

Un modelo para seleccionar atributos de un edificio residencial que maximiza el precio de venta

A model to select attributes of a residential building that maximizes sales price

Fecha de entrega: 9 de septiembre 2015

Fecha de aceptación: 28 de marzo 2016

Roberto Schovelin¹ y Josep Roca²

¹ Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad del Bío Bío, Av. Collao 1202, Concepción, Chile, rschovel@ubiobio.cl

² Department de Construccions Arquitectòniques I, Universitat Politècnica de Catalunya, Av. Diagonal 649, 08028 Barcelona, España, josep.roca@upc.edu

El objetivo del trabajo fue construir un modelo para seleccionar los atributos que un proyecto inmobiliario residencial de edificios nuevos y los departamentos del mismo deben tener para maximizar el ingreso que se puede obtener al comercializarlo. El modelo de diseño define para cada departamento, la superficie, la cantidad de unidades y el precio unitario proyectado. Para el proyecto inmobiliario define sus características como modelos de departamentos, cantidad de departamentos y atributos adicionales del mismo. El precio de los departamentos, depende de la combinación de atributos de la localización, propias del proyecto y los de los departamentos. Estas relaciones entre atributos y precios se obtuvieron de modelos hedónicos aplicados a edificios nuevos y sus respectivos modelos de departamentos que se ofrecían en la ciudad de Concepción. Para diseñar el proyecto inmobiliario se usa modelo de optimización que maximiza el ingreso del proyecto residencial, permitiendo que las variables atributos se ajusten, acotadas según corresponda por restricciones físicas, legales, arquitectónicas y económicas. Al aplicar el modelo de diseño, las variables de localización corresponden a las definidas por el gestor inmobiliario para localizar el proyecto, por lo tanto, las fija el mismo, al igual que la superficie de terreno para el proyecto. El modelo de diseño sólo considera como variables de salida, las relacionadas con la urbanización del proyecto y las de los departamentos. El modelo de optimización optimiza por plantas de edificios, los que pueden tener uno o más modelos de departamentos.

Palabras clave: diseño económico de departamentos, modelos hedónicos, optimización de precios

The objective of the work was to build a model to select the attributes that a new apartment building project and the apartments in it should have in order to maximize the incomes when it is commercialized. The design model defines the surface, the amount of units and the projected unit price for each apartment layout. For the real estate project it defines its characteristics such as apartment layout and their additional attributes. The prices of the apartments depend on a combination of location attributes, typical of the project and of the apartments. These relations between attributes and prices were obtained from hedonic models applied to new buildings and their corresponding apartment's layout that were offered in the city of Concepción. The model to design the real estate project is an optimization model that maximizes the profit of the project, allowing the attribute variables to be adjusted, and delimited according to physical, legal, architectural and economic restrictions. By applying the design model, the location variables correspond to those defined by the real estate agent to locate the project; therefore, they are set by him, as well as the field surface for the project. The design model only considers as output variables those related to the urbanisation of the project and those of the apartments. The optimization model optimizes buildings per floors, which could have one or more apartment layouts.

Keywords: economic apartments design, hedonic models, prices optimization

Introducción y problema

Los proyectos inmobiliarios son costosos y como no son un bien de consumo típico que si es exitoso se puede

replicar en igualdad de condiciones, obliga al inversionista a planificar cuidadosamente su diseño. Los altos montos de inversión que involucran son mayores, cuando los

proyectos inmobiliarios son edificios de departamentos. Cuando un gestor inmobiliario proyecta la construcción de un nuevo edificio, además de la dificultad relacionada con el alto capital que se requiere, debe definir exactamente el proyecto que introducirá al mercado. Ello implica definir la localización y el diseño; sin embargo estos factores no son completamente independientes, ya que para el demandante de viviendas, la localización y el diseño son parte del producto a adquirir. Si el gestor inmobiliario no ofrece el producto que los consumidores desean, esto implicará baja velocidad de venta y castigo en precio, lo que puede hacer que el proyecto genere pérdidas al inversionista. El demandante de departamentos está dispuesto, o desea compartir espacios físicos cerrados de la construcción, ya sea por motivos de seguridad, obtener una localización que no podría en una vivienda unifamiliar, u obtener servicios adicionales compartidos, para disminuir su costo, como por ejemplo piscina. Para decidir localización, un demandante de departamento al menos busca accesibilidad, belleza del entorno y afinidad socio-cultural como económica de los vecinos. Respecto al diseño, el consumidor busca estilo y terminaciones al menos promedio de la localización, buenos servicios públicos para los residentes, además de espacio adecuado a su nivel sociocultural y económico. Todos ellos se denominarán atributos y características del proyecto, que provienen de la localización geográfica, de lo que el proyecto en general contiene y de lo que cada departamento es. En el diseño del proyecto inmobiliario se incorporan variables objetivas, que son las características o atributos y también variables subjetivas relacionadas con el estilo del edificio y los departamentos. Debido a que localizaciones más demandadas generalmente tienen mayor precio, existe además una relación directa entre dichas localizaciones y departamentos más costosos. Por ello, la clave es definir el diseño más adecuado en función de la localización. En la medida que el gestor inmobiliario interpreta correctamente la combinación localización y diseño del proyecto, éste se venderá a buen precio y en corto tiempo. El problema es que el gestor inmobiliario debe decidir localización para apuntar a un segmento de mercado y luego realizar el diseño que realmente cautive a ese segmento de mercado.

Uno de los mayores problemas que enfrenta la industria inmobiliaria, es la estimación de demanda futura, sin embargo, un problema no menor es también la dificultad

para proporcionar los productos que el mercado requiere en el momento oportuno. Para resolver el primer tema, se debe hacer estudios de oferta y demanda, o econométricos, para proyectar la evolución del mercado. El segundo problema, normalmente se aborda recurriendo a la experiencia del gestor inmobiliario. Los que demandan departamentos, saben que no es posible que un edificio se diseñe de acuerdo a sus gustos y necesidades, como puede ocurrir con una casa, ya que saben que el espacio privado será solamente el departamento, siendo el resto del edificio un espacio público de residentes. Por ello que deben optar por un departamento que se encuentre en un edificio ya construido, o al menos proyectado. Las inmobiliarias entonces deben esforzarse en entregar departamentos y edificios que sean atractivos para el mercado. Entonces el proyecto corresponde a la visión del gestor, quien a su vez la recoge de la percepción que tiene, de lo que desean los demandantes respecto a las características que los departamentos y el edificio deben tener. El problema es que no siempre el inversionista inmobiliario acierta y cuando no lo hace, sus proyectos no son exitosos.

La finalidad del trabajo es desarrollar un modelo para ayudar al gestor inmobiliario a seleccionar la combinación de atributos y características que deberá poseer el edificio y departamentos, en una localización específica de la ciudad, que maximicen el ingreso a obtener del proyecto. Esto no consiste en diseñar un proyecto que sea atractivo para todos los consumidores, sino que diseñar un proyecto que interprete al máximo, lo que los consumidores desean en una localización específica, de acuerdo a experiencias de compra anteriores. El gestor inmobiliario construye edificios que tienen departamentos y son estos últimos los que se venden individualmente, siendo los demás atributos del edificio, incorporados proporcionalmente en el costo de los departamentos. Por lo tanto, el ingreso que proporciona el proyecto al inversionista, está en función del número de departamentos que se venden, por su correspondiente precio. El gestor debe balancear en su ecuación la cantidad de departamentos que construirá y el precio de cada uno, que depende de las características del mismo, de las características del proyecto edificio y del lugar físico en que se emplaza, velando por cumplir las restricciones propias de todo proyecto inmobiliario.

El trabajo se realizó y aplicó en la ciudad de Concepción

Metropolitano en Chile, que corresponde al área urbana de la provincia de Concepción en la región del Bío Bío. Es la principal agrupación urbana de la región, está subdividido en 6 administraciones comunales: Concepción, Talcahuano, Chiguayante, San Pedro de la Paz, Hualpén y Penco. Las edificaciones normalmente no superan los veinte pisos de altura. Para resolver el problema, se construyó un modelo de optimización que maximiza el precio de cada planta de edificio, debido a que puede haber plantas de distintas superficie en un edificio. Este modelo adicionalmente está sujeto a restricciones que se agruparon en restricciones físicas, arquitectónicas, legales y económicas. Como productos, además del precio de planta, se tienen la cantidad de departamentos, el precio de cada uno, las características de los departamentos y las características propias del proyecto. El objetivo del trabajo es construir un modelo para diseñar un proyecto de edificio de departamentos que maximice el precio del proyecto inmobiliario, combinando atributos de los departamentos, del proyecto inmobiliario y de la localización.

Marco teórico

Primero fue necesario encontrar el conjunto de características que los consumidores desean y valoran de los departamentos, los edificios y el entorno en el casco urbano. La finalidad en esta etapa era encontrar los parámetros de cada característica, que son los que indican la proporción en que aportan al precio total del departamento. Esto se puede resolver utilizando alguna herramienta matemática, como modelos hedónicos o redes neuronales, que relacione precio (variable dependiente) y atributos de un departamento (variables independientes). En este caso se utilizó un modelo hedónico, debido a que se encuentra más ampliamente difundido. Posteriormente es necesario usar un algoritmo de optimización que maximice el precio del proyecto inmobiliario en función de la combinación de variables (atributos y características) y de las restricciones imperantes. No se contempla incorporación de costos en el modelo, ya que estos dependen de la capacidad de gestión de la inmobiliaria, o la capacidad de negociación con la empresa constructora.

Modelos teóricos microeconómicos

En la primera mitad del siglo XX la teoría microeconómica moderna fue capaz de llegar a explicar el mecanismo de la

formación de los precios en los mercados. Enseguida los economistas comenzaron a tratar de explicar el mecanismo de la formación del precio del suelo, lo que constituye un gran desafío a la teoría económica, al ser un mercado bastante imperfecto. La heterogeneidad de las viviendas se debe básicamente a la localización, que le imprime características muy particulares, ya que el resto de las características, como composición de suelo, dimensiones y características geológicas, es posible que se puedan repetir de un sitio a otro. En los mercados, el precio es la resultante de las fuerzas de oferta y demanda. El problema es que las viviendas ofrecidas tienen características que otras no pueden replicar, como la localización ya sea horizontal o vertical. Los demandantes compiten por localización, lo que hace del mercado de viviendas un mercado complejo que se asemeja a como operan los remates. Debido a esto, han resultado más exitosos los modelos orientados a explicar el precio de las viviendas y el precio del suelo en función de las características que ofrecen, denominados modelos hedónicos.

Modelos hedónicos

Los primeros modelos hedónicos aplicados a viviendas fueron de Muth (1961, 1969) y Alonso (1964), en estudios sobre localización de viviendas. Estos trabajos se siguieron desarrollando y perfeccionando por Becker (1965) y Lancaster (1966). Sin embargo, Rosen (1974) desarrolló los lineamientos teóricos de los modelos hedónicos, estableciendo que los bienes tienen una serie de características que son las que los consumidores valoran. Por ello, los modelos hedónicos, que son modelos estáticos, plantean que el precio de un bien está en función de una serie de atributos o características que igualan el precio de oferta y demanda por esos atributos. Por lo tanto, se supone que la utilidad que le proporciona la vivienda al consumidor está en función de los atributos que posee y que son valoradas en un precio que el consumidor está dispuesto a pagar y el productor está dispuesto a recibir. La postura formal de Rosen fue un modelo de dos etapas, una diseñada para obtener los precios y la segunda que es la demanda implícita de cada uno de los atributos o características del bien. Posteriormente, Palmquist (1984) incorporó atributos asociados a la calidad, dimensión de la vivienda y también características inherentes del vecindario, como homogeneidad y nivel de ingreso de

los jefes de hogar. Sin embargo, no todo ha sido positivo porque los trabajos de Brown y Rosen (1982) plantearon que existe un problema de identificación en la segunda etapa del modelo propuesto por Rosen, que puede incluso invalidar algunos trabajos.

En Latinoamérica también se han realizado estudios de precios hedónicos de viviendas. Stumpf y Torres (1997) aplicaron los precios hedónicos para precios de alquiler residenciales en Brasil. En Argentina, Meloni y Ruiz (1998) desarrollaron un modelo hedónico de precios de terrenos residenciales en Tucuman. A su vez, Moore *et al.* (1999) desarrollaron un modelo hedónico de precios de viviendas para tasaciones en Mendoza. Trabajos realizados por Caridad y Ceular (2001) han ido probando que estimaciones de precios de viviendas resultan más certeras utilizando redes neuronales artificiales que regresiones múltiples.

El primer trabajo sobre aplicación de modelo de precios hedónicos en Chile fue realizado por Lira (1978). Posteriormente, Figueroa y Lever (1992) desarrollaron un modelo hedónico sobre el mercado de los suelos urbanos y bienes inmobiliarios. Un año después, Gutiérrez y Wunder (1993) desarrollaron un modelo hedónico de precios de suelo urbano en la zona urbana del Gran Santiago. Azqueta (1994) desarrolló un trabajo sobre valorización económica de la calidad ambiental. Sobre índice de viviendas, Desormeaux y Piguillem (2003) usaron modelos hedónicos. Quiroga (2005) desarrolló un modelo hedónico de características de viviendas sociales de la Región Metropolitana incorporando el tiempo de viaje al trabajo como costo de la vivienda. Luego, Sagner (2009) escribió sobre las determinantes del precio de la vivienda en Chile y después acotó el trabajo a la Región Metropolitana de Santiago (Sagner, 2011). Otro trabajo realizado sobre el índice de viviendas nuevas, corresponde a un trabajo realizado para la Región Metropolitana de Santiago por Idrovo y Lennon (2011).

Procedimientos y variables utilizadas

Los trabajos han ido convergiendo a que las formas funcionales que relacionan precio de vivienda con sus respectivas características, son relaciones logarítmicas. No obstante lo anterior, existen trabajos con otras formas funcionales. Respecto a las características, se

han confeccionado agrupaciones y subagrupaciones de éstas, pero que se pueden separar básicamente en dos. Las primeras son características inherentes a la vivienda, como por ejemplo tamaño, número de habitaciones, número de baños, tipo de vivienda, etc. Las segundas son características inherentes a su localización, como por ejemplo, calidad del sector en que se emplaza, distancia al centro, homogeneidad del sector, equipamiento disponible, ingreso medio del sector, etc. Es conveniente señalar que, además de características cuantitativas como por ejemplo superficie de la vivienda, se pueden incorporar características cualitativas, como calidad. En el caso de las variables cualitativas, se utilizan con frecuencia las variables *dummy* para incorporarlas al modelo. Uno de los problemas presentes en las regresiones ha sido la heterocedasticidad. Rogers (2000) presentó un estudio que exploró los errores en regresiones de modelos hedónicos, demostrando el efecto de la falta de introducir una variable potencialmente influyente en una regresión.

Modelos de optimización

Los modelos de regresión múltiple y redes neuronales son también modelos de optimización porque mejoran una función, a una serie que relaciona las variables independientes con la variable dependiente. No obstante lo anterior, la referencia aquí es para modelos que maximizan u optimizan una función sujeto a restricciones. Estas técnicas fueron utilizadas por primera vez para organizar el desembarco de Normandía durante la segunda guerra mundial, con el fin de maximizar la cantidad de efectivos y pertrechos, sujeto al tiempo disponible y cantidad de recursos para llevarlo a cabo. Posteriormente, esta herramienta se ha utilizado intensamente en problemas de ingeniería. En términos genéricos, un problema de optimización puede ser representado por la siguiente fórmula matemática:

Optimizar $f(x)$

Sujeto a $g_i(x) \geq b_i$; para $i = 1, \dots, n$ (1)

$x \geq 0$

donde f es la función a optimizar y g_i corresponde a la i -ésima restricción del problema. Las variables de diseño se representan por el vector x de dimensión n , no negativo.

Selección de variables y toma de datos

La toma de datos incorporó información cuantitativa y cualitativa que debían explicar comportamiento de precio de los departamentos de los proyectos existentes, asociadas a los tres tipos previamente identificados; localización y entorno, al proyecto inmobiliario que es el edificio con espacios comunes y finalmente los departamentos. El trabajo en terreno consistió en recopilar información de la totalidad de los proyectos inmobiliarios en ofertando entre los años 2008 y 2010. Esto fue para contar con el máximo de datos de todos los modelos de departamentos¹ en oferta en ese momento. Los precios de los departamentos corresponden al precio publicado por las inmobiliarias y no al precio de venta final, que es resultante de una negociación privada entre las partes. La toma de datos finalizó con un total de 37 proyectos de edificios, con un total de 91 bloques, con 6291 departamentos y 201 modelos de departamentos, que son los de interés para este estudio, ya que contienen características comunes propias que interesan para el modelo de precios hedónico. Para cada uno se tomaron 50 datos característicos, pertenecientes a las tres categorías, por lo tanto, el tamaño final de la base de datos en una planilla Excel para departamentos ocupó 10050 celdas.

Aunque el terremoto de magnitud 8.8 que afectó el 27 de febrero de 2010 la zona en estudio frenó bruscamente la construcción, el impacto ha sido menor a lo esperado y se fue normalizando durante el resto del año. El primer impacto fue la disminución en la demanda de edificios y el aumento en la demanda de casas, situación que se fue revirtiendo durante el 2011 y 2012 hasta llegar a los valores anteriores al sismo. Esto concuerda con los resultados de los trabajos realizados por Beron *et al.* (1997) que encontraron que los efectos de un terremoto tienen un impacto negativo en el mercado de la vivienda, que desaparece paulatinamente hasta recobrar la normalidad. Las inmobiliarias tampoco resultaron gravemente afectadas, debido a que los stock que manejaban, les permitieron cumplir los compromisos económicos contraídos. Adicionalmente, los proyectos de reconstrucción les permitieron mantener su actividad en los períodos más críticos del año. Debido a lo anterior, el país, a pesar del terremoto, logró cifras de crecimiento del

¹ Modelo de departamento, se define para el trabajo como departamento prototipo de un edificio que se replica con especificaciones idénticas y precios iguales.

PIB del 5.2% en el año 2010.

Modelos de precios hedónicos

Es importante en este estudio que el modelo de precios hedónico integre la mayor cantidad de variables independientes. Más variables permitirán construir un modelo de optimización en que más variables se combinan para maximizar el precio. Debe contener variables de localización, del proyecto inmobiliario y de los departamentos. Por lo tanto, mientras más variables contenga el modelo final, más información sobre características de la vivienda le entrega al gestor inmobiliario y al arquitecto que las diseñará. Esto puede hacer que algunas de las variables del modelo se correlacionen entre sí. Lo anterior afecta la calidad en que cada variable independiente por sí sola incide en el precio. Sin embargo, en este caso el objetivo no es aislar el impacto de una variable en el precio, el objetivo es predecir el precio en base a la mayor cantidad de variables actuando simultáneamente, sin importar el aporte individual al precio. Por eso, se trabajó con modelos de precios hedónicos en que sólo se veló porque las variables sean significativas. Para la localización, debido a que el proyecto involucra 5 comunas con sus propios centros comerciales, en vez de incluir distancias al centro, se incorporaron barrios, ya que éstos tienen implícitas ciertas características propias, que desglosadas pueden ser demasiadas y difíciles de identificar. Un barrio incorpora una identidad social, económica, etaria y cultural de sus habitantes, además de características particulares de su infraestructura. Como se trata de muchas variables, es muy complejo incorporar todas las que identifican un barrio en un modelo. Por esta razón se incorporó el barrio como una variable cualitativa, que influye en el precio de las viviendas que están localizadas en él. Como los proyectos nuevos se dan en muchos barrios, se deben incorporar muchas variables independientes al modelo. Para evitarlo fue necesario buscar un mecanismo que permitiera incorporar todos los barrios, con un mínimo de variables. Para ello se recurrió al esquema de conteo binario, en que la combinación de éstas, es la que compone una localización o barrio.

En la base de datos se individualizaron 24 barrios o localizaciones, por lo tanto, se debieron usar 5 variables binarias, lo que permite 32 combinaciones y sobraron

ocho. Los criterios para definición de límites geográficos de barrios, fue en base a homogeneidad en valoración media de viviendas, antigüedad promedio, identidad socio cultural de los habitantes, rango etario y vías de acceso. En el modelo de precios hedónico, para cada modelo de departamentos, fue necesario incorporar cinco variables binarias que definen un barrio. Es importante destacar que la combinación de las cinco variables binarias, son las que identifican cada barrio, por lo tanto, si una variable no resulta significativa, no se puede utilizar este esquema. El modelo seleccionado por sus buenos resultados, fue un modelo logarítmico, en que 33 variables independientes resultaron significativas en más de un 93.7%. Es un modelo logarítmico de precios de departamentos que se obtuvo utilizando SPSS para Windows, versión 13.0. El modelo se muestra a continuación:

$$\ln(\text{precio depto en UF}) = \sum A_j \text{VAR}_j \quad (2)$$

A_j : coeficientes, VAR_j : variables que explican el precio, j : número de la variable que va de 1 a 43. Las variables 9, 11, 18, 20, 22, 23, 28, 32 y 36 no aparecen porque no resultaron significativas.

Resultados del modelo hedónico para departamentos

Las Tablas 1 y 2 muestran las variables, los coeficientes obtenidos del modelo de precio hedónico seleccionado y los indicadores más importantes.

El modelo seleccionado aprobó el test de autocorrelación, señalando que éste no está autocorrelacionado. Aunque no se trata de una serie temporal sino que de una serie transversal, el test de autocorrelación se aplicó igual. Porque, si se hubiese detectado autocorrelación en este caso, podría haber indicado una mala especificación del modelo, más que pura autocorrelación. Una mala especificación puede deberse a variables relevantes que se han omitido o hay un sesgo de especificación debido a excluir variables que están correlacionadas con otras, que sí se incluyeron en el modelo.

Todas las variables tienen una probabilidad inferior a 6.3% de no ser significativas, lo que indica que las variables seleccionadas son significativas para el modelo. Los únicos tests que el modelo no aprobó, son los de multicolinealidad en alguna de sus variables, lo que era

esperable, dado el gran número de ellas. Pero como lo que interesa es la precisión de la predicción del modelo, y en este caso es de un 95.6%, la multicolinealidad se puede tolerar, porque la finalidad de este modelo no es explicar el impacto de cada variable en el precio. La finalidad es predecir el precio en base a la interacción de todas las variables independientes seleccionadas. Esto se debe a que el modelo de optimización no selecciona las características de a una, sino que las combina todas, hasta encontrar la combinación que maximiza precio de la planta del edificio. Las variables 2 a la 19 corresponden a características de la localización del terreno donde se emplaza el edificio. Las cinco primeras son para representar uno de los 24 barrios. Las variables 20 a la 32 presentan las características del proyecto de edificio. Finalmente, las últimas variables corresponden a características del departamento.

Modelos de optimización para plantas de edificios

El objetivo del trabajo es maximizar el ingreso de un proyecto inmobiliario. Sin embargo como un edificio puede tener plantas con distinto diseño, el modelo de optimización se utiliza para maximizar el precio de cada planta de un edificio que está en función de la localización, del proyecto y características de los departamentos (corresponden a las variables del modelo hedónico). Además el modelo proporciona el precio de cada departamento y la cantidad de departamentos que contiene el proyecto sujeto a las restricciones. Las restricciones son físicas, económicas, legales y arquitectónicas. Las restricciones físicas y legales son propias del terreno donde se localizará el proyecto. Las restricciones económicas y arquitectónicas son restricciones del mercado, que está compuesto por demandantes y oferentes. El precio por planta de un edificio se calcula multiplicando el precio de cada departamento, por el número de éstos. El modelo combina las variables que explican precio mediante sus coeficientes, la cantidad y superficie de cada departamento de manera de maximizar el precio de la planta. Para tener el precio de venta del edificio, se debe multiplicar el precio de cada planta, por el número de ellas que posee el edificio. En la realidad, la cantidad de plantas de un edificio la puede limitar el plano regulador comunal, la superficie del terreno, el capital disponible del inversionista, o el diseño armónico proporcionado por el arquitecto. Esta

Tabla 1: Variables significativas y coeficientes del modelo de precios hedónico de departamentos

Nro. Var.	Nombre de variable independiente	Coeficiente
Constante	(Constante)	6.78631594
VAR00002	VFB1	0.35994819
VAR00003	VFB2	-0.18569203
VAR00004	VFB3	-0.14445639
VAR00005	VFB4	-0.10260632
VAR00006	VFB5	-0.19749394
VAR00007	Facilidad de accesibilidad desde y hacia la ciudad (1 = alta, 2 = media, 3 = baja)	-0.55993839
VAR00008	Grado de homogeneidad del sector (1 = alta, 2 = medio, 3 = bajo)	0.07673682
VAR00010	Cercanía supermercado (1 = menos de tres cuadras)	-0.41137142
VAR00012	Cercanía a colegios o escuela (1 = seis cuadras o menos)	-0.27839376
VAR00013	Cercanía a hospitales o clínicas (1 = cinco cuadras o menos)	0.16751292
VAR00014	Cercanía a <i>pubs</i> (1 = dos cuadras o menos)	0.52988924
VAR00015	Cercanía a plazas o parques (1 = dos cuadras o menos)	0.47265946
VAR00016	Cercanía a empresas con fuentes de contaminación (0 = no, 1 = sufre efectos directos)	0.44425995
VAR00017	Grado de urbanización del sector (pavimentación, alcantarillado, iluminación).(1 = buena, 2 = mediana, 3 = baja)	-0.20615387
VAR00019	Belleza del sector (1 = feo sin bellezas naturales, 2 = con algunos entornos verdes, 3 = con entornos verdes, 4 = con entornos verdes y cuerpos de agua lejanos, 5 = con entornos verdes y cuerpos de agua mayores, 6 = hermoso)	-0.12181727
VAR00021	Cantidad de modelos de departamentos (cantidad)	0.0506147
VAR00024	Posee gimnasio (1 = si, 0 = no)	0.27333836
VAR00025	Posee piscina (1 = si, 0 = no)	-0.30639269
VAR00026	Posee bodega (1 =si, 0 = no)	-0.29119695
VAR00027	Posee ascensor (1 = si, 0 = no)	0.52648454
VAR00029	Posee juegos infantiles (1 = si, 0 = no)	0.06901508
VAR00030	Posee sala de eventos o multiuso (1 = si, 0= no)	-0.09265967
VAR00031	Número de departamentos por planta (cantidad)	-0.03040951
VAR00033	Superficie de los departamentos sin terraza (en m ²)	-0.00363818
VAR00034	Número de dormitorios por departamento + estar (cantidad)	0.19861937
VAR00035	Número de baños por departamento (cantidad)	0.25408963
VAR00037	Posee calefacción central (1 = si, 0 = no)	0.24091934
VAR00038	Posee cocina completa (1 = si , 0 = no)	0.68809062
VAR00039	Posee cocina abierta (1 = si , 0 = no)	-0.19600521
VAR00040	Posee dependencia de servicio con baño incluido (1 = si , 0 = no)	0.66214668
VAR00041	Calidad de construcción (1 = aluminio simple, alfombra recubrimiento básico, 2 = aluminio simple, alfombra y cerámico recubrimiento bueno, 3 = aluminio simple o doble, piso flotante o cerámico recubrimiento bueno, 4 = aluminio doble o PVC simple, piso flotante o cerámico, recubrimiento muy bueno. 5 = PVC doble, piso flotante, recubrimiento excelente)	-0.27773702
VAR00042	Terraza (en m ²)	0.0037425
VAR00043	Superficie promedio de habitaciones (medida en m ²)	0.10510047

Tabla 2: Indicadores del modelo de precios hedónico de departamentos

R ²	0.963
R ² corregido	0.956
Error típico estimación	0.08270
F	133.56

es la segunda razón por la cual se optimiza por planta y no todo el edificio. Si por legislación o estética el edificio va reduciendo su superficie en la medida que asciende, el modelo de optimización debe aplicarse nuevamente con las nuevas restricciones de tamaño de planta. Las áreas comunes solo se consideran como restricción, ya que el inversionista no las puede vender por separado y deben ser incluidas en el precio de los departamentos. Lo mismo sucede con los servicios asociados, como estacionamiento, piscina, bodega, sala de entretenimiento u otros servicios que pueda incluir el proyecto aunque sí aumentan el valor de los departamentos.

Función de optimización

El modelo de optimización consta de una función objetivo cuya finalidad es maximizar el valor de cada planta del edificio, sujeto a 26 restricciones, las que se detallan más adelante. Las variables del modelo son las asociadas al proyecto inmobiliario y a cada departamento, ya que las de localización se fijan al momento de seleccionar ésta. Las variables son 17, en que 10 son binarias, 3 son enteras y 2 pueden tomar cualquier valor no negativo. El modelo es no lineal y para resolverlo se utilizó Solver de Excel. La Función Objetivo del modelo de optimización es:

Max. Valor Planta = Número de Deptos x Precio Depto.

En que:

$$\text{Precio Depto} = \exp[\text{Cte} + \sum \text{Var}(2:42) + \text{Sup Prom Habs (Var 43)}] \quad (3)$$

Nota: La constante Cte y las variables Var 2 al 42 corresponden a los resultados del modelo de precios hedónico y excluyen las variables 9, 11, 18, 20, 22, 23, 28 y 32, porque no fueron significativas. Se aplica la función exponencial porque el modelo de precios hedónico es logarítmico.

Las restricciones a la Función Objetivo se encargan de acotar los valores que pueden tomar las variables. A continuación se muestran las restricciones a las que está sujeto el modelo. Las variables Var son las del proyecto inmobiliario y los departamentos que se validaron en el modelo hedónico. Las ocho primeras restricciones son de orden, para que el modelo opere bien matemáticamente para fijar variables que deben ser enteras o binarias,

cantidad mínima de departamentos por planta, calidades máximas y mínimas, todo esto de manera que el modelo las fije como corresponde. Las seis restricciones siguientes son de tipo arquitectónicas de manera que el departamento cuente con espacios lógicos y armónicos como los que se detallan: superficies promedio mínimas, cantidad mínima de dormitorios y baños. Diferencias máximas y mínimas entre dormitorios y baños. También se limitó que cocina americana no es compatible con dependencia de servicios. Los valores de las restricciones se cotejaron con arquitectos. Las dos restricciones siguientes son de tipo físico y legal, de manera de cumplir con las normativas impuestas en los planes reguladores comunales y seccionales. El tamaño del terreno donde se emplaza el o los edificios condiciona los tamaños de planta y también la normativa legal impone restricciones adicionales. Las diez últimas restricciones son económicas, impuestas por el gestor inmobiliario en base a sus posibilidades reales de comercialización y/o construcción. Los valores utilizados para probar el modelo corresponden a la holgura máxima, la que fue obtenida de la base de datos. Los valores que aparecen en las restricciones son válidos actualmente, pero pueden cambiar en el futuro. Si este modelo se aplica en otra ciudad, los valores de las restricciones también deben ser adecuados a su realidad. La cantidad de modelos de departamentos es conveniente que sea determinada por el inversionista, pero si éste lo desea, es posible que la determine el modelo. En ese caso se debe incorporar como restricción adicional que esta variable sea entera. Un edificio con más de cinco plantas debe tener ascensor, pero si tiene menos de cinco plantas puede tener ascensor si el inversionista lo desea, siendo éste quien determine esta variable.

En el modelo de optimización se incorporó la variable 36, que es si posee comedor independiente o no lo posee, no obstante que no fue significativa en el modelo hedónico. Por eso el coeficiente que lo acompaña en este caso para predecir es cero, no incidiendo en el precio del departamento. Su incorporación fue necesaria para construir la variable 44 Sup Prom Habs (superficie promedio de las habitaciones) que sí es significativa. La variable 44² que es la superficie promedio de las habitaciones, a diferencia de

² La superficie promedio corresponde a la superficie total dividido por la cantidad de dormitorios, baños, comedor independiente, dos espacios más que corresponden a living y cocina, cocina abierta si la tiene y por último dependencia de servicio que se multiplica por 2 por ser dormitorio con baño.

las anteriores no se deja variar independientemente por el modelo de optimización, sino que se construye de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$Var\ 44 = \frac{Var\ 33}{Var\ 34 + Var\ 35 + Var\ 36 + 2Var\ 39 + 2Var\ 40} \quad (4)$$

Por lo tanto, la variable 44 es la resultante de los valores de las otras variables independientes. En el modelo de optimización, el inversionista inmobiliario puede incorporar nuevas restricciones que estime convenientes, como por ejemplo precios máximos o mínimos, superficies máximas o mínimas, materialidad del piso y ventanas, etc. En este caso, el modelo sólo combinará las variables o atributos que el inversionista permita combinar al maximizar el precio, o bien le permita combinar dentro de un rango acotado.

Funcionamiento del modelo

La metodología usada en el diseño de los edificios, es comenzar por las plantas de mayor superficie, que parten en el segundo o tercer nivel del edificio. Si no hay restricciones adicionales con la altura, se mantendrán sin cambios de superficie hasta la última planta. Otras veces, la o las últimas plantas deberán tener menos superficie. La o las primeras plantas también son distintas porque incorporan la recepción y en algunos casos servicios comunes como sala de evento u otros. Finalmente se suman los ingresos por planta para tener el valor del edificio. Al ejecutar el modelo de optimización, las variables asociadas a la localización se entran como datos fijos, encargándose solamente el modelo de combinar las variables asociadas al proyecto y los departamentos. El precio del departamento se construye usando el modelo hedónico, en función de características y atributos, que se ponderan con coeficientes. Lo que el modelo hace, es buscar aquella combinación de características o atributos que maximiza el precio de la planta, sujeto a restricciones enumeradas anteriormente. Algunas de estas restricciones se pueden negociar en el modelo, como por ejemplo el precio máximo de departamentos en el sector. También es posible crear nuevas restricciones si el inversionista lo desea, como por ejemplo, la cantidad de departamentos, la calidad de las terminaciones u otras. Si por cada planta del edificio se espera contar sólo con un modelo de departamentos, el modelo de optimización es bastante simple de operar.

Se ejecuta una vez, ya que las restricciones son por la totalidad de la planta. Esto se debe a que el modelo de optimización diseña un modelo de departamento, pero si el inversionista desea más de un modelo de departamentos por planta, lo que es más usual, el modelo de optimización se debe ejecutar más de una vez, utilizando uno de los procedimientos siguientes.

El primer procedimiento es ejecutar el modelo de optimización la primera vez con toda la superficie de la planta y dejar que la cantidad de modelos de departamentos sea una de las variables a obtener. En este caso, la única restricción adicional, debe ser que el número de modelos de departamentos sea inferior a la cantidad total de departamentos. Una vez obtenido el primer diseño, se debe volver a correr el modelo de optimización. Pero antes, se deberá restar al área total de la planta, la superficie que ocuparán las unidades del modelo de departamento obtenido anteriormente (que pueden ser uno o más), de manera que sólo se diseñe departamentos para la superficie de planta restante. La cantidad de unidades del modelo de departamento previo las determina el inversionista. Al ejecutar nuevamente el modelo de optimización, se fijará el número de modelos de departamentos que es la variable 21 y también las características y atributos del edificio, que son las variables 24, 25, 26, 29 y 30. La variable 31, que es número de departamentos por planta, también es atributo del proyecto, pero no se fija como las anteriores. La razón para hacer esto, es que el resto de los departamentos estarán en la misma planta del edificio, la que tiene características comunes para todos los modelos de departamentos que albergue. Este procedimiento debe continuar hasta que se cumpla con el número de modelos de departamentos (variable 21).

El segundo procedimiento es que el inversionista establezca de antemano la cantidad de modelos de departamento por planta (variable 21) al ejecutar por primera vez el modelo de optimización. Para diseñar los siguientes modelos de departamentos, si es más de uno, el procedimiento es similar al anterior.

Otra variable que se puede determinar de inmediato es si poseerá o no ascensor, ya que si el edificio contempla más de cinco plantas, por ley debe tener ascensor. El inversionista también puede fijar de antemano más variables, como por ejemplo la calidad de construcción,

la cantidad de dormitorios, el número de departamentos por planta o la cantidad de modelos de departamentos del edificio. Las variables de la localización son fijadas en función del lugar donde se emplazará el proyecto una vez ejecutado por primera vez el modelo de optimización y diseñado el primer modelo de departamento. Para fijar las variables en el modelo de optimización, una posibilidad es extraerla del listado de variables e introducirla como constante, la otra posibilidad es colocar una restricción sin rango de holgura para ella. El precio por planta no variará si hay más de un modelo de departamento cuando el valor por m² de todos ellos es el mismo. Por lo tanto, la decisión respecto a qué combinación de unidades por modelo de departamento diseñar en cada planta, estará en función de la velocidad de venta. La velocidad de venta debiera ser mayor, mientras más modelos de departamentos se ofrezcan. Debido a que la primera planta del edificio, además de contemplar la recepción, puede tener una superficie menor, si el plano regulador así lo estipula, lo recomendable si no se quiere incorporar nuevos modelos de departamentos, es eliminar uno o más modelos, hasta cumplir con la restricción de superficie. Esto también se puede hacer si la superficie de la primera planta es igual a las demás. En síntesis, se incorporan menos departamentos a dicha planta para que quede superficie disponible para la recepción. En algunos casos esto no es necesario y se incrementa la superficie para incorporar la recepción. Similar procedimiento se puede llevar a cabo en las plantas superiores si son de menor superficie o si no se quieren incorporar nuevos modelos de departamentos. Si el inversionista en estas nuevas plantas de distinta superficie desea nuevos modelos, el procedimiento es similar al descrito anteriormente. El modelo no contempla el diseño de áreas comunes, ya que no se comercializan directamente y tampoco las superficies privadas como bodegas. Estas superficies se pueden localizar en un sector independiente del edificio y, en ese caso, el inversionista dispondrá de menos terreno, por ser considerada superficie edificada en los planos reguladores. Otra alternativa es que las localice en el subsuelo, o las considere en la planta superior. Una vez diseñadas las plantas del o los edificios del proyecto inmobiliario, se suman los precios para obtener el valor proyectado del proyecto inmobiliario.

Aplicación del modelo a casos reales

Para probar el modelo de diseño en una situación real, se buscaron proyectos inmobiliarios de edificios ya aprobados, ya que no fue posible en ese momento encontrar gestores solamente con idea de inversión, que era lo ideal. Esta etapa se desarrolló durante el 2012-2013 y contempló 6 proyectos. Inicialmente se probó el modelo hedónico para ver si predecía correctamente el precio de los departamentos que estaban en etapa reciente de construcción. Posteriormente se aplicó el modelo de optimización de plantas, con las mismas restricciones del proyecto real. Finalmente se obtuvo el precio de cada uno de los proyectos.

Modelo hedónico

Para probar el modelo hedónico de departamentos, se probó en seis proyectos localizados en las comunas del Concepción Metropolitano. En las comunas de Chiguayante, Hualpén y Talcahuano no había nuevos proyectos de edificios, por lo tanto, no se pudo probar el modelo en esas comunas. Para todos los proyectos de edificios, se recogieron 31 variables de la localización, del proyecto y de los departamentos, más los datos de superficie del terreno en que se emplazan y la superficie de espacios comunes. Las 31 variables incluyen las que resultaron significativas en el modelo hedónico para departamentos y el precio real que está solicitando la inmobiliaria por cada tipo de modelo de departamento. Para obtener el precio proyectado, se ingresaron las variables reales de cada modelo de departamento, con lo que se obtuvo el precio hedónico. Para comprobar la capacidad predictiva de los modelos hedónicos, se comparó el precio obtenido por él, con el precio que publica la inmobiliaria de cada modelo de departamento. La mayor diferencia porcentual que se presentó en precios fue de -8.14% y correspondió a un modelo de departamento en el centro de la comuna de Concepción, con una superficie de 77.5 m², que actualmente puede clasificarse como grande, poco común para el sector y que está subvalorado por los oferentes. Este valor de -8.14% se encuentra dentro del rango de tolerancia permitido por el modelo hedónico que es de 8.155%.

Aplicación modelo de optimización para edificios

El modelo de optimización que maximiza precio de planta de edificio se aplicó en los mismos proyectos de edificios ya iniciados, o por iniciar, respetando las restricciones

correspondientes al terreno en que se construyó. Por ello se respetaron las superficies reales por planta del edificio real en lo que respecta a restricción física y legal. Las restricciones arquitectónicas están determinadas por los valores máximos que se obtuvieron de la base de datos original. Finalmente, las restricciones económicas son determinadas por el proyecto real, aunque también podrían estar dadas por el inversionista inmobiliario, o por valores propios del barrio en que se emplaza el proyecto. Para maximizar el precio de planta se utilizó Solver de Excel que permitió con valores 1 de entrada de las variables, en todos los casos se dio convergencia a un resultado final que respetaba todas las restricciones. En todos los casos el modelo de optimización diseñó plantas que cumplían las restricciones y en especial la relacionada con el precio máximo/m² construido, que indica que el precio total de la planta no puede ser mejor.

Comentarios finales

El modelo de optimización en todos los casos probados fue capaz de converger a un resultado y mientras menos restricciones adicionales se colocaban, más fácilmente encontraba una solución. Las combinaciones de variables y atributos que enfrenta el gestor inmobiliario son tantas que es imposible que éste pueda manejarlas sin la ayuda de un modelo matemático. En algunos casos existe más de una combinación de variables o atributos que maximiza el ingreso del proyecto inmobiliario. En ese caso, el gestor debe tomar una decisión de cual le conviene, en función de otros criterios, porque se puede obtener el mismo ingreso por ventas. La superficie efectiva que pueden ocupar los departamentos siempre es muy restrictiva, y resulta ocupada completamente en todos los casos que se probó el modelo de diseño. La restricción económica precio/m² resultó también ser muy restrictiva en el caso de departamentos, ya que lo que adquiere el comprador es superficie habitable. El modelo de optimización, en la mayoría de los casos probados, no utilizó la disponibilidad máxima en balcones y terrazas, debido a que el modelo privilegió otros atributos por sobre la cantidad de m² de éstos. Aunque por diseño se proponen una serie de restricciones para el modelo de optimización, el gestor inmobiliario puede incorporar otras adicionales, si lo estima necesario o conveniente. Esto le permite personalizar el diseño del proyecto que quiere implementar. El modelo de optimización se

puede modificar para que maximice o minimice otras variables, como por ejemplo, la mejor localización para cierto tipo de viviendas. Este modelo puede ser aplicado en cualquier ciudad. Para esto es necesario construir un modelo hedónico en la ciudad respectiva. El modelo de diseño también es posible aplicarlo con modificaciones en proyectos de oficinas o locales comerciales.

Referencias

- Alonso, W. (1964). *Location and land use*. Harvard University Press, Cambridge MA
- Azqueta, D. (1994). *Valorización económica de la calidad ambiental*. McGraw Hill
- Becker, G.S. (1965). A theory of the allocation of time. *The Economic Journal* 75, No. 299, 493-517
- Beron, K.J., Murdoch, J.C., Thayer, M.A. and Vijverberg, P.M. (1997). An analysis of the housing market before and after the 1989 Loma Prieta earthquake. *Land Economics* 73, No. 1, 101- 113
- Brown, J. and Rosen, H. (1982). On the estimation of structural hedonic price models. *Econometrica* 50, No. 3, 765-768
- Caridad, J.M. y Ceular, N. (2001). Un análisis del mercado de la vivienda a través de redes neuronales artificiales. *Estudios de Economía Aplicada* 18, 67-81
- Desormeaux, D. y Piguillem F. (2003). Precios hedónicos e índices de precios de viviendas. Documento de trabajo 12, Cámara Chilena de la Construcción
- Figuroa, E. y Lever, G. (1992). Determinantes del Precio de Mercado de los Terrenos en el área Urbana de Santiago. *Cuaderno de Economía* 29, No. 86, 99-113
- Gutiérrez, H. y Wunder, D. (1993). Determinantes del precio de mercado de los terrenos en el área urbana de Santiago: Comentario. *Cuadernos de Economía* 30, No. 89, 131-138
- Idrovo, B. y Lennon, J. (2011). Índice de precios de viviendas nuevas para el Gran Santiago. Documento de trabajo 65, Cámara Chilena de la Construcción
- Lancaster, K. (1966). A new approach to consumer theory. *The Journal of Political Economy* 74, No. 2, 132-157
- Lira, R. (1978). Precios implícitos de características de viviendas en Santiago. *Cuaderno de Economía* 15, No. 44, 67-90

- Meloni, O. y Ruiz, F. (1998). Determinantes de los precios de mercado de los terrenos urbanos en San Miguel de Tucumán. Anales de la XXXII reunión anual de la Asociación Argentina de Economía Política, Mendoza, Argentina
- Moore, A.G., Selvaggi, M. y Caminos, J. (1999). Elaboración de índices de precios de propiedades. Una elaboración tasacional Gran Mendoza. Anales de la XXXII reunión anual de la Asociación Argentina de Economía Política, Rosario, Argentina
- Muth, R. (1969). *Cities and housing*. University of Chicago Press, Chicago
- Muth, R. (1961). The spatial structure of the housing market. Proceedings of the Regional Science Association, 207-219
- Palmquist, R.B. (1984). Estimating demand for the characteristics of housing. *The Review of Economics and Statistics* 66, No.3, 394-404
- Quiroga, B. (2005). Precios hedónicos para valoración de atributos de viviendas sociales en la Región Metropolitana de Santiago. Instituto de Economía, P. Universidad Católica de Chile
- Rogers, W. (2000). Errors in hedonic modeling regressions: compound indicator variables and omitted variables. *Appraisal Journal* 68(2), 208-213
- Rosen, S. (1974). Hedonic prices and implicit markets: product differentiation in pure competition. *The Journal of Political Economy* 82, No.1, 34-55
- Sagner, A. (2009). Determinantes del precio de viviendas en Chile. Documento de trabajo 549, Banco Central de Chile
- Sagner, A. (2011). Determinantes del precio de viviendas en la Región Metropolitana de Chile. *Trimestre Económico* 78, No. 4, 813-839
- Stumpf, M. y Torres, C. (1997). Estimación de modelos de precios hedónicos para alquileres residenciales. *Cuaderno de Economía* 34, No. 101, 71-86