

# MODELOS PARA MAXIMIZAR INGRESOS DE PROYECTOS DE VIVIENDAS EN EL GRAN CONCEPCIÓN

## DWEILING PROJECT INCOME MAXIMIZATION MODEL IN THE GREAT CONCEPCIÓN

*ROBERTO SCHOVELIN SURHOFF<sup>1</sup>*

Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile

### RESUMEN

El diseño general de viviendas incorpora características que se definen con criterios variables, por eso no siempre se obtienen buenas soluciones de mercado. En este trabajo se modeló la relación entre las características y el precio de la vivienda. Estos modelos, que son hedónicos, permiten cuantificar la incidencia de las características en el precio de las viviendas. Para obtener mejores soluciones y maximizar el precio de mercado del diseño del proyecto inmobiliario se debe proporcionar una combinación óptima de las características que valora el consumidor.

Para diseñar departamentos de un edificio, casas de un conjunto residencial individuales o en condominio con la finalidad de maximizar su precio, requirió inicialmente confeccionar un modelo hedónico<sup>2</sup> para cada tipo de vivienda. Para ello se utilizó información de precios y características de viviendas, recopilada en construcciones reales desarrolladas durante los años 2002 y 2003. Los modelos de precios resultantes, obtenidos mediante regresión múltiple, resultaron los tres de tipo lineal. Todos incluyeron variables inherentes a la localización y variables relacionadas con las características de las viviendas.

Con los coeficientes obtenidos por los modelos hedónicos se prepararon modelos para optimizar precios. Para el modelo de casas individuales y en condominio se busca maximizar el precio que se obtendrá por lote de viviendas que se construirán en un sitio previamente seleccionado. Para el caso de departamentos, el modelo busca maximizar el precio por planta de edificio. Como datos fijos en los modelos entraron las características del sitio y localización. Las restricciones legales, variables arquitectónicas generales y restricciones económicas también se incluyeron como datos fijos. Las otras características funcionales de la vivienda y el precio se determinaron por los modelos de optimización. Los modelos fueron probados, encontrándose que entregan buenos resultados.

---

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad del Bío-Bío, Chile  
e-mail: rschovel@ubiobio.cl

<sup>2</sup> Significa que valora características que afectan el precio que puede alcanzar un bien.  
Meaning the evaluation of characteristics that affect the price a certain good

## 1. INTRODUCCIÓN

La construcción es una actividad importante no sólo en función de los recursos monetarios que se invierten, sino también por la cantidad de mano de obra que genera. Durante los ciclos económicos, permanentemente una de las actividades que se ha visto más afectada es la construcción. Esto no sólo se debe a que son bienes prescindibles temporalmente, sino también por ser bienes únicos, sin sustitutos exactos. Por ello, la fijación de precios de éstos es más compleja que en aquellos casos en que existen buenos referentes en el mercado. Sin duda, una de las inquietudes de los inversionistas inmobiliarios es determinar la mezcla óptima de características de los inmuebles que ofrecen, de manera de maximizar el precio que pueden obtener por ellos. Como las características y atributos que ofrece una vivienda son tantos (Ball, 1973), es difícil encontrar aquella combinación, y más aún, entregar una oferta dado un terreno disponible que optimice el valor a obtener.

## 2. JUSTIFICACIÓN

El sector construcción de viviendas en el Gran Concepción es una actividad importante por los recursos monetarios que moviliza en sus inversiones y por los empleos que genera. No obstante lo anterior, la toma de decisiones en este sector aún no alcanza el nivel de desarrollo en su gestión de inversión que alcanzan otras industrias en la zona. Los problemas que han impedido un mejor desarrollo de este sector es la falta de buenos estudios de mercado, para que el inversionista tome buenas decisiones. Decisiones que realmente reflejen las necesidades y deseos de los clientes, lo que mejora los precios y la velocidad de venta de los productos. Los productos que comercializa el sector que son viviendas no son commodities, lo que hace imposible contar con mercados estables y más predecibles. Cada vivienda es un bien que no cuenta con otro de similares características, aún cuando arquitectónicamente sean idénticos (departamentos de un edificio, casas de un condominio o sector residencial), lo que se debe a que necesariamente no pueden compartir emplazamientos. Los emplazamientos o lugar dónde se sitúa la vivienda, también son una característica que los consumidores valoran mucho<sup>3</sup> (Kain y Quingley, 1970) y (Edwards et al, 1995). Aún cuando la finalidad de este trabajo no es valorar las características que posee el terreno en que se localiza una vivienda, no se puede estar ajeno a ello, porque son parte de las características que posee una vivienda.

En el mercado se comercializan viviendas nuevas y usadas, las que compiten entre ellas. Además existen distintos tipos de viviendas, como departamentos, casas y condominios, los que también compiten en algunos aspectos. En este trabajo sólo se considerarán viviendas nuevas, ya que la intención es que sirva como herramienta para tomar decisiones de inversión. Para ello se tratará independientemente cada tipo de vivienda (Departamento, Casa y Condominio), ya que cada uno posee, además de un mercado que no necesariamente es el mismo, distintas características que valoran sus demandantes.

En este trabajo se incluyeron solamente los conjuntos de casas y condominios, y no viviendas individuales, ya que las últimas sólo se construyen a pedido de los compradores y por ello no participan en el mercado de viviendas. Lo anterior implica que no aportan estadísticas para confeccionar un modelo.

## 3. APORTE TEÓRICO AL TEMA

Las inquietudes por explicar el comportamiento de los mercados de suelo e inmobiliario comenzaron en el siglo XIX. En esa época J. Von Thünen y D. Ricardo aplicando teoría clásica relacionaron el precio del suelo, ligándolo a su productividad agrícola. Sin embargo, recién a mediados del siglo XX comenzó la inquietud de economistas por explicar y modelar la evolución que presentaba el suelo en los centros urbanos (Becker, 1965). Llegaron a determinar que el precio del suelo urbano dependía de las

---

<sup>3</sup> Los sitios tienen distinto precio en función de las características que presentan. Se han realizado modelos para medir los precios en función de sus características que presenta cada predio.

características únicas que presenta, dado que por localización, un sitio no tiene réplica exacta. Esto, ha significado un gran desafío para la teoría económica y los economistas que han trabajado en el tema. Como la construcción está íntimamente ligada al tema del suelo, los estudios sobre precio de vivienda se basaron en los mismos principios que en los de valoración de suelo.

Uno de los aportes significativos al tema de valoración de suelo y vivienda ha sido el desarrollo de modelos hedónicos. Los cuales han buscado explicar tanto el precio del suelo como de viviendas, identificando y valorando las características que éstos poseen y cómo las valora el mercado. Estos modelos han demostrado ser útiles no sólo en Estados Unidos y Europa, (Ridker y Henning, 1967) (Rosen y Smith, 1983) sino que también en Chile (Lira, 1978), (Figueroa y Lever, 1992), (Gutiérrez y Wunder, 1993) y en Argentina (Meloni y Ruiz, 1998), (Coremberg, 1998 (Gil More et al, 1999) lugares donde ya han sido probados. En Concepción también han sido probados exitosamente<sup>4</sup> (Núñez y Schovelin, 2002<sup>a</sup> y 2002<sup>b</sup>). La limitación de estos modelos es que por medir características, utilizan información de carácter transversal, lo que limita su validez en el tiempo (no sirven para proyectar en el tiempo). También se ha podido comprobar que estos modelos funcionan mejor mientras más específicos y acotados son, esto se debe a que mientras más generales se vuelven, más características específicas aparecen, las que no son válidas si el sector que medir es demasiado extenso.

Los modelos de optimización hicieron su debut práctico durante la Segunda Guerra Mundial, a partir de entonces se les ha utilizado en la resolución de múltiples problemas. En el rubro inmobiliario también se han utilizado exitosamente, pero en aspectos técnicos ligados a la construcción y no para maximizar precio de viviendas o conjunto de viviendas.

## 4. OBJETIVOS

El objetivo principal es desarrollar un modelo que, dada una localización o terreno específico, señale las características de una vivienda para maximizar el ingreso del proyecto inmobiliario.

### **Objetivos Específicos:**

- Revelar las características que los consumidores valoran en un bien y en cuánto la valoran.
- Modelar el comportamiento del precio en un momento del tiempo.
- Modelar el comportamiento de las características que influyen en los beneficios de un proyecto inmobiliario.

## 5. METODOLOGÍA GENERAL

En primer lugar se separaron las viviendas en departamentos, casas y condominios y se seleccionaron las características que contribuyen a explicar el precio individual (Palmquist, 1984) (Ozzone y Thibodeau, 1983). Para cada grupo de viviendas se confeccionó un modelo hedónico distinto; esto se debe a que las características que los consumidores valoran en departamentos, no son las mismas que los consumidores valoran en casas o condominios. Incluso, en gran medida los consumidores de departamentos no son clientes potenciales de casas y los clientes potenciales de casas no son los mismos que los de condominios. Esto se debe a que cada grupo de viviendas cuenta con características propias de su categoría y eso hace que compitan en segmentos de mercado distintos. A modo de ejemplo, un demandante de departamento probablemente desee independencia y seguridad, por sobre cantidad de terreno y versatilidad.

---

<sup>4</sup> Trabajo de valoración de terreno efectuado para el proyecto costanera norte del río Bío Bío, encargado por el Ministerio de Obras Públicas de Chile en 1998

Para confeccionar los modelos se consideraron viviendas sobre 800 UF, ya que en ese rango el cliente es el que elige el tipo de viviendas y su ubicación. En viviendas básicas, por ser altamente subsidiadas, se asignan a los usuarios, no teniendo el consumidor posibilidad de elegir el tipo de vivienda o su localización. Es por eso que en el rango seleccionado las transacciones se rigen por el mercado.

Para determinar cómo inciden las características seleccionadas en el precio de las viviendas, se utilizó la regresión múltiple (Neter y Wassermann, 1974). Mediante la regresión múltiple se pudieron calcular los coeficientes y también la modalidad en que las características seleccionadas inciden en el precio de la vivienda.

Posteriormente se diseñó un modelo de optimización donde la función objetivo era maximizar el ingreso monetario de un proyecto de viviendas, compuesto por más de una vivienda. En este caso se multiplica el número de viviendas por su precio. Se utilizaron los coeficientes de cada variable independiente del modelo hedónico (características o atributos de la vivienda) y también la modalidad en que influyen, para ponderar las variables correspondientes del modelo de optimización. Esto se realizó para la función objetivo, que consiste en maximizar el ingreso del proyecto de viviendas en función de las características identificadas y valoradas. La regresión proporcionó esos coeficientes. También para las restricciones del modelo de optimización, en que las variables identificadas y valoradas (características o atributos de la vivienda) fueran parte de ellas. Se seleccionó el ingreso por obtener del terreno con proyecto de construcción, como la variable finalmente a maximizar. En el caso de departamentos, el ingreso por planta edificada, ya que éstas pueden ir variando en los pisos superiores debido a restricciones impuestas por la rasante<sup>5</sup>. En el caso de casas, el ingreso por la cantidad de éstas por construir en el terreno, considerando el espacio que se ocupa en urbanización y los terrenos individuales de cada una. En el caso de condominio, el ingreso por el conjunto completo. En los tres casos, en el terreno se incluyeron áreas comunes y también terrenos individuales, los que no se comercializan separadamente, no obstante restar terreno a espacios construidos individuales, que se comercializan individualmente. Cada proyecto de viviendas vende áreas edificadas privadas y los espacios públicos en el terreno se financian colectivamente por los consumidores, por ello pagan un sobrepago por la vivienda que adquieren.

En el modelo de optimización se establecieron como características fijas, las asociadas a la localización del sitio en que se emplazará la vivienda, ponderadas por su respectivo coeficiente y modalidad obtenidos del modelo hedónico. El modelo de optimización, para maximizar el ingreso probó aquellas características de la vivienda que afectan el precio, ponderándolas por su respectivo coeficiente, dadas las restricciones de su localización que se consideraron fijas. Por eso las restricciones impuestas están dadas en parte por las restricciones propias del sitio, como por ejemplo, las impuestas por su tamaño, los seccionales y restricciones del plan regulador. Además, restricciones arquitectónicas, económicas y legales que no se podían sobrepasar.

En resumen, para maximizar el ingreso del proyecto inmobiliario, se asume que ciertas características son fijas o acotadas, ya sea por restricciones asociadas a la localización física y legal inherentes al sitio que edificar, como también por restricciones arquitectónicas y económicas dadas por el inversionista. El modelo de optimización se encarga de proponer el resto de las variables, que son las que el inversionista desea conocer, con el fin de maximizar el ingreso a obtener por el sitio en que se situará el proyecto inmobiliario.

## 6. MODELO HEDÓNICO

El comportamiento del precio de las viviendas se explica por los siguientes tipos de variables:

- Características inherentes al terreno, tales como tamaño, tipo de superficie, orientación, etc.
- Características del vecindario, como por ejemplo, nivel socioeconómico de los residentes, seguridad, etc.

<sup>5</sup> Término legal utilizado para regular la altura de un edificio y su cota respecto de los límites del terreno propio

- Características de ubicación del terreno, como distancia temporal o cronológica al centro de la ciudad, o accesibilidad a centros de importancia.
- Características zonales como densidad, usos del suelo, actividades permitidas, etc.
- Características de equipamiento, como servicios de pavimentación, alcantarillado, agua potable, etc.
- Externalidades positivas y negativas, como áreas verdes, vertederos, actividades contaminantes, etc.
- Características o atributos de la vivienda, como tamaño, número de habitaciones, número de baños, etc.
- Características o atributos adicionales de la vivienda que son de uso colectivo del conjunto habitacional, como por ejemplo, sala eventos, bodega, piscina, etc.

El modelo hedónico relaciona el precio, que se define como variable dependiente, con las características o atributos del bien, que son las variables independientes. Como el precio del bien se modela basado en las características de éste, son modelos que explican un momento del tiempo.

Precio bien Inmobiliario = f (Características o tributos del bien)

Este modelo puede ser de tipo lineal o no lineal y las características deben poder ser cuantificadas. Algunas características pueden tomar cualquier valor positivo, como por ejemplo, tamaño. Otras características pueden o no estar presentes, como por ejemplo poseer o no portería y se cuantifican binariamente enteras, es decir, 1 si está presente y 0 si no lo está. Finalmente otras variables como el número de dormitorios, toman valores positivos enteros. Es probable que en un modelo hedónico todas estas modalidades estén presentes.

## **7. MODELOS HEDÓNICOS ESPECÍFICOS PARA DEPARTAMENTOS, CASAS Y CONDOMINIOS**

Como los tipos de viviendas (Departamentos, casas y condominios) presentan características distintas, y están orientados a segmentos de consumidores distintos, no siempre las variables que se valoran están presentes en todos los tipos de viviendas. A modo de ejemplo, el tamaño del terreno en que se emplaza una casa y condominio es una variable que debiera valorar el consumidor, mientras que en departamentos sólo importa el tamaño.

En primer lugar se procedió a elaborar los modelos hedónicos para cada una de las tres categorías de viviendas (Departamentos, casas y condominios). Estos modelos se elaboraron utilizando información obtenida en el año 2002 y principio de 2003 en el Gran Concepción.

Como muchas de las variables seleccionadas inicialmente estaban fuertemente relacionadas entre sí (Morton, 1977), se procedió a seleccionar las variables más representativas de cada grupo. Para correr los modelos hedónicos se seleccionó la totalidad de los proyectos en venta en el periodo seleccionado. La cifra mayor se obtuvo en departamentos, con 63 tipos de ofertas nuevas durante el período investigado. En tipos de casas y condominios, la cantidad resultó pequeña (15 y 14 respectivamente), ello se debe a la situación económica, la que ha disminuido considerablemente las transacciones y por ende las ofertas. Además, porque los conjuntos residenciales y condominios repiten muchas veces un tipo de vivienda, por lo tanto, un par de conjuntos residenciales ofrecen muchas viviendas individuales, pero muchas de ellas iguales y con el mismo precio. Si bien es cierto la cantidad se pudo ampliar al considerar un periodo de tiempo más amplio, estos modelos son temporales y no funcionan bien para periodos largos. El problema es que el precio varía con el tiempo debido a razones económicas, aun cuando las características permanezcan constantes.

Se seleccionó el modelo lineal debido a que presentó el mejor ajuste en los tres casos. Los tres modelos aprobaron los test de significancia.

$$\text{Precio de bien Inmobiliario} = \sum \alpha_i * \text{Característica}_i \text{ (o Atributos del Bien)}$$

En el cuadro N° 1 se presentan las variables y coeficientes para cada uno de los modelos aprobados.

Al observar los coeficientes arrojados por los modelos hedónicos, se puede observar que mientras casas y condominios valoran positivamente el número de dormitorios, los departamentos valoran negativamente el incremento en el número de dormitorios. Esto se debe a que los departamentos los demandan en su mayoría por personas solteras, matrimonios sin hijos y matrimonios mayores, en las cuales los hijos ya abandonaron el hogar<sup>6</sup>. Ellos valoran más la amplitud, que el número de dormitorios. Resulta curioso que tanto en departamentos como condominios, no se valore positivamente la calefacción central. Esto se debe a que en departamentos esto eleva los gastos comunes, ya que la calefacción se opera centralmente. También contribuye a que se valore negativamente la calefacción central, el que los inversionistas sobrevaloren el impacto que provoca en los consumidores, cobrando excesivamente por dicha característica, a la que el consumidor no puede renunciar como opción. Simultáneamente rebajan la calidad de los departamentos, dando a entender que calefacción central es condición de calidad, cuando en realidad no lo es. Ésta distorsión debe preocupar a los inversionistas inmobiliarios, ya que debió ser una característica valorada por el mercado. También destaca el hecho que no se valore positivamente la cercanía de un supermercado. Esto se debe a que el segmento que compra departamentos valora excesivamente la tranquilidad y residencialidad del sector, y un supermercado, con el tamaño que alcanza actualmente, contribuye negativamente a esta característica. Esto explica porqué en estos momentos existe oferta de departamentos que no se encuentran cerca del centro, que era históricamente el lugar preferido para su emplazamiento. Por último, el que portería se valore negativamente también se debe a los gastos comunes, y por la buena demanda que tienen departamentos pequeños para solteros y estudiantes. Esto último también contribuye a valorar negativamente la calefacción central, ya que este mercado espera bajo costo de mantención.

## 8. MODELOS DE OPTIMIZACIÓN

La función objetivo de los modelos es maximizar el ingreso monetario del proyecto inmobiliario, en una localización específica. Se confeccionó un modelo de optimización por cada tipo de vivienda. El modelo para departamentos maximiza el precio por planta de edificio y no de los departamentos que hay en ella. Esta determinación se debe a que el mayor valor por departamento no implica mayor valor por planta, que es lo que al inversionista le interesa. No se construyó un modelo para maximizar el valor de todo el proyecto, debido a que en la mayoría de los casos la legislación obliga a que la superficie de las plantas más altas disminuya, para respetar la legislación vigente. El espíritu de las leyes es cautelar los derechos de los vecinos por la sombra que éstos producen. El modelo de casas maximiza el precio de todo el proyecto, al igual que el de condominios.

Los modelos de optimización utilizan los coeficientes para las respectivas variables (características de las viviendas) obtenidos en los modelos hedónicos, para ponderar el uso o no de la respectiva característica en el precio unitario de la vivienda. Algunas de las características de las viviendas presentes en el modelo hedónico se utilizan en el modelo de optimización como restricciones fijas. En ese caso también se ponderan con su correspondiente coeficiente. Estas restricciones son las relacionadas con la localización, tamaño del sitio, distancia del centro, cercanía a supermercado y plusvalía del sector. Otras características del modelo hedónico se incorporaron al modelo de optimización como variables a optimizar, también ponderadas por su respectivo coeficiente obtenido del modelo hedónico. Estas son las relacionadas con las características del inmueble, como el tamaño en m<sup>2</sup>, el número de dormitorios, número de baños, con o sin cocina amoblada, con o sin portería, con o sin sala de eventos. También se utilizan

<sup>6</sup> Los inversionistas inmobiliarios que construyen edificios de departamentos sostienen que los profesionales jóvenes y los matrimonios mayores sin hijos son los principales demandantes de departamentos

restricciones adicionales, las que no estaban presentes en los modelos hedónicos, que son de orden físico del sitio, arquitectónicas, económicas y legales. Las restricciones físicas son las dimensiones del sitio y lo que soporta. Las de tipo arquitectónicas son las proporciones que se deben respetar, como por ejemplo número máximo de dormitorios sobre un total de m<sup>2</sup> totales de la vivienda y otros que se detallan más adelante. Las de tipo económico se refieren a precio máximo por m<sup>2</sup>, precio máximo del sector y otras que se detallan más adelante. Por último, las de tipo legal son para que el proyecto de vivienda cumpla con la legislación actual en cuanto a densidad y altura, entre otras que se detallan más adelante.

En resumen, las restricciones de los modelos se agrupan en torno a localización (físicas), a reglamentos legales imperantes para un terreno en particular, restricciones arquitectónicas y restricciones económicas. Estas restricciones acotan las variables, ya sea a valores máximos o mínimos, de manera que las soluciones que arroje el modelo de optimización sean realistas.

### a) Restricciones de localización

Son restricciones de tipo físico, inherentes a la localización del sitio y sus características. Las restricciones incluidas en el modelo son:

1. Tamaño del terreno. (Medida en m<sup>2</sup> y se utiliza en los modelos de departamentos)
2. Distancia al centro en kilómetros (Medida en Km. y se utiliza en el modelo de casas y condominios)
3. Cercanía de locomoción (Medida en Km. y se utiliza en el modelo condominios)
4. Cercanía a supermercado (Medida en Km. y se utiliza en el modelo de departamentos)

Estas variables son propias del terreno en donde se emplazará el proyecto inmobiliario y éste no tiene poder para modificarlas. Sin embargo, éstas pueden ir variando con el tiempo debido a la evolución que presentan los centros urbanos.

### b) Restricciones legales

El tamaño del terreno delimita el área constructiva máxima. Esta restricción no siempre opera, porque en algunos casos la ley no permite el 100% de utilización de un terreno. Es una restricción que no se puede exceder y para el caso de departamentos, ésta opera conjuntamente con el número de pisos.

1. Densidad mínima permitida. Esta restricción es sobre el número de camas permitidas para un determinado sitio, en una determinada manzana de la ciudad. Esta restricción la coloca el plano regulador y el plano seccional de la ciudad. Aquí el criterio es asociar número de camas con dimensiones en dormitorios y número de ellos
2. Coeficiente de constructibilidad. Esta restricción municipal que se encuentra en el plano regulador, indica qué porcentaje del terreno se puede ocupar en la construcción. Este porcentaje llega al 100% en el centro de la ciudad de Concepción.
3. Pareo ordinario. Esta restricción indica porcentajes de pareo a la muralla, pero se vuelve sumamente flexible al considerar cómo están edificados los sitios perimetrales. Se puede solicitar, sin mayor problema, que se autoricen los mismos porcentajes de pareo de los sitios vecinos.
4. Adosamiento. La ley también indica porcentajes de adosamiento a otra edificación vecina. En este caso también existe flexibilidad, si se solicita.
5. Distanciamiento. Esta norma indica la distancia mínima que debe existir entre la edificación y el muro colindante, en la porción que no se admite pareo o adosamiento. Ésta es de 2 metros si no hay ventana y 2,5 metros si la hay para el primer piso de una vivienda, en caso de haber ventana en segundo piso, esta distancia se extiende a 3 metros.
6. Rasante. Esta variable relevante para construcción en altura depende de las características del terreno y también de la infraestructura circundante. Esto se debe a que la ley establece un ángulo de 70° desde el centro de la calzada a no ser superado por la línea de edificación.
7. Antejardín. Esta es una norma que establece que en algunos sectores debe existir antejardín y en otras no.

Como muchas veces una de estas restricciones resulta más restrictivas que las demás, se procede siempre a trabajar con la más restrictiva. Esto implica calcular la cantidad de m<sup>2</sup> máximos a poder construir en un sitio como restricción final. Se incorporan como restricción en m<sup>2</sup> máximos o mínimos dependiendo del caso y es para los tres tipos de modelos.

### **c) Restricciones arquitectónicas**

Las restricciones arquitectónicas son restricciones asociadas a proporciones armónicas mínimas y máximas, como también a elementos que deben existir en un inmueble, como cocina y pasillos de acceso. Todo esto es para dar comodidad, armonía y accesibilidad a un inmueble. Estas restricciones fueron obtenidas de arquitectos.

1. Tamaño mínimo de vivienda en función del número de dormitorios. (Medida en  $m^2$  y es para modelo de departamentos y condominios)
2. Baños en función de dormitorios. (Medida como una relación baños por dormitorio y es para modelo de condominios)
3. Espacios construidos comunes de acceso. (Medida como una proporción del tamaño de las viviendas y es para modelo de departamentos)
4. Espacios no construidos comunes de acceso. (Medido como porcentaje del sitio total del proyecto para modelos de casas y condominios)
5. Terreno que no se edifica de un terreno individual para casa o condominio. (Se mide como porcentaje del tamaño total del sitio que se puede edificar)

Con esta información se determinaron tamaños mínimos en función del número de dormitorios para cada tipo de vivienda. Se determinó el espacio destinado a áreas comunes y el tamaño del sitio individual para casas y condominios.

### **d) Restricciones Económicas**

Son restricciones dadas por el mercado, las que se asocian a la localización de la vivienda y la calidad predominante en el sector.

1. Precio máximo de vivienda por sector. (Medido como valor en UF para modelo de departamentos, casas y condominios)
2. Precio máximo por  $m^2$  construido por sector. (Medido como UF/ $m^2$  para modelos de departamentos, casas y condominios)
3. Precio mínimo de  $m^2$  construido por sector. (Medido como UF/ $m^2$  para modelos de departamentos, casas y condominios)
4. Plusvalía del sector. (Medido en ponderadores de 1 a 5 según tabla Nº 2 y es para modelos de departamentos y condominios)

Estas restricciones son para que la vivienda no exceda lo razonable para una localización específica.

Para maximizar el precio del proyecto, el modelo de optimización permite que ciertas características puedan variar sin exceder las restricciones. Esto permite al modelo fijar las variables más deseadas por el mercado, de acuerdo con el modelo hedónico y en función de ello, llegar a determinar un precio a maximizar. Las variables determinadas por el modelo son las siguientes:

1. Tamaño en  $m^2$  construido (Variable positiva para modelos de departamentos, casas y condominios).
2. Tamaño utilizado en  $m^2$  del terreno. (Variable positiva para modelos de departamentos, casas y condominios).
3. Número de viviendas (Variable entera positiva para departamentos, casas y condominios).
4. Número de dormitorios de departamento o condominios (Variable entera positiva).
5. Número de baños de condominios. (Variable entera positiva).
6. Precio de Vivienda. (Variable positiva para los tres tipos de modelos).
7. Precio por  $m^2$  de vivienda. (Variable positiva para los tres tipos de modelos).
8. Departamento con o sin bodega. (Variable binaria).
9. Departamento con o sin cocina amoblada. (Variable binaria).
10. Departamento con o sin sala de eventos. (Variable binaria).
11. Tipo de piso para departamento. (Variable entera positiva de acuerdo con tabla Nº 3).
12. Departamento o condominios con o sin calefacción central. (Variable binaria).
13. Departamento con o sin portería. (Variable binaria).

14. Número de pisos de una casa. (Variable entera positiva).
15. Casa con o sin citófono. (Variable binaria).
16. Tipo de piso de living de casa. (Variable entera positiva de acuerdo con tabla N° 3).
17. Condominio con comedor independiente o no. (Variable binaria).
18. Estacionamiento en condominio techado o no. (Variable binaria).

Con estas consideraciones se construyó un modelo de optimización por cada tipo de viviendas. Antes de aplicar un modelo de optimización, el primer criterio para decidir qué tipo de vivienda se instalará viene dado por el plano regulador que limita el uso del suelo. Si el suelo es de uso habitacional, procede aplicar uno de los modelos de optimización de viviendas. Para determinar cuál es la opción de vivienda óptima por sitio, si no existen restricciones legales o físicas que impidan algún tipo de vivienda, la selección se hará en función del precio que arroje cada uno de los modelos individuales. Se debe optar por aquel modelo de optimización (Departamentos, casas o condominios) que arroja el mayor valor por terreno construido. Esto se debe a que el inversionista poseedor de un terreno tratará de maximizar el valor que obtiene del uso que le da al terreno, o al menos esa será su intención. En este sentido los modelos permiten al inversionista determinar el tipo de inmueble por construir y también la dosificación de características, de manera de maximizar el precio a obtener. Los costos no incidirán en la decisión si representan una proporción de los ingresos que no difiere demasiado para cada uno de los tipos de viviendas.

Los modelos resultaron en cada caso no lineales. Debido a esto no se puede afirmar que se trata de soluciones óptimas, aunque sí se trata de buenas soluciones. Para correr los modelos se utilizó Solver de Excel, ya que permiten optimizar modelos no lineales, como los que resultaron para los tres casos. También es posible utilizar otros algoritmos o software para lograr el mismo objetivo.

## 9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para probar los modelos de optimización se procedió a seleccionar los casos, teniendo en cuenta los tres tipos de viviendas. Los sitios seleccionados son tres: uno para edificio, uno para conjunto de casas y uno para condominios. Estos son proyectos ya en ejecución y con ventas realizadas, por lo tanto, se puede contrastar la situación real dada por el inversionista, con lo que indica el modelo. Se comparan los precios reales, con los que arroja el modelo hedónico para las características reales y también con la proposición que da el modelo de optimización. No se consideraron más casos para probar, ya que no existían más casos que cumplieran con esos requisitos.

El edificio a estudiar actualmente se construye en Concepción, la localización corresponde a plusvalía 2 de viviendas entre 1.000 y 2.000 unidades de fomento. El edificio será de 23 pisos con un total de 120 departamentos, con portería. Sesenta del total serán departamentos de un dormitorio con 48,07 m<sup>2</sup> construidos, piso flotante en el living, con bodega y un precio unitario de 1.425 UF. Cuarenta y ocho departamentos de dos dormitorios con 71,84 m<sup>2</sup> construidos, con bodega y un precio unitario de 1.985 UF. Los doce departamentos restantes serán de tres dormitorios con 82,58 m<sup>2</sup> construidos, con bodega y un precio unitario de 2.555 UF.

El ingreso que percibirá el inversionista por el proyecto de 7.323,48 m<sup>2</sup> de departamentos, será de 208.800 UF. El modelo hedónico valora el proyecto en 204.658 UF.

El modelo de optimización propone que se deben construir 105 departamentos. Setenta y dos departamentos alfombrados de tres dormitorios con 66,96 m<sup>2</sup> construidos. Deben poseer bodega, calefacción central, cocina amoblada, sin sala de eventos a un precio unitario de 2.209,82 UF. Veintiún departamentos de tres dormitorios con piso de madera con 89,3 m<sup>2</sup> construidos, sin bodega, con calefacción central, cocina amoblada, sin sala de eventos y un precio unitario de 2.900 UF. Por último, deben construirse doce departamentos de un dormitorio con piso de madera de 49,5 m<sup>2</sup> construidos, con bodega, sin calefacción central, sin sala eventos, cocina sin amoblar y un precio unitario de 1.618,34 UF. Esto arroja una superficie de 7.290,66 m<sup>2</sup> y un total de 239.427,12 UF. Este valor supera los anteriores.

El proyecto de casa se sitúa en Talcahuano y a 6,75 Km. (directos) del centro de Concepción. Consiste en 62 casas de 83,33 m<sup>2</sup> y 79,25 m<sup>2</sup> construidos con distintos precios, debido a diferencias en

los tamaños de los sitios. El valor total del proyecto es 79.225 UF con 5.065,06 m<sup>2</sup> construidos y un total de 6.532,79 m<sup>2</sup> en terrenos propios para las casas. El modelo hedónico valora el proyecto en 76.783,59 UF.

El modelo de optimización propone que se deben construir 67 casa de 75.45 m<sup>2</sup> construidos cada una, con un precio unitario de 1.207,2 UF, con terrenos de 97,99 m<sup>2</sup>, de una planta y living con piso de madera. El valor arrojado por el modelo de optimización es de 80.883 UF para el proyecto.

El condominio se sitúa en San Pedro de la Paz en un lugar con plusvalía 5, con viviendas sobre cinco mil UF y a una distancia de 4,34 Km. directos del centro de Concepción. Se trata de 8 viviendas de 140 m<sup>2</sup> construidos, emplazadas en un terreno de 4.100 m<sup>2</sup> y un precio de 5.000 UF cada una. Las viviendas cuentan con sitios individuales de 300 m<sup>2</sup>, poseen living independiente, cuatro dormitorios, tres baños, calefacción central y estacionamiento no techado. El valor total del condominio es de 40.000 UF con 2.400 m<sup>2</sup> construidos. El modelo hedónico valoró el proyecto en 37.684 UF. Esto se debe a que con modelo hedónico se obtiene un valor menor por vivienda, lo que indica que en la realidad están sobrevaloradas.

El modelo de optimización propone que se deben construir nueve viviendas de 124,97 m<sup>2</sup> construidos, con 266,96 m<sup>2</sup> de terreno individual y un precio de 4.448,57 UF cada una. La vivienda debe tener living independiente, tres dormitorios, tres baños, estacionamiento techado y sin calefacción central. El total construido es de 2.402 m<sup>2</sup> y un valor proyecto de 40.037 UF.

## **10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Es posible ponderar objetivamente las características de una vivienda teniendo como finalidad obtener el máximo ingreso de un proyecto de viviendas.

En los tres casos considerados, el modelo proporcionó combinaciones mejores en términos de ingreso por percibir, ya sea para la situación real, o configuración real valorada con modelo hedónico.

Las soluciones entregadas por el modelo de optimización no sólo entregaron una solución factible. Además fue ratificada como una mejor opción por los mismos inversionistas involucrados en los proyectos reales.

El modelo hedónico proporciona información adicional al inversionista. Cuando el precio real excede el precio que arroja el modelo, el precio está sobrevaluado en la realidad, lo que retrasará la velocidad de venta de las viviendas.

Una ventaja adicional de esta metodología es que el inversionista puede colocar otras restricciones adicionales, como por ejemplo incorporar restricciones de mercado, o también, por ejemplo, número máximo de departamentos con tamaño similar.

Uno de los problemas de esta metodología es que los modelos hedónicos tienen validez en un momento del tiempo, lo que obliga a replicarlos permanentemente, sin duda un desafío futuro es lograr un modelo más permanente.

Hubiese sido bueno contar con más proyectos para acotar más los modelos hedónicos. Esto se puede lograr en períodos de mayor normalidad económica, o bien en ciudades más grandes.

Como el modelo de optimización no es lineal, un reto es probar con mejores algoritmos para ver si llevan a mejores soluciones.

## 11. REFERENCIAS

- BALL, M. J. (1973), "Recent Empirical Work on the Determinants of Relative House Price" *Urban Studies*, v. 10, p. 213-233.
- BECKER, G.S. (1965) "A Theory of the Allocation of Time" *Economic Journal* 75, 493-517
- COREMBERG, A. (1998) "El precio de la Vivienda en Argentina: ¿Burbuja o Fundamentals? Un Análisis Económico de sus Determinantes Fundamentales" AAEP.XXXIIIa Reunion Anual, Mendoza
- EDWARDS, G. HURTUBIA, J. WAGNER, G. (1995) "El Suelo Urbano y la Composición de la Riqueza" *Cuaderno de Economía Año 32 N° 96*, p.151-163
- FIGUEROA Y LEVER (1992) "Valor de Mercado de los Terrenos Urbanos en Santiago" *Cuaderno de Economía Año 29, N° 86*, p. 99-113
- GIL MOORE, A. SELVAGGI, M. CAMINOS, J. (1999) "Elaboración de Indices de Precios de Propiedades en Tasaciones del Gran Mendoza" *Asociación Argentina de Economía Política*. Buenos Aires.
- GUTIÉRREZ, H. WUNDER, D. (1993) "Determinantes del Precio de Mercado de los Terrenos en el Area Urbana de Santiago" *Cuaderno de Economía. Año 30, N° 89*, P. 131-138
- KAIN J Y J QUINGLEY (1970) "Measurin the Value of Housing Quality" *Journal of the American Statistical Association*, 65, 532-548
- LIRA R. (1978) "Precios Implícitos de Características de Viviendas en Santiago", *Cuaderno de Economía N° 15* 44-67
- MELONI, O. Ruiz, F. (1998) "Determinantes de los Precios de Mercado de los Terrenos en San Miguel de Tucumán" *Asociación Argentina de Economía Política*. Mendoza.
- MORTON, T. G. (1977) "Factor Analysis, Multicollinearity, and Regresión Appraisal Models" *The Appraisal Journal* , Chicago: American Institute of Real Estate Appraisers, v 45, p. 578-587
- NETER, J. WASSERMANN, W. (1974) "Applied Linear Statistical Models" *Homewood, IL: Richard D. Irwin*.
- NÚÑEZ F. SCHOVELIN R. (2002) "Modelo de Precio de Suelo Urbano en el Gran Concepción" *Revista Ingeniería Industrial*, N° 1, p. 47-58
- NÚÑEZ F. SCHOVELIN R. (2002) "Estimación de un Modelo Hedónico para Conjuntos de Viviendas Nuevas" *Revista Ingeniería Industrial*, N° 1, p. 15-25
- OZZANE L. Y T. THIBODEAU (1983) "Explaining Metropolitan Housing Price Differences" *Journal Urban Economic*, 13, 51-66
- PALMQUIST, R. B. (1984) "Estimating the Demand for the Characteristics of Housing" *Review of Economics and Statistics*, v 66, N° 3, p. 394-404
- RIDKER. R Y J HENNING (1967) "The Determinants of Residential Property Values With Spetial Reference to Air Pollution" *Review Economic Stadistic*, 4, 246-257
- ROSEN K Y L SMITH (1983) "The Price Adjustment Process for Renta Housing and the Natural Vacancy Rate", *American Economic Review* 73, 779-786

**Cuadro Nº 1**

**VARIABLES Y PARÁMETROS DE MODELOS HEDÓNICOS**

	Deptos. Lineal		Casas		Condominios	
	Coefficiente	Valor P	Coefficiente	Valor P	Coefficiente	Valor P
Constante			5088,0237	0,0005	-2745,5405	7,6E-05
Dormitorios	-467,8351	3,1E-09			233,6624	0,0054
Plus Sector	350,4817	1,1E-05			208,7722	0,0015
Cocina Inc.	1.052,1555	3,1E-07				
Sala eventos	1.044,6895	2,6E-08				
Tipo Piso	-279,9377	0,00378	-850,2906	0,0004		
Calef. Central	-745,0070	0,00017			-296,5501	0,0018
Superc. Merc.	-456,8765	0,0309				
M <sup>2</sup> Construido	53,8283	1,0E-36	30,7001	4,1E-06	17,9122	0,0011
Portería	-951,6582	3,4E-05				
Bodega	232,6582	0,0649				
Estacionamiento					154,5501	0,0081
Distancia C			-288,7153	0,0001	76,5408	0,0003
Citófono			1751,7654	0,0002		
Nº Pisos			-1661,7033	8,5E-05		
Tamaño T.					4,1793	0,0020
Living Ind					735,0467	0,0001
Baños					292,9224	0,0012
R <sup>2</sup> ajustado	0,9629	0,9755	0,9996			
F	335,279	112,463	3217,125			
DW						

**Cuadro Nº 2**

**PLUSVALÍA DEL SECTOR**

Rango de precio en plusvalía en U.F.	Valor asignado
Rango 800 a 999	1
Rango 1.000 a 1.999	2
Rango 2.000 a 2.999	3
Rango 3.000 a 4.999	4
Rango > 5.000	5

**Cuadro Nº 3**

**TIPO DE PISO**

Tipo de Piso	Valor Asignado
Alfombra	1
Madera y piso flotante	2
Cerámica	3

Copyright of Revista Ingenierí;a Industrial is the property of Departamento de Ingenieria Industrial, Universidad del Bio-Bio and its content may not be copied or emailed to multiple sites or posted to a listserv without the copyright holder's express written permission. However, users may print, download, or email articles for individual use.