t es la valoración marginal por cada metro cuadrado construido adicional; en los modelos *semi-log* y *log-log* dicho coeficiente corresponde a una cuasi-elasticidad y elasticidad, respectivamente. Por su parte, α_t es la constante o intercepto, y ε_{it} el error de cada modelo –el cual se distribuye idéntica e independientemente con media cero y varianza constante. El residuo contiene todas aquellas variables medibles no incorporadas en la base de datos, así como aquellas no observables.

Por otra parte, hasta ahora no hemos considerado en el modelo la separación entre casas y departamentos ni las cuatro agrupaciones de comunas. Para ello, lo que se observa en mayor medida en la literatura, es el uso de variables *dummy* diferenciando entre las distintas clasificaciones por tipo de vivienda y por ubicación geográfica. De esta forma las nuevas ecuaciones a estimar son:

$$p_{it} = \alpha_{1t} + \beta_{1t}x_{it} + \gamma_{1t}C_{it} + \sum_{g=2}^4 \delta_{g1t}G_{g_{it}} + \varepsilon_{1it}$$

$$\ln p_{it} = \alpha_{2t} + \beta_{2t}x_{it} + \gamma_{2t}C_{it} + \sum_{g=2}^4 \delta_{g2t}G_{g_{it}} + \varepsilon_{2it}$$

$$\ln p_{it} = \alpha_{3t} + \beta_{3t} \ln x_{it} + \gamma_{3t}C_{it} + \sum_{g=2}^4 \delta_{g3t}G_{g_{it}} + \varepsilon_{3it}$$

En la que se ha mantenido la misma estructura que en las ecuaciones anteriores, adicionando la *dummy* C_{it} que toma valor 1 si la vivienda es casa y 0 si es departamento, y tres *dummies* asociadas a los grupos geográficos, dejando afuera el grupo de la comuna de Santiago, para evitar la multicolinealidad perfecta. Luego, el parámetro γ_t se interpreta como la diferencia en aporte marginal sobre el precio que tiene una casa versus un departamento en cada período t , mientras que los parámetros δ_{g_t} indican el efecto marginal sobre el precio de cada grupo en cuestión con respecto a la comuna de Santiago, en cada período t . Sin embargo, la ecuación anterior asume que la valoración de la superficie –a pesar de que puede variar en el tiempo– es igual tanto para casas y departamentos como entre las distintas agrupaciones de comunas. No obstante, este supuesto es restrictivo, por cuanto se distingue una notable heterogeneidad en la valoración de la superficie entre grupos. Por lo anterior, se considera importante incorporar estas diferencias al modelo, para permitir variar entre los grupos período a período no solo el intercepto, si no también la pendiente, que expresa la valoración marginal sobre el precio de una unidad de superficie adicional.

Es así como a las ecuaciones anteriores, manteniendo su notación, le agregamos las siguientes “*dummies* interactivas”:

- Cx_{it} donde $Cx_{it} = C_{it} * x_{it}$
- $Gx_{g_{it}}$ donde $Gx_{g_{it}} = G_{g_{it}} * x_{it}$ con $g = 2, 3$ y 4 .

Es decir, se incorpora las variables que multiplican la superficie construida con las *dummies* de tipo de vivienda C_{it} (casa o departamento) y con las tres *dummies* de grupo geográfico incluidas en el modelo, G_{2it} , G_{3it} y G_{4it} :

$$\begin{aligned}
p_{it} &= \alpha_{1t} + \beta_{1t}x_{it} + \gamma_{1t}C_{it} + \sum_{g=2}^4 \delta_{g1t}G_{g_{it}} + \varphi_{1t}Cx_{it} + \sum_{g=2}^4 \phi_{g1t}Gx_{g_{it}} + \varepsilon_{1it} \\
\ln p_{it} &= \alpha_{2t} + \beta_{2t}x_{it} + \gamma_{2t}C_{it} + \sum_{g=2}^4 \delta_{g2t}G_{g_{it}} + \varphi_{2t}Cx_{it} + \sum_{g=2}^4 \phi_{g2t}Gx_{g_{it}} + \varepsilon_{2it} \\
\ln p_{it} &= \alpha_{3t} + \beta_{3t} \ln x_{it} + \gamma_{3t}C_{it} + \sum_{g=2}^4 \delta_{g3t}G_{g_{it}} + \varphi_{3t}Cx_{it} + \sum_{g=2}^4 \phi_{g3t}Gx_{g_{it}} + \varepsilon_{3it}
\end{aligned}$$

La selección de los modelos están basados en el criterio de Akaike y Schwarz para las especificaciones anidadas de cada tipo de modelo (*lineal*, *semi-log* y *log-log*). Por su parte, la comparación estadística entre los tres tipos de modelos, está basada en el criterio de Akaike corregido (ver anexo 6.2). Una vez identificado el modelo que replique con mayor precisión el vector de precios, se procede a la construcción del índice de precios para cada grupo definido, en nuestro caso casas y departamentos para cada agrupación de comunas. Independiente de la especificación utilizada, la confección del índice se resume en los siguientes pasos:

- Identificar las características de una vivienda representativa para cada grupo. En general se utiliza el valor esperado de las variables para un período base determinado, en nuestro caso de la superficie construida: \bar{x}_t .
- Estimar por MCG los parámetros del modelo seleccionado.
- Confeccionar el índice para cada grupo, según las siguientes definiciones:

$$\begin{aligned}
I_{t_n}^l &= \frac{E(p_{it}/\bar{x}_{t_0}, \vartheta_{t_n}, \theta_{t_n})}{E(p_{it}/\bar{x}_{t_0}, \vartheta_{t_0}, \theta_{t_0})} \\
I_{t_n}^p &= \frac{E(p_{it}/\bar{x}_{t_n}, \vartheta_{t_n}, \theta_{t_n})}{E(p_{it}/\bar{x}_{t_n}, \vartheta_{t_0}, \theta_{t_0})} \\
I_{t_n}^f &= (I_{t_n}^l I_{t_n}^p)^{1/2}
\end{aligned}$$

Donde $I_{t_n}^l$ corresponde al índice hedónico de Laspeyres en cada período t , $I_{t_n}^p$ al de Paasche, e $I_{t_n}^f$ al índice de Fisher, que no es más que la media geométrica de los dos primeros; y donde los parámetros ϑ y θ corresponden a la pendiente e intercepto¹⁹ respectivamente, cuya composición para cada grupo –siguiendo la notación anterior– se resume en el Cuadro 3²⁰.

Por otro lado, dado que el índice de Laspeyres tiende a sobrevalorar sistemáticamente la variación de precios, mientras que el índice de Paasche la infravalora, nos basamos en el índice de Fisher que resulta de un promedio de ambos indicadores.

¹⁹Se incluyen tantos interceptos como variables posea el modelo, en nuestro caso la superficie construida.

²⁰Notar que sólo bajo la última especificación presentada se utilizan todos los parámetros de la tabla, dada la incorporación o no de las distintas variables *dummies*.

Cuadro 3: Intercepto y Valoración Marginal Total de la Superficie Según Grupo (para cada t)

| | Departamentos | | | | Casas | | |
|---------------------------------|---------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | 1. Stgo | 2. Nor-P. | 3. Nor-O. | 4. Sur | 5. Nor-P. | 6. Nor-O. | 7. Sur |
| Intercepto ϑ_t | α_t | $\alpha_t + \delta_{2t}$ | $\alpha_t + \delta_{3t}$ | $\alpha_t + \delta_{4t}$ | $\alpha_t + \delta_{2t} + \gamma_t$ | $\alpha_t + \delta_{3t} + \gamma_t$ | $\alpha_t + \delta_{4t} + \gamma_t$ |
| Pendiente θ_t | β_t | $\beta_t + \phi_{2t}$ | $\beta_t + \phi_{3t}$ | $\beta_t + \phi_{4t}$ | $\beta_t + \phi_{2t} + \varphi_t$ | $\beta_t + \phi_{3t} + \varphi_t$ | $\beta_t + \phi_{4t} + \varphi_t$ |

Para obtener los interceptos de departamentos por cada zona geográfica, hay que sumar el coeficiente de la variable dummy de cada grupo al intercepto α_t que corresponde a la constante para Santiago, dado que fue el grupo que se dejó afuera como referencia. Mientras que para los interceptos de casas, se suma a lo anterior el coeficiente de la dummy de casa, ya que la variable tipo de vivienda toma valor 1 si es casa y 0 si es departamento. De igual forma, para capturar las pendientes de departamentos por zonas geográficas, se suma al β_t el coeficiente de la dummy interactiva entre la superficie y el grupo en cuestión, mientras que para las pendientes de casas, se agrega a lo anterior las dummies interactivas conformada por la variable superficie con la dummy casa.

- Finalmente, el último paso consiste en agregar los índices anteriores, para llegar a un índice por cada tipo de vivienda, uno para casas y otro para departamentos, y uno para toda la región considerada, en nuestro caso el Gran Santiago. Para lo anterior, se utilizan ponderadores del gasto en vivienda de cada grupo y en cada período sobre el conjunto considerado según corresponda (casas, departamentos o ambos).

4. Resultados

En esta sección presentamos los principales resultados del proceso de selección de modelo de precios hedónicos, las estimaciones de los coeficientes que acompañan a la variable superficie construida, y la evolución de los índices de precios –condicional al tipo de vivienda (casa o departamento) y desagregados por zona geográfica. Los siguientes gráficos muestran los resultados de los criterios de información de Akaike (AIC) y Schwarz o criterio bayesiano de información (BIC); ambos criterios, que en principio seleccionan modelos (anidados) de acuerdo al ajuste dentro de la muestra (basado en los datos descritos en el apartado 3 del presente documento), difieren en la penalización que hacen a los parámetros adicionales que deberán ser estimados en el modelo. Por ello, tales criterios constituyen la base del proceso de selección del modelo de precios hedónico.

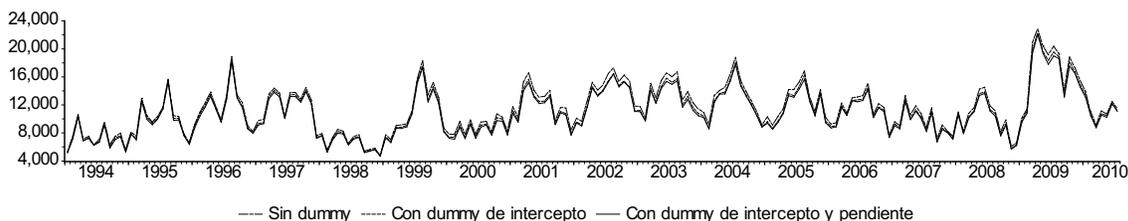


Figura 2: Criterio de información de Akaike (AIC) del modelo lineal

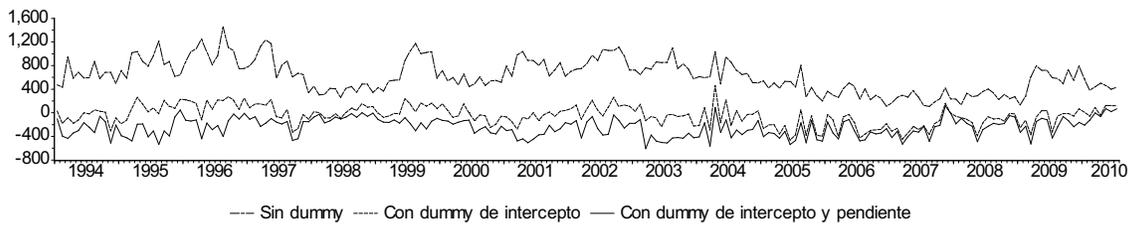


Figura 3: Criterio de información de Akaike (AIC) del modelo semi-log

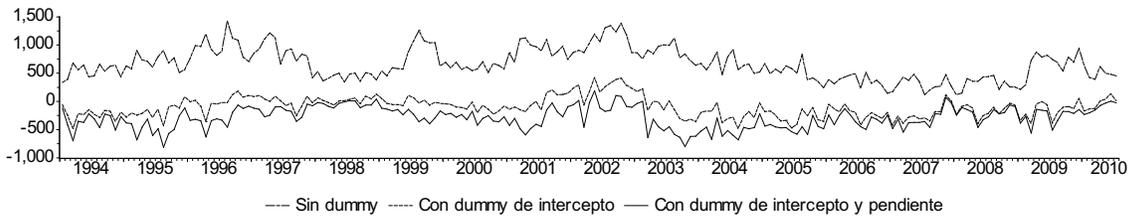


Figura 4: Criterio de información de Akaike (AIC) del modelo log-log

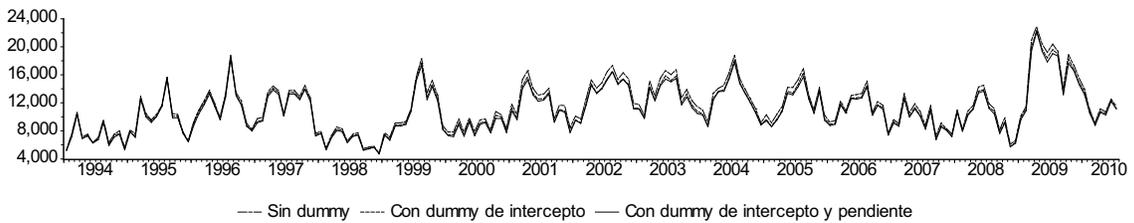


Figura 5: Criterio Bayesiano de información (BIC) del modelo lineal

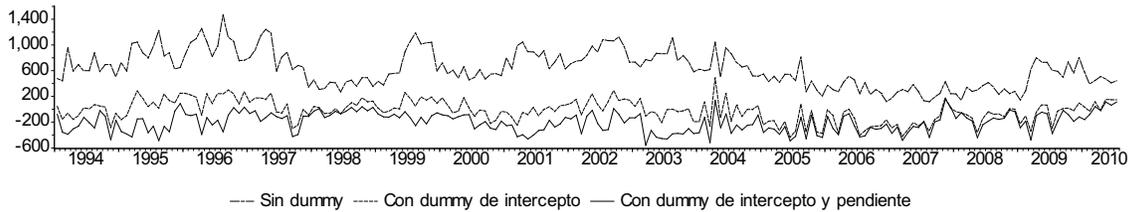


Figura 6: Criterio Bayesiano de información (BIC) del modelo semi-log

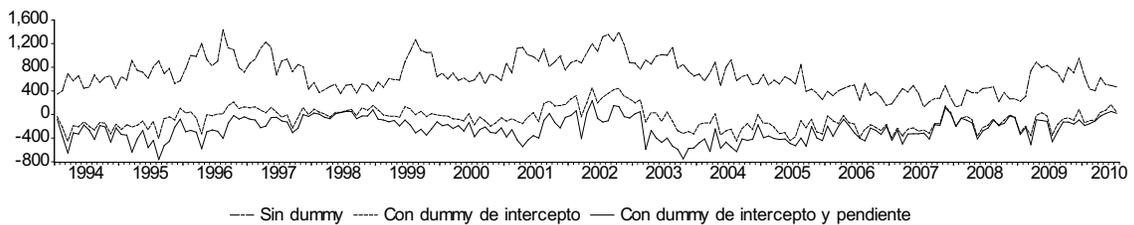


Figura 7: Criterio Bayesiano de información (BIC) del modelo log-log

Como se comentó en la sección precedente, existen tres tipos de modelos principales a evaluar: *lineal*, *semi-log* y *log-log*. Además, al interior de cada modelo se tienen tres especificaciones alternativas: *sin dummy*, *con dummy de intercepto* y *con dummy de intercepto y pendiente*. La primera incluye sólo la superficie como variable explicativa; la segunda, incluye la superficie y las diferencias que puedan existir sobre el intercepto según la zona geográfica a la que pertenece la vivienda, y según si ésta es casa o departamento; finalmente, la tercera anida todas las anteriores, y además incluye variables interactivas entre la superficie construida y las mencionadas variables *dummy*.

Así, el primer paso consiste en identificar la especificación que presente un mejor ajuste respecto del vector de precios observado. De la Figura 2 a la Figura 7 se desprende que el planteamiento *con dummy de intercepto y pendiente* exhibió sistemáticamente el menor AIC y BIC en los tres modelos alternativos –lo que en cierta medida refleja la heterogeneidad de la valoración o precio hedónico de los servicios que provee el inmueble entre grupos y a través del tiempo. Adoptando esta especificación, la Figura 8 nos muestra el AIC y AIC corregido, para las tres formas funcionales consideradas, respectivamente. Como se puede apreciar, los modelos *semi-log* y *log-log* son dominantes sobre el modelo *lineal*, diferencia que no es tan clara a simple vista entre los dos primeros. En efecto, los resultados señalan que en un 70,4% de las estimaciones la especificación *log-log* arroja un menor AIC corregido que su par *semi-log*, por lo que en base a este criterio se prefirió el modelo *log-log* como base para la confección de los índices de precios de vivienda.

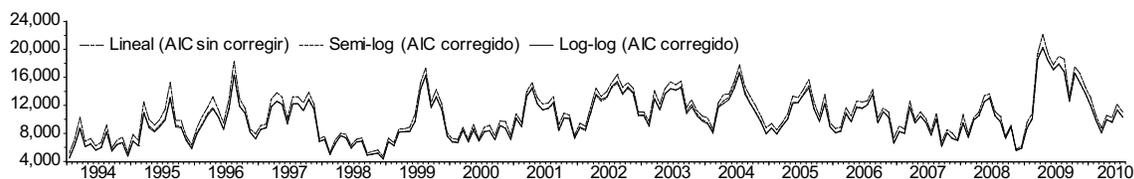


Figura 8: Criterio de selección del modelo de precios hedónicos

Para una mejor presentación de estos resultados, el siguiente cuadro resume los promedios de los criterios de selección de los modelos analizados.

Cuadro 4: Media aritmética de los criterios de selección de modelos (AIC y BIC)

| | Criterios de selección de modelos | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------|------------|
| | AIC | | BIC |
| | Sin corregir | Corregido | |
| Modelos lineales | | | |
| Sin dummy | 11510.785 | | 11519.759 |
| Con dummy de intercepto | 11062.902 | | 11089.804 |
| Con dummy de intercepto y pendiente | 10866.215* | | 10911.047* |
| Modelos semi-log | | | |
| Sin dummy | 622.519 | | 631.493 |
| Con dummy de intercepto | -47.520 | | -20.617 |
| Con dummy de intercepto y pendiente | -245.765* | 10139.495 | -200.932* |
| Modelo log-log | | | |
| Sin dummy | 661.606 | | 670.580 |
| Con dummy de intercepto | -100.156 | | -73.253 |
| Con dummy de intercepto y pendiente | -290.261* | 10094.998** | -245.429* |

* Mejor modelo anidado.

** Mejor modelo, según AIC corregido.

Las siguientes figuras muestran las elasticidades superficie del precio para cada grupo geográfico y tipo de vivienda, según el modelo previamente escogido (*modelo log-log*). Tales figuras corresponden a los parámetros de intercepto (θ_i), definidos en el Cuadro 3 de la sección precedente. Al respecto cabe destacar que en promedio la variación de los precios es explicada en 91 % por este modelo (ver anexo 6.3).

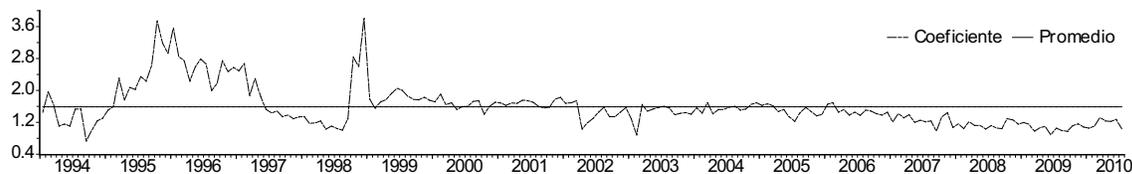


Figura 9: Coeficiente de superficie de casas (zona Nor-Poniente)

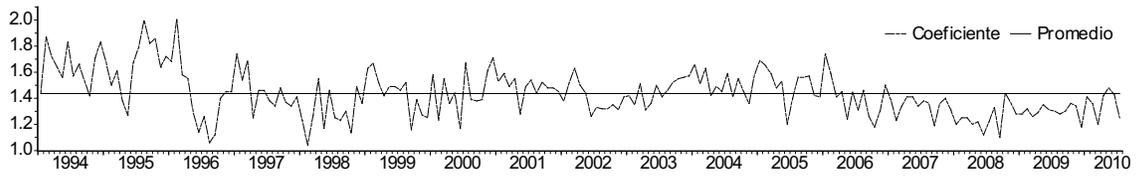


Figura 10: Coeficiente de superficie de casas (zona Nor-Oriente)

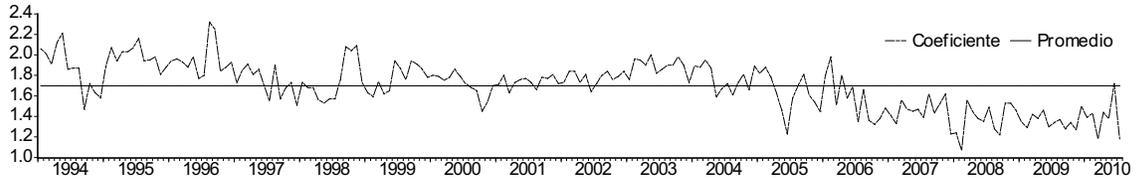


Figura 11: Coeficiente de superficie de casas (zona Sur)

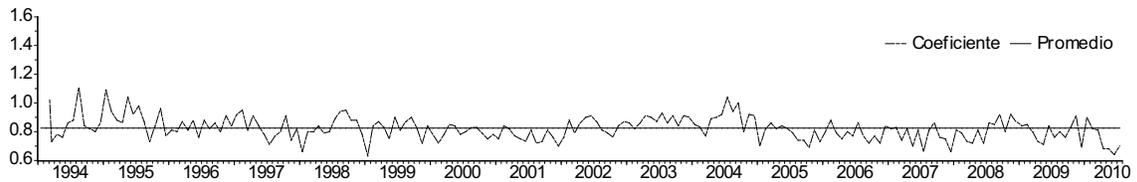


Figura 12: Coeficiente de superficie de departamentos (zona Santiago)

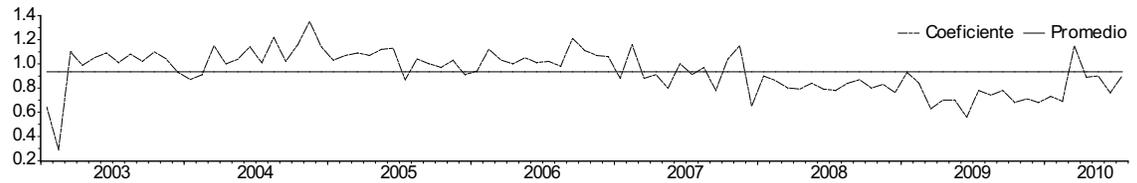


Figura 13: Coeficiente de superficie de departamentos (zona Nor-Poniente)

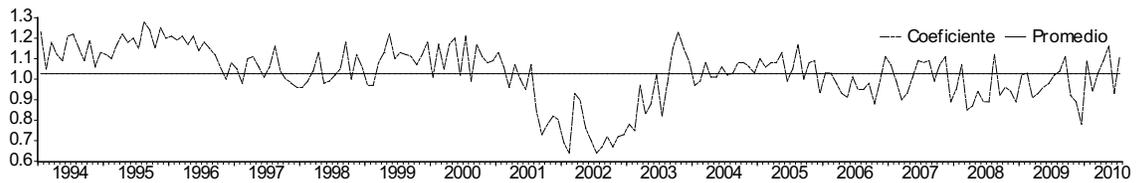


Figura 14: Coeficiente de superficie de departamentos (zona Nor-Oriente)

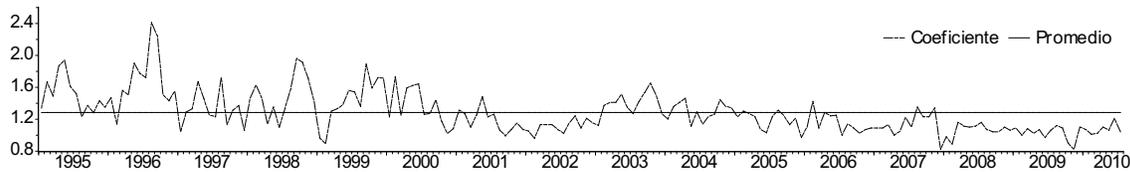


Figura 15: Coeficiente de superficie de departamentos (zona Sur)

Como se aprecia en los gráficos anteriores, a excepción del coeficiente que acompaña a la superficie de los departamentos de Santiago, la mayoría de las elasticidades superficie-precio son relativamente variables en el tiempo. Y sólo en algunos casos particulares se observan episodios de estabilidad. Al parecer, las valoraciones de los atributos de la vivienda no serían del todo constantes en el tiempo. En este contexto, la construcción de índices de precios deberá tener presente dichas consideraciones para evitar errores sistemáticos de mayor escala. El caso aislado de los departamentos de Santiago podría deberse, entre otros factores, a una persistente homogeneidad de las preferencias de los consumidores (efecto demanda). De acuerdo al informe de actividad inmobiliaria de la Escuela de Construcción Civil de la Universidad Católica de Chile (DECON UC-Portalinmobiliario.com) la búsqueda de departamentos nuevos en venta en la comuna de Santiago bordea el 20% del total de la Región Metropolitana desde el año 2004. La disposición a pagar de los interesados y la preferencia por los programas en venta son relativamente acotados –más del 78% de las búsquedas explicita una disposición a pagar entre 1000 y 2000 UF por un departamento de entre 1 y 2 dormitorios con 1 y 2 baños. Por el lado de la oferta, la escasa disponibilidad de terreno hace apropiado el desarrollo de proyectos de edificación en altura, con proyectos que se concentran mayormente en la construcción de departamentos de 1 a 2 dormitorios, coherente con las características de la demanda.

4.1. Índices de precios hedónicos en base al modelo *log-log*

Los índices de precios están basados en la estimación del modelo *log-log* y en la metodología de cálculo del índice de Fisher –por ser un promedio de los índices Paasche y Laspeyres, los cuales tienden a sobreestimar o subestimar sistemáticamente el comportamiento de los precios. A modo de ilustración, se comparan gráficamente los índices de precios de Paasche, Laspeyres y Fisher.

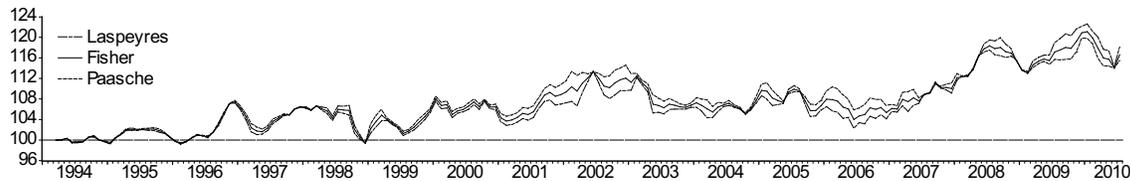


Figura 16: Índices de precios para el Gran Santiago (Promedio móvil de tres meses, base 1994 = 100)

Para ello, la tabla que sigue a continuación, exhibe los promedios de superficie construida (en m^2) que se utilizaron para caracterizar una vivienda tipo –desagregados en casa y departamento, respectivamente, y agrupados por zona geográfica.²¹

²¹En el anexo 6.5 se encuentran las ponderaciones que se emplearon para la agregación de los índices de precios de viviendas. En primera instancia, dichas ponderaciones se definen como la razón entre el gasto en vivienda en cada instante del tiempo, es decir, la suma de los precios de las viviendas, agrupadas por tipo y zona geográfica en cada mes, y el gasto mensual total en vivienda.

Superficies construidas promedio (en m^2), según año base.

| Casa | | | | Departamento | | |
|------------------|-----------------|---------|--------------|------------------|-----------------|---------|
| Nor-Poniente (2) | Nor-Oriente (3) | Sur (4) | Santiago (1) | Nor-Poniente (2) | Nor-Oriente (3) | Sur (4) |
| 1994 | 1994 | 1994 | 1994 | 2003 | 1994 | 1995 |
| 53.3 | 130.5 | 59.7 | 66.7 | 57.0 | 86.7 | 81.7 |

A modo de ilustrar la necesidad de contar con una medición alternativa de los precios de viviendas, la Figura 17 nos muestra la evolución del índice general versus la evolución de la mediana de precios para el Gran Santiago (ambos con base 100 en 1994). Esta última medición es la que se utiliza generalmente, a falta de un indicador que controle por las características o atributos de la vivienda. Particularmente, la utilización de la mediana en lugar del promedio es útil para obtener un precio representativo cuando la distribución de las observaciones es asimétrica.

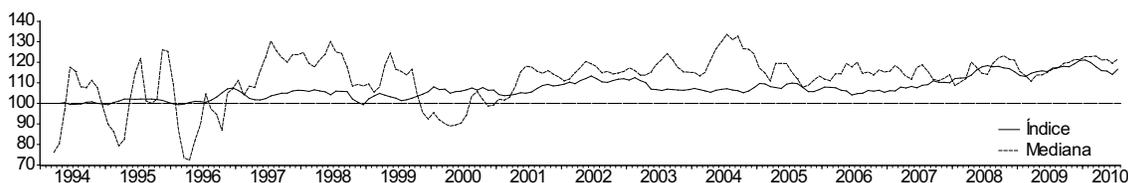


Figura 17: Índice de precio de viviendas nuevas en el Gran Santiago versus la mediana del precio observado

El gráfico nos indica que existen períodos de alta volatilidad en los precios de las viviendas que corresponden a cambios en la composición de sus atributos. Por ejemplo, si tomamos el período entre inicios de 2004 y mediados de 2010 la variación de la mediana de precios es $-8,9\%$, mientras que nuestro índice exhibe un alza de $8,8\%$ en igual período.²²

En este sentido, se hace evidente que la falta de un índice adecuado de precio podría llevar a conclusiones erróneas.

Por otro lado, la Figura 18 muestra que los índices de precios desagregados en casas y departamentos, aunque volátiles, tendieron al alza durante el período analizado (1994-2010). No obstante, la velocidad con que aumentó el precio de las casas a partir del año 2005 hasta mediados de 2008 fue mayor que la observada en los departamentos; luego el precio de las casas se mantuvo relativamente estable en niveles que superan sus símiles históricos. Por su parte, los mayores niveles del precio de los departamentos ocurren desde el año 2007, y luego en 2008 experimentan una situación análoga al escenario de las casas. Si bien estos hallazgos no constituyen suficiente evidencia para afirmar la existencia de burbujas de precios en el mercado inmobiliario chileno, al menos muestran una aparente coincidencia, si bien a menor escala, con la evolución de precios de viviendas en Estados Unidos y otras economías desarrolladas. En este contexto, se deja propuesto desarrollar un modelo de oferta (stock ofrecido) y demanda de vivienda, en función del índice de precios y otras variables macrofinancieras y de política habitacional (subsidios).

²²Para ver una desagregación de estas variaciones por zona geográfica, ver anexo 6.4.

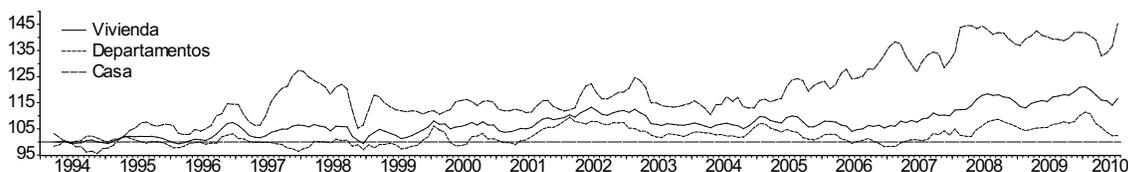


Figura 18: Índices de precios de casas vs departamentos del Gran Santiago (Promedio móvil de tres meses, base 1994 = 100)

A pesar de que la explicación sobre la variación de los precios trasciende el objetivo de este documento, podemos decir lo siguiente:

- Una explicación de que los precios de los departamentos no exhibieran mayores alzas en comparación con las casas en el período 2005-2008, sin desmerecer la importancia de los fundamentos de la demanda, puede darse por el lado de la oferta. Particularmente, durante este período se observaron crecientes niveles de inventarios (stock) versus el estancamiento que registraron las ventas inmobiliarias.
- Por otra parte, el hecho de que el precio de las casas tiendan al alza con anterioridad al caso de los departamentos, podría deberse a mayores presiones de demanda en el primer tipo de vivienda –concordante con un posible cambio en las preferencias de los consumidores. De igual modo, la escasez de suelo, potencialmente es un factor predominante en el alza de precios para este tipo de viviendas.
- Otra explicación sería de que la elasticidad-precio de la demanda y oferta de casas es muy distinta a la de los departamentos. Ello es factible de ser contrastado a través de la estimación conjunta de modelos de oferta y demanda. Al respecto, un estudio preliminar de la Gerencia de Estudios de la CChC²³ señala que la elasticidad-precio de la demanda de viviendas oscila en torno a $-0,79$, cifra que no dista mucho de lo encontrado por otros autores ($-0,80$) para el caso de Estados Unidos (Rosen, 1979; McRae & Turner, 1981; Cronin, 1983; Goodman y Kawai, 1986). En tanto, la oferta de viviendas nuevas en Chile resultó menos elástica a los cambios de precio ($0,20$). No obstante, estos hallazgos merecen mayor estudio y además, desagregar el modelo tal que permita caracterizar el mercado de las casas y los departamentos por separado.
- En 2009 y parte de 2010 los precios de casas y departamentos prácticamente dejaron de crecer (o se aprecia una pendiente relativamente plana) respecto de lo evidenciado en años previos. Ello, podría atribuirse a los efectos de la recesión de 2009 (mayor desempleo y condiciones crediticias más estrechas) y a la probable postergación de inversión en vivienda, tras el shock causado por el terremoto y tsunami del 27 de febrero de 2010.

Los siguientes gráficos muestran los índices de precio de casas y departamentos, agrupados por zona geográfica. En la mayoría de ellos se observan posibles cambios de nivel y tendencia, acompañados de una alta volatilidad. De los gráficos se desprende que a partir del año 2005 en los sectores geográficos Nor-Poniente y Sur del Gran Santiago, el precio de las casas tendió al alza con mayor fuerza en comparación con el de los departamentos.

²³Minuta CEC N° 62 (2009). Los resultados fueron obtenidos a partir de estimaciones por el Método Generalizado de Momentos (MGM) de un modelo de oferta y demanda, con una ecuación de precios que depende de los niveles de inventarios (brecha entre el stock ofrecido y el stock demandado)

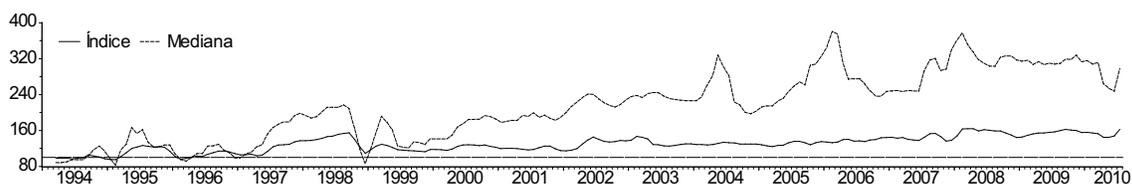


Figura 19: Índice de precio de casas sector Nor-Poniente (Base 1994=100, en trimestre móvil)

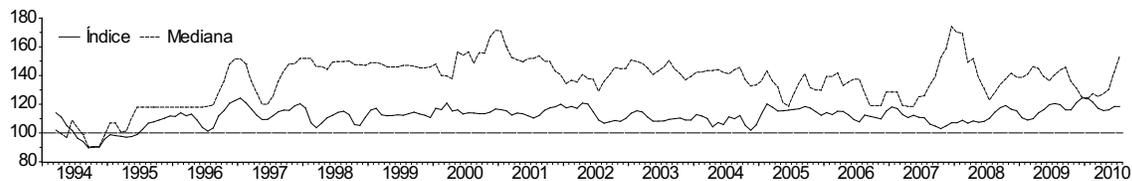


Figura 20: Índice de precio de casas sector Nor-Oriente (Base 1994=100), en trimestre móvil

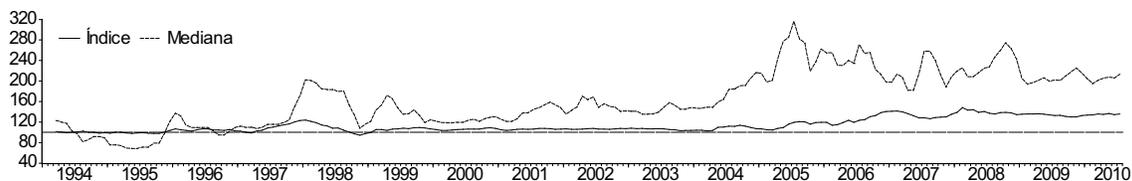


Figura 21: Índice de precio de casas sector Sur (Base 1994=100, en trimestre móvil)

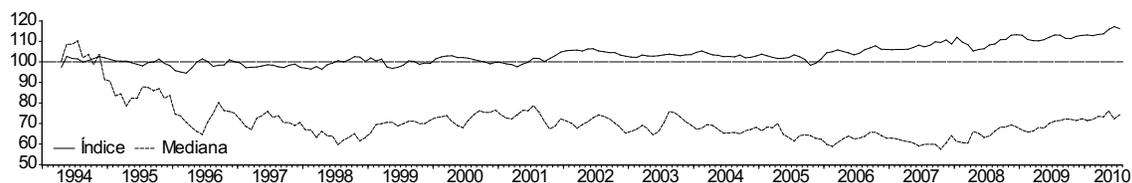


Figura 22: Índice de precio de departamentos Santiago (Base 1994=100, en trimestre móvil)

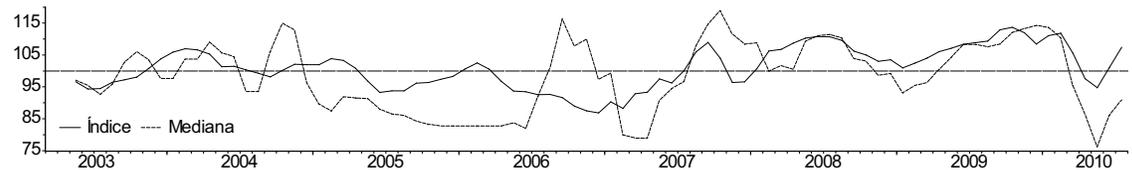


Figura 23: Índice de precio de departamentos sector Nor-Poniente (Base 2003=100, en trimestre móvil)

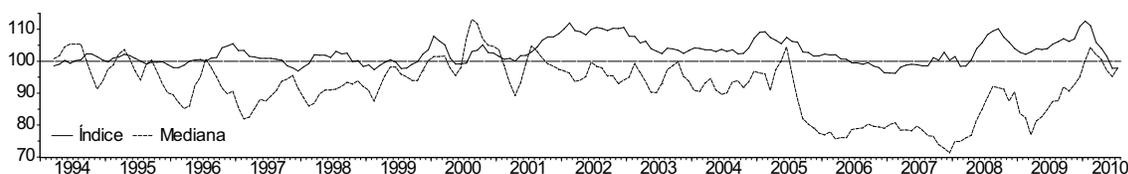


Figura 24: Índice de precio de departamentos sector Nor-Oriente (Base 1994=100, en trimestre móvil)

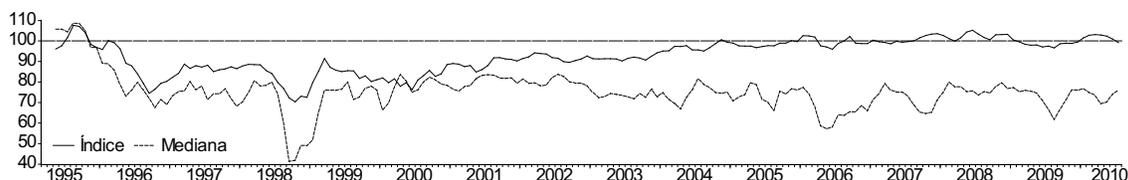


Figura 25: Índice de precio de departamentos sector Sur (Base 1995=100, en trimestre móvil)

Por último, llama la atención la fuerte caída de los precios de los departamentos en las zonas Nor-Oriente y Nor-Poniente durante el segundo trimestre de 2010, lo que podría atribuirse al efecto posterremoto del 27 de febrero del mismo año –el cual aparenta ser relativamente transitorio para el sector Nor-Poniente, pero no así para la zona Nor-Oriente del Gran Santiago.

5. Conclusiones

Tras los efectos más severos de la crisis de las hipotecas *subprime*, cuya génesis es el desbordamiento de innovaciones financieras en segmentos poco o nada regulados, se gestó un mayor interés por el análisis sistemático de indicadores de actividad del sector inmobiliario. Cada vez, más agencias estadísticas de diversos países desarrollados y en vías al desarrollo adoptan alguna metodología para el análisis y la publicación periódica de indicadores de precios de viviendas. El eje central de estas metodologías radica en la necesidad de controlar por las diferencias de características físicas y de locación de las viviendas –inherentemente muy heterogéneas–, para así lograr atribuir los cambios de precios exclusivamente a la interacción entre la oferta y la demanda, aislándolos de los cambios producidos por variaciones en las características propias de la vivienda. En este documento revisamos brevemente las dos metodologías más utilizadas, *Ventas Repetidas* y *Precios Hedónicos*. A grandes rasgos, la primera utiliza información de viviendas que se venden más de una vez, y dado que estas permanecen prácticamente invariables en el tiempo, se aborda en gran parte el problema de la heterogeneidad. Por su parte *Precios Hedónicos*, se basa en la idea de que el precio de bienes heterogéneos se encuentra determinado por la cantidad y el precio implícito –o *hedónico*– de las características asociadas a ellos, y por lo tanto a través de estimaciones multivariantes logra estimar el precio de una vivienda *tipo*, de atributos constantes en el tiempo.

La medición sistemática de precios de vivienda contribuye, en parte, a reducir la incertidumbre y las asimetrías de información de este mercado. Así, la toma de decisiones económicas por parte de agentes públicos y privados es mayormente sustentada. En Chile, a pesar de que se han llevado a cabo algunos ejercicios bajo estas metodologías, no existe en la actualidad algún índice de precios de vivienda que se produzca metódicamente y se publique en forma periódica. En este sentido, el presente artículo desarrolló un modelo y una metodología, en base a la cual se generarán y harán públicos mensualmente índices

de precios para viviendas nuevas del Gran Santiago. La fuente primaria de información son los registros mensuales de ventas de viviendas tomados por la CChC. El modelo propuesto, basado en la metodología hedónica, se desarrolló tomando una amplia serie de registros de la mencionada fuente –desde enero de 1994 hasta julio de 2010– en la provincia de Santiago.

La base de datos nos permitió generar índices separados para casas y departamentos así como para cuatro zonas geográficas dentro del Gran Santiago: Santiago centro, zona nor-oriental, zona nor-occidental y zona sur. Como precio se utilizó la promesa de compraventa en Unidades de Fomento, y como atributo físico, la superficie construida en metros cuadrados. En términos de la información considerada –locación, tipo de inmueble y superficie construida–, está documentado en la literatura y así lo demostramos empíricamente, que son determinantes altamente relacionados con los fundamentos del precio, entendidos como los servicios que provee el inmueble. Los resultados corroboran lo anterior, dado que en promedio, más del 90 % de la variación en los precios puede ser explicada por nuestro modelo.

Con relación a la forma funcional entre el precio de la vivienda y sus características, se tiene que empíricamente no existe una especificación estandarizada –debido principalmente a las discusiones sobre su potencial fuente de sesgo–, por lo que en estricto rigor ésta debiese ser determinada a partir de los datos. En línea con la literatura internacional, evaluamos la estimación por mínimos cuadrados generalizados (MCG) de tres tipos de especificaciones (*lineal*, *semi-log* y *log-log*). La utilidad de utilizar el precio en logaritmos radica en mitigar en gran medida la heterocedasticidad, típicamente presente en estimaciones hedónicas. Para hacer factible la comparación estadística entre las tres especificaciones, utilizamos el criterio de Akaike corregido. En el caso de especificaciones anidadas para cada tipo de modelo, recurrimos a los criterios estándares de Akaike y Schwarz. Los resultados fueron concluyentes en que una especificación linealizada tomando logaritmos (modelo *log-log*) sería lo más apropiada para replicar nuestro vector de precios. De igual manera, concluimos que lo más adecuado es permitir variar la valoración marginal de la superficie tanto en cada mes registrado como entre los distintos grupos geográficos y tipos de vivienda.

Por último, cabe recalcar que la presente investigación constituye un aporte a la necesidad de contar con indicadores de precios de viviendas. No obstante, la información disponible nos permitió focalizarnos sólo en la valoración de las viviendas nuevas del Gran Santiago, lo que sin duda representa sólo una mirada parcial en esta materia. Sin embargo, esto no excluye la posibilidad de modelar y analizar la implicancia de la política económica en la dinámica del mercado inmobiliario, utilizando para ello las series de precios aquí propuestos.

Referencias

- [1] Agostini, C. y Palmucci, G. (2008) “Capitalización Heterogénea de un Bien Semipúblico: El Metro de Santiago”, Cuadernos de Economía 45(131): 105-128
- [2] Bailey, M., Muth R. y Nourse, H. (1963). “A Regression Method for Real Estate Price Index Construction”, American Statistical Association Journal, 58, pp. 933- 942.
- [3] Berndt, E. (1991). “The practice of Econometrics: Classic and Contemporary”, Addison-Wesley Publishing Company, USA.
- [4] Bover, O., Muellbauer, J. y Murphy A. (1989). “Housing, wages and UK labour markets, Oxford Bulletin of Economics and Statistics”, 51, 2, 97- 136.
- [5] Box, G. y Cox, D. (1964). “An analysis of transformations, Journal of the Royal Statistical Society”, Series B, 211-43.
- [6] Calhoun, C. (1996). “OFHEO House Price Indexes: HPI Technical Description”. Office of Federal Housing Enterprise Oversight.
- [7] Case, B., Pollakowski H., y Wachter S. (1991). “On Choosing Among House Price Index Methodologies”, AREUEA Journal, 19, 286-307.
- [8] Case, K. y Shiller, R. (1987). “Prices of Single Family Real Estate Prices”, New England Economic Review. 45-56.
- [9] Court, A.T. (1939), “Hedonic price indexes with automotive examples, in The Dynamics of Automobile Demand”, New York: General Motors Corporation, 99- 1 17.
- [10] Cox P., Fuenzalida M. y Parrado, E. (2009). “Evolución de los Precios de Viviendas en Chile,” Revista Economía Chilena 12(1): 51-68.
- [11] De Gregorio, J. (2009). “Chile Frente a la Recesión Mundial del 2009” Documentos de Política Económica. Banco Central de Chile.
- [12] Desormeaux, D. y Piguillem, F. (2004). “Factores Demográficos en la Demanda Habitacional”, Cámara Chilena de la Construcción.
- [13] Desormeaux, D. y Piguillem, F. (2003). “Precios Hedónicos e Índices de Precios de Viviendas”, Cámara Chilena de la Construcción.
- [14] Desormeaux, D. y Vespa, E. (2005). “¿Arrendar o comprar? Un análisis empírico de los factores que determinan la decisión de compra o arriendo de la vivienda”, Cámara Chilena de la Construcción.
- [15] Diewert, E. (2001). “Hedonic Regressions: A Consumer Theory Approach.” Presentado en la Sexta Reunión del Grupo de Trabajo Internacional sobre Índices de Precios, Canberra, Australia.
- [16] Escobar, J. y Romero, J. (2003). “Métodos de Construcción de Indices de Precios de Vivienda. Teoría y experiencia internacional.” Centro Regional de Estudios Económicos del Banco de la República de Colombia.

- [17] Figueroa, E. y Lever, G. (1992). “Determinantes del precio de la vivienda en Santiago”, Revista Estudios de Economía.
- [18] Griliches, Z. (1961). “Hedonic price indexes for automobiles: an econometric analysis of quality change, in *The Price Statistics of the Federal Government*”, New York: National Bureau of Economic Research, 173-96.
- [19] Pakes (2003). “A Reconsideration of Hedonic Price Indexes with an Application to PC”, *American Economic Review* 93(5), 1576-93.
- [20] Quiroga, B. (2005) “Precios Hedónicos para Valoración de Atributos de Viviendas Sociales en la Región Metropolitana de Santiago”, MPRA Paper Nr. 378.
- [21] Rosen, S. (1974) “Hedonic Prices and Implicit Market: Product Differentiation in Pure Competition”. *Journal of Political Economy*, Vol. 82.
- [22] Sagner, A. (2009) “Determinantes del Precio de Viviendas en Chile”. Documentos de Trabajo N°549, Banco Central de Chile.
- [23] Waugh, F. (1928). “Quality change influencing vegetable prices”, *Journal of Farm Economics*, 10, 185-96.

6. Anexos

6.1. El problema de identificación de los parámetros de demanda y oferta (Hamilton, 1994)

Considere las siguientes funciones de demanda y oferta, respectivamente:

$$\begin{aligned} q_t^d &= \phi^d p_t + \mu_t^d & \text{con} & \quad \phi^d < 0 & \quad \text{y} & \quad \mu_t^d \sim iid(0, \sigma_d^2) \\ q_t^o &= \phi^o p_t + \mu_t^o & \text{con} & \quad \phi^o > 0 & \quad \text{y} & \quad \mu_t^o \sim iid(0, \sigma_o^2) \end{aligned}$$

El precio y la cantidad de equilibrio son:

$$\begin{aligned} p_t &= \frac{\mu_t^d - \mu_t^o}{\phi^o - \phi^d} \\ q_t &= \frac{\phi^o}{\phi^o - \phi^d} \mu_t^d - \frac{\phi^d}{\phi^o - \phi^d} \mu_t^o \end{aligned}$$

Sustituyendo el precio y la cantidad de equilibrio en la estimación *MICO* del coeficiente de una regresión simple de cantidad sobre el precio, se obtiene la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} \phi &= \frac{(1/T) \sum_{t=1}^T p_t q_t}{(1/T) \sum_{t=1}^T p_t^2} \\ \phi &= \frac{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left[\frac{\phi^o}{(\phi^o - \phi^d)^2} (\mu_t^d)^2 + \frac{\phi^d}{(\phi^o - \phi^d)^2} (\mu_t^o)^2 - \frac{\phi^o + \phi^d}{(\phi^o - \phi^d)^2} \mu_t^o \mu_t^d \right]}{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left[\frac{1}{\phi^o - \phi^d} \mu_t^d - \frac{1}{\phi^o - \phi^d} \mu_t^o \right]^2} \end{aligned}$$

Por convergencia en media cuadrática y el teorema de convergencia de Slutsky:

$$plim \phi = \frac{\phi^o \sigma_d^2 + \phi^d \sigma_o^2}{\sigma_d^2 + \sigma_o^2}$$

Que al ser aplicado a la función de precio, se tiene:

$$p_t \cong \beta^{\wedge} q_t \quad \text{con} \quad \beta^{\wedge} \cong \frac{1}{\phi}$$

Se concluye que la función de precio hedónico podría corresponder a una función de oferta normalizada, versus una función de demanda –toda vez que las tecnologías de producción de los productores sean similares y las preferencias de los consumidores sean considerablemente heterogéneas. En otros términos, esto ocurre cuando la función de oferta tiende a ser más estable que la demanda ($\sigma_o^2 \rightarrow 0 \Rightarrow \phi \rightarrow \phi^o$). En tanto, si la curva de demanda presenta poca dispersión respecto de la oferta ($\sigma_d^2 \rightarrow 0 \Rightarrow \phi \rightarrow \phi^d$), entonces la función de precio hedónico se aproxima más a una curva de demanda normalizada. Finalmente, si tanto los productores como los compradores son altamente heterogéneos ($\sigma_d^2 \rightarrow \infty \wedge \sigma_o^2 \rightarrow \infty$), entonces la función de precio hedónico refleja sólo los puntos de equilibrio entre ambas curvas.

6.2. Definición del AIC corregido

La definición formal del criterio de información de Akaike (AIC) es:

$$AIC = 2k - 2\ln L(\theta/p_i)$$

donde

$$L(\theta/p_i) = \left[\prod_{i=1}^n \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \right) \right] e^{-\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left(\frac{p_i - \mu_p}{\sigma} \right)^2}$$

con una media μ_p condicional a k variables. Y θ es el vector de todos los parámetros del modelo

Por otra parte, si la variable de precio (p) está en logaritmo ($\ln(p)$), entonces su función de verosimilitud es:

$$L_0(\theta/p_i) = \left[\prod_{i=1}^n \left(\frac{1}{p_i \sqrt{2\pi\sigma^2}} \right) \right] e^{-\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\ln(p_i) - \mu_p}{\sigma} \right)^2}$$

Al tomar logaritmo a las funciones $L(\theta/p_i)$ y $L_0(\theta/p_i)$, se tienen parte de los argumentos del AIC para cada modelo:

$$\ln L(\theta/p_i) = -\frac{n}{2} \ln(2\pi) - \frac{n}{2} \ln(\sigma^2) - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left(\frac{p_i - \mu_p}{\sigma} \right)^2$$

$$\ln L_0(\theta/p_i) = -\frac{n}{2} \ln(2\pi) - \frac{n}{2} \ln(\sigma^2) - \sum_{i=1}^n \ln(p_i) - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\ln(p_i) - \mu_p}{\sigma} \right)^2$$

Por lo tanto, si ambos modelos de regresión poseen las mismas variables explicativas (k), entonces el AIC corregido y comparable con el AIC del modelo lineal es:

$$AIC_{\text{corregido}} = AIC_0 + 2 \sum_{i=1}^n \ln(p_i)$$

donde,

$$AIC_0 = 2k - 2\ln L_0(\theta/p_i)$$

6.3. Cuadro resumen de estimaciones *log-log*

El siguiente cuadro presenta los promedios de los coeficientes estimados del modelo seleccionado (Modelo *log-log*), en base al criterio mencionado previamente. La mayoría de los parámetros estimados resultaron significativos y sus promedios reflejan ordenes de magnitud dentro de lo esperado.

| Estimación del modelo log-log | | | |
|--|----------------|-----------------------|------------------------|
| | Coefficientes* | Significancia al 5%** | Significancia al 10%** |
| constante | 4.082 | 99.5 % | 99.5 % |
| dummycasa (Casa=1, Depto=0) | -2.046 | 92.0 % | 84.9 % |
| dummygrupo 2 (Nor-Poniente=1, resto=0) | -1.605 | 64.8 % | 52.8 % |
| dummygrupo 3 (Nor oriente=1, resto=0) | -0.434 | 56.8 % | 44.2 % |
| dummygrupo 4 (Sur=1, resto=0) | -2.032 | 91.5 % | 83.9 % |
| lnsup (log superficie construida) | 0.821 | 100.0 % | 100.0 % |
| lnsupca (dummycasa*lnsup) | 0.410 | 89.9 % | 84.4 % |
| lnsupg2 (dummygrupo2*lnsup) | 0.356 | 61.3 % | 49.7 % |
| lnsupg3 (dummygrupo3*lnsup) | 0.205 | 76.9 % | 66.3 % |
| lnsupg4 (dummygrupo4*lnsup) | 0.467 | 91.0 % | 81.4 % |
| R ajustado (promedio) | 0.910 | | |
| N° observaciones (promedio) | 683 | | |

*Promedio de la serie de coeficientes

**Porcentaje en que el coeficiente estimado resultó significativo al 5 % y 10 %, respectivamente

6.4. Cuadro resumen de variaciones de índices de precios versus medianas de precios

Variación de precios para las viviendas nuevas del Gran Santiago, trimestre móvil 2004 a 2010

| | Índice de Precios | Medianas |
|-----------------------|-------------------|----------------|
| Índice General | 8.8 % | -8.9 % |
| Casas | 23.9 % | -16.1 % |
| Nor-Poniente (2) | 22.5 % | 5.4 % |
| Nor-Oriente (3) | 6.6 % | 8.5 % |
| Sur (4) | 20.9 % | 16.3 % |
| Departamentos | 0.3 % | -6.8 % |
| Santiago (1) | 13.3 % | 13.8 % |
| Nor-Poniente (2) | 7.0 % | -2.9 % |
| Nor-Oriente (3) | -5.0 % | 8.6 % |
| Sur (4) | 3.6 % | -6.8 % |

6.5. Ponderadores mensuales según gasto en vivienda

Ponderadores mensuales según gasto en vivienda (a)

| Para índice general | | | | | | | |
|---------------------|--------|-------|--------|--------------|-------|--------|-------|
| Casa | | | | Departamento | | | |
| | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Promedio | 10.2 % | 8.2 % | 11.9 % | 11.4 % | 3.2 % | 51.4 % | 6.0 % |
| Desviación | 3.7 % | 3.6 % | 3.6 % | 5.2 % | 1.4 % | 10.1 % | 2.7 % |

Nota: (1) Santiago; (2) Nor-Poniente; (3) Nor-Oriente; (4) Sur.

Ponderadores mensuales según gasto en vivienda (b)

| Para casas | | | | Para Departamentos | | | |
|------------|--------|--------|--------|--------------------|-------|--------|-------|
| Casa | | | | Departamento | | | |
| | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Promedio | 33.7 % | 27.0 % | 39.3 % | 16.3 % | 2.0 % | 73.7 % | 7.9 % |
| Desviación | 10.2 % | 10.3 % | 8.6 % | 7.2 % | 2.6 % | 12.2 % | 4.1 % |

Nota: (1) Santiago; (2) Nor-Poniente; (3) Nor-Oriente; (4) Sur.