

Incidencia de la localización en el precio de la vivienda a través de un modelo de red neuronal artificial. Una aplicación a la ciudad de Valencia

Laura Fernández Durán

*Profesora asociada de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura
Departamento de Organización de Empresas. Universidad Politécnica de Valencia*

Alicia Llorca Ponce

*Profesora titular de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura
Departamento de Organización de Empresas. Universidad Politécnica de Valencia
Subdirectora del Centro de documentación Aula Ciudad*

Soledad Valero Cubas

*Profesora asociada de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática
Universidad Politécnica de Valencia
Técnico Superior de Investigación del Grupo de Tecnología Informática e Inteligencia Artificial*

Vicente Juan Botti Navarro

*Catedrático de Universidad de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática
Universidad Politécnica de Valencia
Investigador y líder del Grupo de Tecnología Informática e Inteligencia Artificial*

El precio de la vivienda ha sido objeto de interés para los investigadores a partir de la segunda mitad del siglo XX. Los primeros modelos que se dedican a analizar el impacto sobre el valor de los inmuebles urbanos, se inspiran en el Modelo de Von Thünen (1826), y se centran en analizar como la accesibilidad influye en el valor de la vivienda. Entre ellos, destacan las aportaciones de Alonso (1964), Mills (1972) y Muth (1969) y Wingo (1972). Estos modelos se orientan hacia el análisis de los

procesos de localización derivados de las decisiones de los agentes, y el precio de los diversos inmuebles urbanos, entre ellos la vivienda. Analizan cómo afectará la accesibilidad, considerada en función de los costes de transporte, al valor de las viviendas. Los costes de transporte se definen en un sentido amplio teniendo en cuenta, además de los costes monetarios y los costes derivados del tiempo, otro tipo de molestias que generan desutilidad. Las familias disponen de un presupuesto para gastar en

vivienda, junto a los desplazamientos. El resto del presupuesto lo destinan al consumo de otros bienes. Según el planteamiento de Alonso (1964) una vivienda más alejada del centro en comparación a otra más próxima, soportará una desutilidad derivada de los costes de desplazamiento; dicha desutilidad se reflejará en un precio más bajo de las localizaciones residenciales más alejadas o con peor accesibilidad. En estos modelos las familias deben destinar un presupuesto entre gastos de transporte y gastos de vivienda, las viviendas con peor accesibilidad, que soportan mayores costes de transporte, deberán ofrecerse a menor precio para compensar los mayores costes derivados de su peor accesibilidad.

Los modelos de compensación se centran en analizar los efectos de la accesibilidad (entendida como la distancia al centro) sobre las decisiones de localización residencial y sus efectos sobre el valor de la vivienda. Respecto a esta última cuestión, sabemos que en la demanda de vivienda intervienen muchos aspectos, tanto relativo a los atributos propios de la vivienda, como pueden ser las calidades, la distribución o las instalaciones y muchas otras variables relativas a la localización, que al afectar al bienestar de los residentes también tienen un reflejo en el precio de la vivienda, nos estamos refiriendo a lo que denominaremos efectos locacionales, distinguiendo, entre aquellos relacionados con la accesibilidad y los que podríamos englobar en efectos de vecindad.

Evidentemente, no podemos explicar el valor de una vivienda a partir de los modelos antes considerados, pues se dejan de lado muchos otros aspectos que también inciden de forma significativa en el valor de la vivienda. Sin embargo, los modelos de compensación, también llamados, en algunos casos, de accesibilidad, son capaces de explicar un fenómeno muy observado en muchas ciudades: que cuando aumenta la distancia al centro el precio de la vivienda disminuye.

La aparición de la metodología hedónica, especialmente a partir de la difusión del trabajo de Rosen (1974), permitió incorporar al análisis del valor de la vivienda muchos otros atributos como, el entorno medio ambiental, las amenidades, o los equipamientos del barrio, entre ellos, colegios, centros de salud, de ocio, o deportivos... Otros aspectos que también han sido estudiados han sido el impacto del nivel socioeconómico del barrio, y el nivel de inmigración. Por supuesto, surgieron y siguen surgiendo numerosos trabajos que utilizan la metodología hedónica para analizar cómo distintos aspectos o atributos internos y externos de la vivienda, tales como calidades, tamaño, orientación, instalaciones, influyen en su precio. La cuestión es determinar qué aspectos reportan valor, y en qué medida lo aportan, es decir, qué aspectos serán premiados en las decisiones de los demandantes de vivienda y se verán reflejados en una mayor disponibilidad a pagar por ella.

Más recientemente se han incorporado nuevas metodologías y herramientas en el análisis del precio de la vivienda, entre ellas, un campo de la Inteligencia Artificial, las Redes Neuronales Artificiales (RNA). Este trabajo desarrolla un modelo basado en RNA, cuyo objetivo será medir la incidencia de diferentes aspectos de carácter locacional en el precio de la vivienda en la ciudad de Valencia (España). El estudio tratará de determinar la relevancia sobre el precio de la vivienda de aspectos como la accesibilidad, el entorno ambiental o la calidad de los equipamientos. En primer lugar, se realizará un repaso de lo que dice la literatura al respecto. Se establecerá un estado de la cuestión sobre la incidencia de los distintos determinantes en el valor de la vivienda y los resultados que arrojan diversos estudios sobre este tema. Por otro, se analizará el impacto y las posibilidades de las RNA al campo del estudio del mercado inmobiliario. Más tarde, se mostrará el mo-

delo desarrollado, a partir de la definición de las variables de estudio, y su aplicación en la red neuronal. Por último se analizarán los resultados obtenidos.

1. Revisión de la literatura

El valor de una vivienda depende de muchas características asociadas tanto a aspectos físicos de la vivienda, como a su localización. Este último factor, la localización incorpora las posibilidades de empleo y otras ventajas relacionadas con el ocio y las actividades recreativas. Las características del barrio, que incluyen la presencia de amenidades como, vistas, parques, escuelas, servicios comunitarios, etc., son, todas ellas, atributos que afectan al valor de la vivienda. En este sentido, también influyen en su valor otros atributos relacionados con el entorno, como los factores medioambientales, los niveles de seguridad y las infraestructuras urbanas existentes, entre las que incluiríamos: saneamiento, carreteras, transportes públicos, equipamientos para el cuidado de la salud, educación y otros servicios comunitarios, Pollakowski (1982). Así pues, podemos decir que el precio de una propiedad dependerá de su localización debido a que ésta incorpora atributos que generan beneficios o satisfacción a los residentes. Veamos cuales son los resultados que se derivan de la literatura existente en cada apartado.

Accesibilidad y transporte

La teoría de la localización y los usos del suelo sugiere que la accesibilidad es un factor determinante del valor del suelo residencial y de los cambios que en él se producen. Los estudios que han examinado el papel de la accesibilidad en los mercados de la vivienda han seguido, según Hwang

(2009) tres líneas estratégicas. La primera de ellas, analiza cómo las mejoras en la accesibilidad derivadas de la inversión en transporte, a través del tiempo, son capitalizadas en el precio de la vivienda. Estos trabajos tratan de demostrar dichos efectos a partir de regresiones entre el cambio en los precios de la vivienda y los cambios en la accesibilidad derivados de las mejoras en el transporte, controlando el resto de factores considerados. Los resultados empíricos son heterogéneos, Huang (1996), Ryan (1999) y Gibbons and Machin (2008). Como señala Hwang (2009): se ha observado que la escala y la temporización de la inversión en transporte, la economía local y las políticas de uso del suelo condicionan la respuesta del mercado del suelo y la vivienda a los aumentos en la accesibilidad.

Un segundo grupo de estudios, utiliza los modelos de precios hedónicos para analizar la relación entre las mejoras en la accesibilidad y el precio de la vivienda. Frecuentemente, los trabajos se han centrado en determinar el papel que juega la demanda de accesibilidad al trabajo en el mercado de la vivienda. Un ejemplo de este tipo de estudios es el presentado por Hwang (2009) donde realiza un estudio para las zonas metropolitanas de Buffalo y Seattle, encontrando que la accesibilidad al trabajo es un determinante significativo del precio de la vivienda. Los lugares accesibles a las oportunidades de trabajo se consideran más deseables, de manera que un buen acceso al trabajo ofrece un premio al precio de la vivienda. Los resultados son similares en ambas zonas metropolitanas. Por último, una tercera línea de investigación se ha orientado a determinar la importancia relativa de la accesibilidad en las decisiones de localización residencial. Se define una función de utilidad de la vivienda que incorpora varios atributos, los agentes eligen entre varias alternativas de localización, maximizando la utilidad que se deriva de los múltiples atributos

que caracterizan el conjunto de alternativas de elección. Varios estudios empíricos han encontrado que la accesibilidad tiene menor significación en las decisiones de localización residencial que otros factores como las características de la vivienda y la vecindad, Molins & Timmermans (2003). Sin embargo, en otros niveles, como zonas de rentas más bajas, la accesibilidad está entre los factores más importantes de las decisiones de localización (Quigley 1985; Thill & Van de Vyvere 1989).

Thériault, M. et al (2005) realizan un estudio para evaluar la accesibilidad percibida por las familias en la ciudad de Québec, a partir del tiempo de viaje desde casa a lugares donde se localizan los servicios. Para ello utilizan índices «objetivos» basados en viajes reales y «subjettivos» basados en criterios de lógica difusa. Concluyen que la medida objetiva de accesibilidad obtiene buenos resultados y que el valor de la vivienda aumenta con la accesibilidad; sin embargo, con las medidas subjetivas los resultados no son tan claros. Las investigaciones indican que hay diferencias estadísticamente significativas en la manera en que se estructura la accesibilidad dependiendo de los propósitos de viaje y de los perfiles de hogar.

Los resultados relativos a la relación entre la accesibilidad al trabajo y el valor de la vivienda son «inconsistentes», dependiendo de la medida utilizada. Ryan (1999) estudia la relación entre el precio de la vivienda y la accesibilidad, medida a partir del tiempo de viaje, y obtiene que la accesibilidad está negativamente asociada con el precio de la vivienda. Sin embargo, varios trabajos que han medido la accesibilidad a partir de la distancia de viaje, han obtenido resultados contrarios, es decir, una relación directa entre la accesibilidad y el precio de la vivienda, Franklin y Waddell (2003). Según Hwang (2009), hay claramente problemas de multicolinealidad porque la accesibilidad está altamente correlacionada

con otras variables explicativas. Golledge y Stimson (1997) señalan que el tiempo de viaje parece ser la variable que mejor refleja lo que la accesibilidad implica, más que las medidas basadas en la distancia. Por otro lado, la accesibilidad a distintos tipos de actividades como comercios, educación y formación o recreativas, han demostrado tener diferente impacto en el valor de las propiedades.

Existen estudios en los cuales demuestran que el impacto de la accesibilidad al trabajo sobre el precio de la vivienda no es constante a lo largo del espacio urbano. Adair et al (2000) muestran que la accesibilidad al trabajo tiene un impacto mínimo en el precio de las viviendas si consideramos el área de estudio como un todo, pero se observa una influencia variable a través de las distintas subregiones. Así pues, en las áreas de bajos ingresos, la accesibilidad parece tener una influencia importante.

Munroe (2007) deduce de su trabajo que el valor de la vivienda decrece significativamente con la distancia al «central business district» (CBD) y a los mayores lugares de empleo.

Los modelos hedónicos, en adelante HPM, han sido muy utilizados para medir el efecto de las inversiones en transporte a partir de una distancia física a las paradas de tren o a las vías de tránsito (Henneberry, 1998; Gatzlaff and Smith, 1993). Al-Mosaind et al (1993), analizan la relación entre la proximidad de lo que denominan «light-rail transit (LRT)»¹, y el valor de las viviendas. Encontraron que, en este caso, actúan dos fuerzas: una positiva, por las mejoras de la accesibilidad de los residentes al CBD y al resto del área urbana debido a la proximidad a las estaciones LRT y al ahorro en costes de transporte para los residentes cercanos; y otra negativa, ya que las esta-

¹ Son trenes ligeros que están entre el tranvía y el tren. En Valencia serían los conocidos como trenets o trenes de vía estrecha, ahora incorporados al metro.

ciones LRT pueden generar externalidades en las propiedades cercanas que provoquen una disminución en el valor de dichas viviendas. El estudio se realiza a partir de los precios de venta de las viviendas en el área metropolitana de Portland (Oregón). Los resultados indican que la proximidad a las LRT afecta positivamente al valor de las viviendas. El trabajo muestra que hay una capitalización positiva por la proximidad a las estaciones de LRT para las viviendas entre 500 metros de distancia.

De acuerdo con la economía urbana, el aumento relativo en la accesibilidad proporcionada por los equipamientos e infraestructuras del transporte, puede hacer crecer el valor de las propiedades; ya que, en principio, las localizaciones más accesibles tendrán mayor demanda, lo que conduce a un aumento en las pujas del suelo (bid rent) en dichas localizaciones, Mills and Hamilton (1994). Sin embargo, estudios previos muestran unos resultados menos coincidentes en cuanto a cómo la infraestructura del transporte influencia al valor de la propiedad. En primer lugar, algunos encuentran que la proximidad al transporte por tren tiene un impacto positivo en el valor de la propiedad residencial, Gatzlaff and Smith (1993); Haider and Miller (2000); Lewis-Workmand y Brod (1997); Voith (1991) and Strand et al. (2001). Este último trabajo, realizado para el mercado de la vivienda en Oslo y utilizando HPM y modelos basados en la función de utilidad, destaca que las líneas de transporte también generan varios efectos medioambientales negativos sobre los ciudadanos. El más relevante de ellos es el ruido y las vibraciones asociadas con el paso del tren.

En cuanto al efecto de la proximidad de las estaciones sobre el precio de la vivienda, no hay consenso, mientras algunos encuentran un significativo impacto positivo en el valor de las propiedades (Chen et al., 1997; So et al., 1997; Laakso, 1992), otros no son capaces de encontrar una relación positiva

entre ambos (Hennebery, 1998; Forrest et al., 1996). En la literatura existente, los trabajos empíricos se producen, sobre todo en países desarrollados, especialmente en las ciudades de Norte América (Cambridge Systematic Inc, 1998); Los Ángeles, Cerveró & Duncan (2002); Atlanta, Cervero (1994) y Bollinger & Ihlandfeldt, (1997); Washington D.C. (Cervero, 1994); Toronto (Deweese, 1976) y Hong Kong (So et al., 1997).

Espacios verdes

Los espacios urbanos verdes tienen un importante valor como amenidad que incluye la provisión de oportunidades para el ocio y un disfrute relacionado con lo estético, Kong, et al. (2007). Entre los trabajos previos que han estudiado el impacto de espacios verdes urbanos en el valor de la vivienda se encuentran los de Wyatt (1996); Can and Megbolugbe (1997); Geoghegan et al. (1997); Lake et al. (2000); Brasington and Hite (2005) y Kong (2007). Generalmente, los estudios indican que el acceso a espacios verdes tiene un reflejo en el precio de la vivienda.

Como señalan Miller (1997) y Tyrväinen & Miettinen (2000), el desarrollo de la conciencia sobre el medioambiente tiene como resultado una fuerte demanda por parte de los residentes de espacios verdes para propuestas diversas: ocio, acceso al espacio libre o a la tranquilidad, entre otros. Sin embargo, estos aspectos relacionados con el disfrute de espacios verdes no tienen precios de mercado, por lo que es complejo determinar qué beneficios reportan (Robinette, 1972; Grey and Deneke, 1978; Miller, 1997; Tyrväinen and Väänänen, 1998, More et al., 1988 y Sengupta and Osgood, 2003).

Bengochea (2003), analiza la relación entre el precio de las viviendas y las dotaciones relativas a espacios verdes urbanos mediante HPM. Considera tres variables

para analizar el entorno: la existencia de vistas a un parque o jardín público, la distancia desde una vivienda a su zona verde más cercana y, por último, el tamaño de dicha zona verde. El estudio se ha realizado para la ciudad de Castellón (España). Obtiene que existe una relación inversa entre los precios de venta de las viviendas y la distancia a los espacios verdes urbanos. Por otro lado, Sirmans y Bontempi (1994) analizan las ventas de 194 propiedades residenciales en Fairfax County (Virginia) a lo largo del periodo de 1985 a 1991, encontrando que las viviendas con buenas vistas se venden a unos precios, aproximadamente, un 8 por cien más altos que los hogares sin vistas.

Respecto a la calidad del aire, se han realizado estudios a partir de HPM que encuentran una relación positiva entre esta variable y el valor de las viviendas. (Ridker and Henning, 1967).

Si se desea profundizar en la cuestión, Boyle et al (2001), hacen una revisión exhaustiva de los trabajos que analizan los efectos sobre el precio de la vivienda de: la calidad del aire, la calidad del agua, establecimiento de equipamientos o actividades no deseadas, y la proximidad de vivir cerca de zonas peligrosas.

Equipamientos del barrio

So et al (1997) demuestran que la presencia de centros comerciales y equipamientos deportivos son factores importantes en la determinación de los precios. El estudio se ha realizado para el mercado de la vivienda en Hong Kong.

En cuanto al impacto de la calidad de los equipamientos educativos sobre el precio de la vivienda, los resultados de las investigaciones realizadas no son coincidentes. Hayes y Taylor (1996) argumentan que el impacto de la calidad de los colegios en el valor de la vivienda deriva del valor

añadido de la escuela, es decir, de los resultados escolares. Los resultados que arrojan diversos trabajos sobre la cuestión son los siguientes: Dubin y Goodman (1982) analizan, a partir de un modelo de precios hedónicos, el impacto de la educación y el crimen en el precio de las viviendas en Baltimore (EEUU) y encuentran que ninguna medida del valor añadido de la educación afecta significativamente al precio de las viviendas; otros trabajos llegan a la conclusión contraria, Goodman y Thibodeau (1998) obtienen que los ratios relativos a las calificaciones o resultados obtenidos por los alumnos en las pruebas realizadas en los centros afectan de forma positiva y significativa al precio de la vivienda; Brasington (2000) para Ohio y Sieg et al. (1999) para California obtienen también que los resultados alcanzados en los test escolares se relacionan positivamente con el precio de la vivienda; por último, Brasington et al. (2005) basándose en los datos de transacciones de vivienda para seis áreas urbanas en Ohio durante el año 1991, concluyen que la calidad de la educación, medida a partir de los resultados escolares, no se refleja en el valor de las viviendas, o en todo caso, su impacto es muy reducido.

Inmigración: segregación y discriminación étnica

En este apartado repasamos qué señala la literatura que se ha encargado de analizar los efectos que la inmigración, y aquellos aspectos relacionados con la segregación y discriminación racial, han tenido sobre el precio de las viviendas. Los resultados que se derivan de los distintos trabajos no dejan unas conclusiones claras. Cerveró et al. (2004) estudian cómo la composición racial, influye en el valor del suelo en Santa Clara County (California) y encuentran que la diversidad racial tiende a bajar el valor de las propiedades residenciales. In-

cluso cuando se controla por factores tales como renta media por hogar. Myers (2004) afirma que el valor de las viviendas declina en los barrios donde el porcentaje de blancos decrece.

Hay dos modelos bien conocidos que demuestran que las preferencias privadas por la composición racial pueden crear diferenciales de precios entre vecindades. El «border model» de Bailey (1959) considera que los blancos y los negros están segregados de la siguiente forma, los negros habitan en los barrios centrales y los blancos en las zonas suburbanas. Se asume también que ambos, negros y blancos prefieren vivir en vecindades de blancos. La competición asegura que los precios que los negros y los blancos pagan por una vivienda en las áreas límite de las vecindades serán igual, porque los blancos prefieren vivir lo más lejos posible de los negros y por ello pagan más por las viviendas en las áreas interiores de los barrios blancos que en los bordes. Como los negros prefieren vivir en los barrios de blancos, pagarán menos por las viviendas en el centro o interior de los barrios de negros. Combinando estos resultados, en ausencia de discriminación, los modelos predicen que los precios en el interior de los barrios de negros tendrán unos precios más bajos que en el interior de los barrios blancos y los precios en las zonas de los bordes de las áreas serán intermedios. Este modelo puede aproximarnos a estimar como afecta al precio de la vivienda las concentraciones de ciertas etnias en barrios concretos de la ciudad. Otro trabajo en esta línea es el de Yinger (1976).

2. RNA y mercado inmobiliario

Las redes neuronales están compuestas de una serie de unidades simples de computación interconectadas, llamadas neuro-

nas. Estos algoritmos de cálculo, se basan en el principio de funcionamiento del sistema nervioso animal. En concreto, las RNA están compuestas de varias neuronas, que se pueden organizar en diferentes arquitecturas, llamadas topologías. Cada estructura diferente podría ser personalizada en una forma diferente, según para el problema de que se trate; Freeman & Skapura (1990). Las RNA son capaces de suministrar predicciones rápidas a un problema dado, proporcionando unos resultados aceptables para los patrones de lo desconocido. De esta manera, tienen que aprender sobre el problema de estudio (proceso de formación), teniendo en cuenta este proceso en una especie de montaje con un conjunto de muestras que pertenecen al dominio de problema. Después, las RNA establecen correlaciones matemáticas entre los datos, Ripley (1996).

Las redes neuronales artificiales (Bishop, 1996; Ripley, 1996) son herramientas de análisis de alto rendimiento, no lineales, que son capaces de establecer la relación entre los datos de entrada/salida sin conocimiento previo de la correlación entre las variables involucradas en el del sistema. Consisten en una serie de simples unidades de computación interconectados, llamadas neuronas. Estas neuronas artificiales están interconectadas entre sí por la fuerza sináptica para formar una red, de forma análoga a las neuronas biológicas. Las redes se pueden organizar en arquitecturas de diferentes topologías. Cada topología diferente podría ser adaptada en una manera diferente en función del problema en cuestión; Freeman & Skapura (1992).

Dos características importantes de las redes neuronales son la capacidad de dar respuestas rápidas a un problema y la capacidad de inferir las respuestas de los patrones desconocidos comprendidos en el dominio de entrada. Por lo tanto, tienen que aprender sobre el problema objeto de estudio y este aprendizaje se conoce co-

múnmente como «proceso de formación». En el aprendizaje supervisado, a las redes neuronales se le suministran un conjunto de muestras, que pertenecen al dominio del problema (las entradas y salidas), durante este proceso de capacitación, se establecen correlaciones matemáticas entre las muestras; Ripley (1996). Para el análisis, procesamiento y la obtención de modelos precisos, son necesarios una gran cantidad de información y tiempo.

Una de las más conocidas estructuras de las redes neuronales de aprendizaje supervisado es el perceptrón multicapa (Rosenblatt, 1962), que se utiliza generalmente para los problemas de clasificación y predicción. En el perceptrón multi-capas, las neuronas se agrupan en capas o niveles, de modo que cada entrada de una neurona se compone de las salidas de las neuronas del nivel anterior, con excepción de las neuronas en la capa de entrada, que tienen valores que pertenecen al problema dominio como entrada. El número de nodos en la entrada y salida de las capas están determinados por las características de problema. Sin embargo, el número de capas ocultas, e incluso el número de nodos en cada una de estas capas, es impredecible, por lo que es necesario evaluar las diferentes estructuras para establecer la topología de la red neuronal que parece más adecuada para el problema objeto de estudio (Bishop, 1996; Ripley, 1996).

Los intentos de aplicar la tecnología de redes neuronales a la valoración de inmuebles datan de principios de los 90. Con frecuencia, estos estudios son análisis comparativos de los resultados y la eficacia percibida de los modelos de redes neuronales con otros métodos estadísticos más probados.

Do y Grudnitski (1992), Tay y Ho (1991) en un estudio comparable en Singapur, Evans et al. (1992) y Rossini (1997a, 1997b) concluyen que un modelo de red neuronal se comporta mejor que un modelo

de regresión múltiple para estimar el valor. Worzala et al. (1995) adoptan una posición contraria y ponen en duda el papel de las redes neuronales frente a los modelos de regresión tradicionales de análisis, lo que sugiere que es necesario tener precaución cuando se trabaja con redes neuronales. Señalan que en la realización de análisis a distintos niveles de investigación y la utilización de distintos intérpretes de la red neuronal, la magnitud del error llegó, en algunos casos, a ser muy importante (hasta un 70%) y claramente no aceptable para una evaluación profesional.

Para Gallego (2008) las RNA son capaces de captar el comportamiento conjunto de las variables en el mercado inmobiliario, incluso en un ámbito territorial amplio, en donde los productos son más variados y las relaciones de variables son más complejas.

Tay (1992) señala, que la valoración de la propiedad es esencialmente un problema de «reconocimiento de patrones» e indica, que la RNA debe ser capaz de aprender de las ventas históricas, aplicando los precios de venta a los respectivos «patrones» identificados.

En España, entre los estudios de valoración de inmuebles, destacan las aportaciones de Celular and Caridad (2000), Mohamed (2002), Fuentes Jiménez (2003), García Rubio (2004), Gallego (2004), Lara (2005), relativos a los mercados inmobiliarios en la ciudad de Córdoba, Cádiz, Melilla, Albacete, Madrid y Jaén, respectivamente. Caridad et al. (2008).

Quang Do y Grudnitski (1993) utiliza una RNA para volver a examinar el efecto de la edad sobre el valor de la vivienda. Ambos encuentran una relación negativa entre la edad de la propiedad y su valor de mercado sólo para los primeros dieciséis a veinte años de la vida de la propiedad. Posteriormente, la relación entre la edad y el valor se convierte en positivo. Esta relación es consistente con Sabella (1974), que sostiene la teoría de que el valor de

una propiedad se eleva en los últimos años debido, en gran parte, al aumento en el valor del suelo.

La creación del modelo de RNA

En este trabajo, se han empleado redes neuronales artificiales para obtener un modelo capaz de aproximar el precio por metro cuadrado de una vivienda, teniendo en cuenta como parámetros de entrada: las características internas de la vivienda, el equipamiento del barrio, lejanía de los parques, la distancia al CBD, la proximidad al tranvía o al metro, el nivel socioeconómico y el grado de los inmigrantes en el vecindario.

Utilizando el aprendizaje supervisado, hemos aplicado un método incremental, probando diferentes topologías de redes neuronales basadas en el perceptrón multicapa. A partir de una sola capa y pocas neuronas, la topología fue modificada por el aumento del número de neuronas y el número de capas ocultas.

Se llevaron a cabo diferentes experimentos con los algoritmos de entrenamiento y resultó ser más adecuado para el perceptrón multicapa de acuerdo con la literatura (Bis-

hop, 1996). En concreto, las redes neuronales han sido entrenadas con retropropagación y retropropagación con ímpetu, con diferentes parámetros (factor de aprendizaje η y μ momento). En la tabla 1 se muestran todas las combinaciones estudiadas.

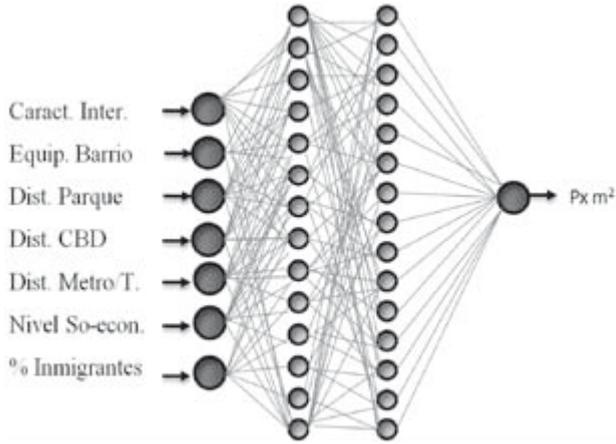
El número de muestras resulta pequeño (1.442) para el proceso de formación. Por esta razón, se ha utilizado la validación cruzada en la formación de datos (Bishop, 1996). En k-veces la validación cruzada, el conjunto original de la muestra se divide en k subconjuntos. De los subconjuntos de k, un único subconjunto se mantiene como la validación de datos para probar el modelo, y el K-1 restantes subtests se utilizan como datos de entrenamiento. El proceso de validación cruzada se repite k veces (los pliegues), con cada una de las submuestras K utiliza una sola vez como los datos de validación. Por lo tanto, el conjunto de entrenamiento se dividió al azar en diez subgrupos ($k = 10$) de la formación (90%) y el análisis de muestras (10%). Por lo tanto, cada proceso de capacitación se llevó a cabo diez veces con diferentes combinaciones de subconjuntos de entrenamiento y prueba, teniendo en cuenta el error obtenido de la media al cuadrado.

Tabla 1

Topologías, algoritmos de formación y el aprendizaje de parámetros de los valores estudiados en el proceso de creación para obtener un adecuado modelo de RNA

Topología Perceptrón				Algoritmo de formación		
Nodos de la capa de entrada	1. ^a capa de nodos	2. ^a capa de nodos	Capas de nodos de salida	Nombre	Factor de aprendizaje η	Momento μ
7	[1,14], pasos de un nodo	[1,14], pasos de un nodo	1	Retropropagación	[0.2, 0.9], pasos de 0.1	—
				Retropropagación con momento	[0.2, 0.8], pasos de 0.2	[0.2, 0.8], pasos de 0.2

Figura 1
RNA topología seleccionada



Como resultado del estudio de la topología y algoritmo de entrenamiento, se observó que los mejores resultados se obtuvieron utilizando una RNA con siete nodos de entrada, catorce nodos en su primera capa, catorce nodos en su segunda capa y una capa de salida (Figura 1), combinado con retropropagación con ímpetu como algoritmo de entrenamiento ($\eta = 0,2$, $\mu = 0,6$). Esta combinación ha llevado a un error absoluto del 22,23% en la predicción de los precios en la fase de prueba.

3. Modelo aplicado a la ciudad de Valencia

La pretensión de este estudio es modelizar el precio de oferta de la vivienda en la ciudad de Valencia a partir de una serie de atributos internos y externos referentes al inmueble. Cabe reseñar que se trata del precio de oferta, y no así del precio real de transacción, pues este dato solo lo conocen las partes contratantes de la compraventa, y en muchas ocasiones, no coincide con el precio escriturado.

Para la realización de este estudio, se han recogido un total de 1.442 testigos de oferta de venta de viviendas de todos los distritos y barrios de la ciudad de Valencia durante el último trimestre del año 2009 y los dos primeros trimestres del año 2010. La distribución de la muestra se puede ver en el mapa de distritos de la figura 2 (entre paréntesis se indica la cantidad).

La muestra recoge tanto ofertas de vivienda de obra nueva como de segunda mano. De cada muestra se anotaron, en un principio, datos para un total de 43 variables categorizadas en las tablas 2 y 3.

El número de muestras que se recogieron (1.442) resultó ser relativamente pequeño, para el número de variables que incorporamos a la red, razón por la cual no obtuvimos aproximación alguna de la red. Decidimos reducir el número de variables de entrada intentando perder la menor cantidad de información posible. Con el fin de simplificar el modelo, agrupamos e indexamos algunas variables hasta dejar la red en siete variables de entrada y una de salida.

Figura 2
Distribución de la muestra por distritos



Fuente: www.valencia.es/ayuntamiento/estadistica.nsf y elaboración propia.

Tabla 2
Variables de las características internas de la vivienda

INTERNAS		
De la propia vivienda	De la edificación	De los espacios comunes
• Precio	• Ascensor	• Zona verde
• Tamaño	• Instalación de gas natural	• Piscina
• Altura	• Calefacción mediante radiadores	• Pistas deportivas
• Cualidad diferenciadora	• Aire acondicionado	• Parque infantil
• Antigüedad	• Otras instalaciones	• Otros
• Estado de conservación		
• Garaje		
• N.º de habitaciones		
• N.º de baños		
• Vistas-orientación		

Tabla 3
Variables externas de la vivienda

EXTERNAS			
De urbanización	De vecindad	De accesibilidad	Económico-sociales
• Anchura de calle	• Docentes	• Distancia al centro de la ciudad	• Nivel socioeconómico
• Anchura de acera	• Sanitarios	• Proximidad al metro/tranvía	• Presencia de inmigrantes
• Calidad de urbanización	• Culturales	• Proximidad a vías rápidas	
• Regularidad de la trama	• Deportivos	• Proximidad a cinturones	
• Densidad	• M ² zonas verdes		
	• Distancia a zonas verdes		
	• Edificios singulares		
	• Cercanía a equipos no deseados		
	• Tráfico/congestión		

Las variables de entrada del modelo son:

- **Distancia al centro de la ciudad** (CBD), medida en metros. Como punto central de la ciudad tomamos el de mayor accesibilidad, la entrada de la Estación del Norte, situada a pocos metros de la Plaza del Ayuntamiento (centro geográfico) y de la zona comercial y de negocios de Valencia.
- **Distancia a la parada más cercana de metro o tranvía**, también medida en metros.
- **Distancia a parques**, consideramos todos los parques, grandes, medianos y pequeños.
- **Características internas de la vivienda**. Realizamos un índice con las variables de la tabla 2, de tal forma que clasificamos la vivienda por tamaño y

calidad, obteniendo 9 categorías que se recogen en la tabla 4.

- **Equipamientos del barrio**, incluye dotaciones deportivas, sanitarias, docentes, culturales y otras tales como centros de jubilados, Prop², ...
- **Nivel socio-económico**. Hemos utilizado para su medición, el indicador del estudio realizado por la oficina de investigación del Ayuntamiento de Valencia.
- **Porcentaje de inmigración en el barrio**. Para el cálculo de esta variable se ha acudido a las fuentes estadísticas del Ayuntamiento de Valencia.

² Se trata de edificios de la Generalitat Valenciana donde los ciudadanos pueden realizar cualquier consulta relacionada con la Administración.

Tabla 4
Clasificación de las viviendas por sus características internas

VIVIENDAS	Grandes (+ 150 m ²)	Medianas (entre 90 y 150 m ²)	Pequeñas (menos de 90 m ²)
Alta calidad	A	B	C
Calidad media	D	E	F
Calidad baja	G	H	I

4. Resultados y conclusiones

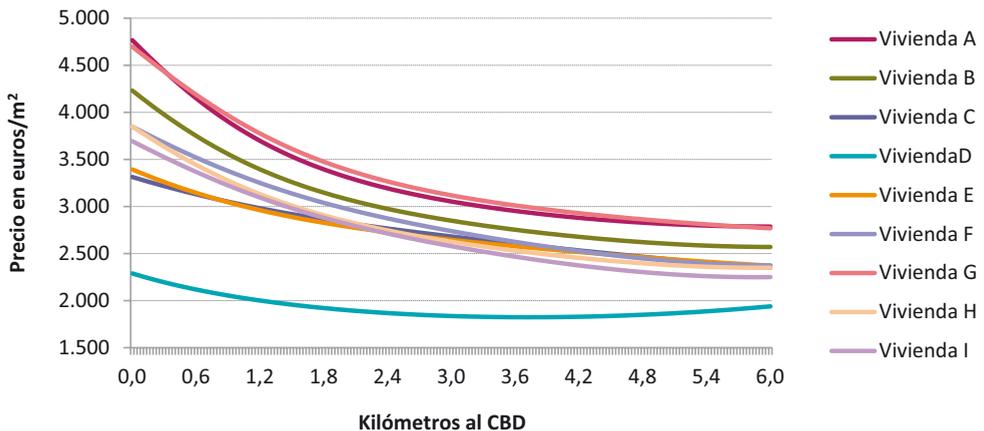
Para el análisis de los resultados se ha elegido al azar una propiedad residencial de cada categoría y se ha observado qué predice nuestro modelo respecto a la incidencia de las distintas variables estudiadas en el precio de la vivienda. Las variables analizadas han sido: distancia al CBD, distancia al metro/tranvía, distancia a parques y zonas de esparcimiento, tasa de inmigración, nivel socioeconómico y equipamientos del barrio. En las gráficas 1 a 4 se muestran los resultados obtenidos.

En base a los resultados obtenidos, nuestro modelo arroja las siguientes predicciones:

1. El precio de la vivienda depende positivamente de la cercanía al centro. Cuanto más próxima está una vivienda al centro mayor es su valor esperado. Esta relación se cumple para las 9 clases o tipos de vivienda consideradas. Nuestro modelo también predice que el impacto positivo de la cercanía sobre el precio de la vivienda o, al contrario, el efecto negativo sobre el precio a medida que nos alejamos del centro, pierde intensidad con la distancia, especialmente cuando superamos la distancia de 1 kilómetro.

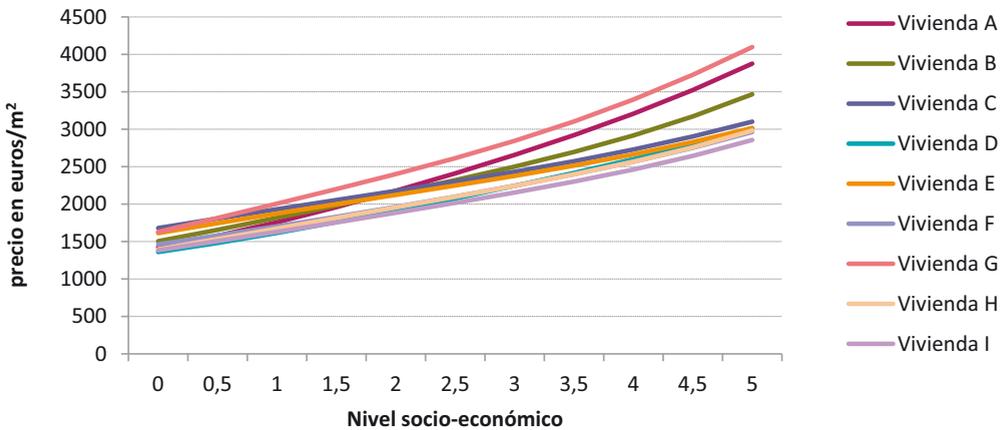
Gráfica 1

Previsión del precio de la vivienda en función de la distancia al centro de la ciudad



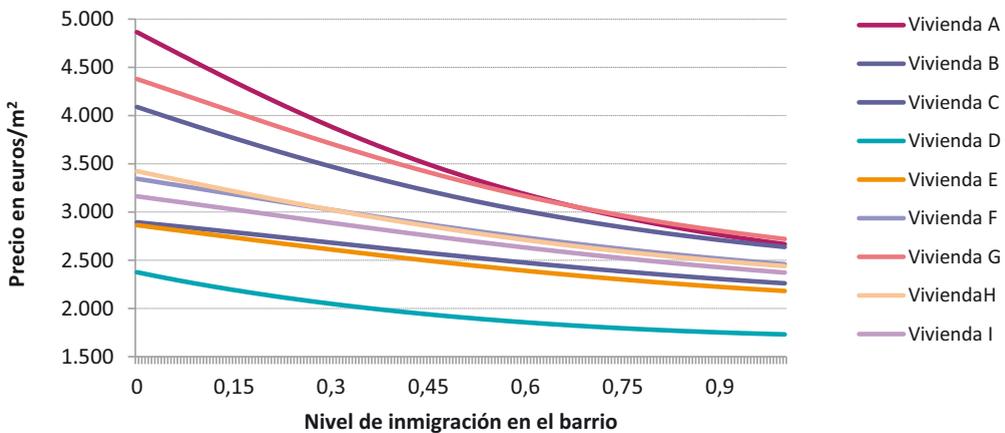
Gráfica 2

Previsión del precio de la vivienda según el nivel socio-económico del barrio



Gráfica 3

Previsión del precio de la vivienda en relación a la tasa de inmigración

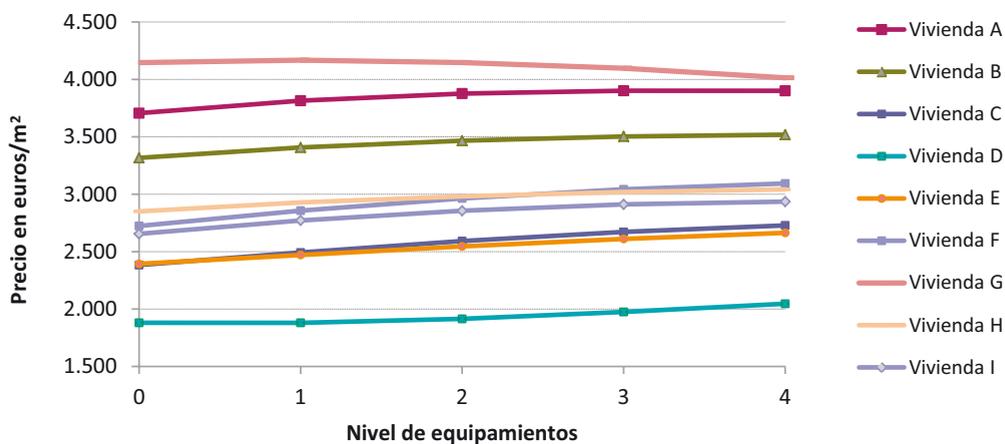


2. La tasa de inmigración en el barrio tiene una relación negativa con el precio de la vivienda. Cuanto mayor es el porcentaje de inmigrantes en el barrio, menor es el precio de oferta de una vivienda.

Esta relación es más intensa en las viviendas de más calidad, es decir, cuanto mayor sea la calidad de la vivienda, más se reducirá su valor al considerar barrios con mayor tasa de inmigración.

Gráfica 4

Previsión del precio de la vivienda en base al nivel de equipamientos del barrio



- Para cualquier clase de vivienda, existe una relación directa entre su precio y el nivel socioeconómico de los habitantes que residen en el barrio. Si consideramos una vivienda de cualquier tipo, pequeña, grande, nueva o antigua, nuestro modelo predice que su valor aumentará a medida que lo haga el nivel socioeconómico del barrio considerado.
- Los equipamientos del barrio, inciden en el precio, pero no de igual forma para todas las clases de vivienda. Parece ser que el precio de las viviendas del grupo de menor calidad (generalmente asociadas a propietarios con menor renta) es más sensible al nivel de equipamientos. Para próximas investigaciones se realizará un índice que mida de forma más exhaustiva la cantidad y calidad de equipamientos del barrio donde se localice la propiedad.
- La variable distancia al metro/tranvía, no arroja resultados concluyentes y consideramos que se debe a un error en la definición de la variable que debemos mejorar. En primer lugar, debemos incorporar el autobús; en segundo lugar, para analizar el impacto del transporte público, debemos tener en cuenta no solo la distancia a las paradas de transporte sino también el nivel de servicio que cada transporte considerado tiene para los ciudadanos en sus estaciones respectivas. Es decir, debemos valorar su proximidad, su calidad y su capacidad de conexión. Pero, más allá de las mejoras que debemos introducir, es necesario destacar que la medición del impacto del transporte es complicada, pues operan dos fuerzas contrapuestas, por un lado los beneficios de su cercanía por ahorros de tiempo y, por otro, las externalidades negativas derivadas especial-

mente de los ruidos, vibraciones y efectos sobre el paisaje.

6. La distancia a zonas verdes y de esparcimiento nos ofrece un resultado contra-intuitivo, esto es, nuestro modelo predice que cuanto mayor sea la distancia a estos espacios, menor será el precio de la vivienda. Suponemos que ello se debe a un error en la definición de la variable al no haber considerado la calidad de los espacios verdes. Para próximas investigaciones se analizará la proximidad a tres categorías de espacios verdes: El Cauce Viejo del Río Turia, que atraviesa la ciudad de este a oeste con una extensión de casi 1.500.000 metros cuadrados; dos grandes parques urbanos de una extensión superior a 190.000 metros cuadrados; y otros parques con extensión superior a 25.000 m².

Agradecimientos

Este trabajo está parcialmente financiado por CONSOLIDER INGENIO 2010 en virtud de concesión CSD2007-00022, proyecto PROMETEO TIN2008-04446/TIN y 2008/051.

Referencias

- ADAIR, A.; MCGREAL, S.; SMYTH, J., COOPER, J. and RYLEY, T. (2000): *House Prices and Accessibility: The Testing of Relationships within the Belfast Urban Area*. Housing Studies, vol. 15, n.º 5, 699-716.
- AL-MOSAIND, M. A.; DUEKER, K. J. y STRATHMAN, J. G. (1993): *Light-Rail Transit stations and property values: a hedonic price approach*. Transportation Research Borrada of the National Academy, n.º 1400, 90-94.
- ALONSO W. (1964): *Location and Land Use: Toward a General Theory of Land Rent*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- BAILEY, M. J. (1959): *A note on the economics of residential zoning and urban renewal*, Land Econ., 35, 288-292.
- BAJIC V. (1983): *The Effects of a New Subway Line on Housing Prices in Metropolitan Toronto*, Urban Studies, 20: 147-158.
- BENGOCHEA, A. (2003): *A hedonic valuation of urban green areas*. Landscape and Urban Planning 66 (2003) 35-41.
- BISHOP, C. (1996): *Neural networks for pattern recognition*. Oxford: Oxford Clarendon Press.
- BRASINGTON, D. M., HITE, D. (2005): *Demand for environmental quality: a spatial hedonic analysis*. Regional Sci. Urban Econ. 35, 57-82.
- BRASINGTON, D. M. (2000): *Demand and supply of public school quality in metropolitan areas: the role of private schools*. Journal of Regional Science, 40 3, pp. 583-605.
- BOLLINGER, R. C. and IHLANFELDT (1997): *The Impact of Rapid Rail Transit on Economic Development: The Case of Atlanta's MARTA*, Journal of Urban Economics, 42: 179-204.
- BOYLE, M. and KIEL, K. A. (2001): *A Survey of House Price Hedonic Studies of the Impact of Environmental Externalities*. Journal of Real Estate Literature vol. 9, n 2.
- CAN, A., MEGBOLUGBE, I. (1997): *Spatial dependence and house price index construction*. Real Estate Finance Econ. 14, 203-222.
- CAMBRIDGE SYSTEMATICS INC. (1998): «TCRP Report 35: Economic Impact Analysis of Transit Investment: Guidebook for Practitioners», National Academy Press, Washington, D. C.
- CEULAR, N. y CARIDAD, J. M. (2000): *Redes Neuronales en la estimación del precio de la vivienda en la ciudad de Córdoba*. Documento de Trabajo del Dpto. de Estadística, Econometría, I. O. y Organización de Empresas.
- CERVERO, R. and DUNCAN, M. (2004): *Neighbourhood Composition and Residential Land Prices: Does Exclusion Raise or Lower Values?* Urban Studies, Vol. 41, No. 2, 299-315.
- CERVERO, R. (1994): *Rail Transit and Joint Development: Land Impacts in Washington, D. C. and Atlanta*, APA Journal, Winter: 83-93.
- CERVERO, R. and DUNCAN (2002): *Land Value Impacts of Rail Transit Services in Los Angeles County*, Report prepared for National Association of Realtors Urban Land Institute.

- CERVERO, R. and LANDIS, J. (1997): *Twenty years of the Bay Area Rapid Transit System: Land Use and Development Impacts*, Transportation Research A, 31:4, 1997.
- CHEN, H.; RUFULO, A., and DUEKER, K. (1998): *Measuring the impact of light rail systems on single-family home values: A hedonic approach with geographic information system application*. Transportation Research Record, 1617, 38-43.
- CHEN, H.; RUFOLO, A. and DUEKER, K. J. (1997): *Measuring the Impact of Light Rail Systems on Single Family Home Values: A Hedonic Approach with GIS Application Discussion Paper 97-3*, Center for Urban Studies, Portland State University, Portland, Oregon.
- DEBOECK, G. J. & CADER, M. (1994): *Trading US treasury notes with a portfolio of neural net models*. In G.J. Deboeck, *Trading on the edge* (pp. 102-122). New York: Wiley.
- DEWEES, D. N. (1976): «The Effect of a Subway on Residential Property Values in Toronto», *Journal of Urban Economics*, 3: 357-369.
- DO, Q. and GRUDNITSKI, G. (1992): «A neural network approach to residential property appraisal». *The Real Estate Appraiser*, December, pp. 38-45.
- DUBIN, R. A. and GOODMAN, A. C. (1982): *Valuation of Education and Crime Neighborhood Characteristics Through Hedonic Housing Prices*, *Population and Environment*, 5, 166-181.
- EVANS, A.; JAMES, H. and COLLINS, A. (1992): «Artificial neural networks: an application to residential valuation in the UK», *Journal of Property Valuation & Investment*, Vol. 11 No. 2, 195-204.
- FORREST, D.; GLEN, J. and WARD, R. (1996): «The Impact of a Light Rail System on the Structure of House Prices», *Journal of Transport Economics and Policy*, 30(1): 15-29.
- FRANKLIN, J. P. and WADDELL, P. (2003): *A hedonic regression of home prices in King County, Washington, using activity-specific accessibility measures*. Paper presented at Transportation Research Board Meeting.
- FREEMAN, J. A., SKAPURA, D. M. (1992): *Neural Networks: Algorithms, Applications and Programming Techniques*, Addison-Wesley, Boston, MA.
- FUENTES JIMÉNEZ, A. M. (2004): *Métodos estadísticos y econométricos para la determinación del precio de la vivienda*. Tesis doctoral. Universidad de Granada.
- GALLEGO, J. (2008): *Modelos de valoración automatizada*. CT: Catastro n.º 62.
- GARCÍA RUBIO, N. (2004): *Desarrollo y aplicación de redes neuronales artificiales al mercado inmobiliario: aplicación a la ciudad de Albacete*. Tesis Doctoral. Universidad de Castilla-La Mancha.
- GATZLAFF, D. H. and SMITH, M. T. (1993): *The impact of the Miami Metrorail on the values of residences near station locations*. *Land Economics*, 69, 54-66.
- GEOGHEGAN, J.; WAINGER, L. A., Bockstael, N. E. (1997): *Analysis spatial landscape indices in a hedonic framework: an ecological economics analysis using GIS*. *Ecol. Econ.* 23, 251-264.
- GIBBONS, S. and MACHIN, S. (2008): *Valuing school quality, better transport and lower crime: evidence from house prices*. *Oxford Review of Economic Policy*, 24(1), 99-119.
- GOLLEDGE, R. G. & STIMSON, R. J. (1997): *Spatial behavior. A geographic perspective* (New York: Guilford Press).
- GOODMAN, A. C. and THIBODEAU, T. G. (1998): *Housing Market Segmentation*, *Journal of Housing Economics*, 7, 121-143.
- GREY, G. W. and DENEKE, F. J. (1978): *Urban forestry*. New York, John Wiley, 279p.
- HAIDER, M. and MILLER, E. J. (2000): *Effects of transportation infrastructure and location on residential real estate values: Application of spatial autoregressive techniques*. *Transportation Research Record*, 1722, 1-8.
- HAYES, K. J. and LORI, L., TAYLOR, L. L. (1996): *Neighborhood School Characteristics: What Signals Quality to Homebuyers?* Federal Reserve Bank of Dallas Economic Review.
- HENNEBERRY, J. (1998): *Transport Investment and House Prices*, *Journal of Property Valuation and Investment*, 16(2): 144-158.
- HUANG, H. (1996): *The land-use impacts of urban rail transit systems*. *Journal of Planning Literature*, 11(1), 17-30.
- HWANG, S. (2009): *Willingness to Pay for Job Accessibility: Evidences Revealed from Neighborhood Scale Analyses in Buffalo and Seattle*

- Housing Market*. Prepared for 2009 Transport Chicago Conference.
- JIN, Y. (January 2005). *A comprehensive survey of fitness approximation in evolutionary computation soft computing-A Fusion of foundations. Methodologies and Applications*, 9(1), 3-12.
- KONG, F.; HAIWEI, Y. y NAKAGOSKI, N. (2007): Using GIS and landscape metrics in the hedonic price modeling of the amenity value of urban green space: A case study in Jinan City, China *Landscape and Urban Planning* 79, 240-252.
- LAAKSO, S. (1992), *Public Transport Investment and Residential Property Values in Helsinki*, Scandinavian Housing and Planning Research, 9: 217-229.
- LAKE, I.; LOVETT, A. A.; BATEMAN, I., DAY, B. (2000): *Using GIS and large-scale digital data to implement hedonic pricing studies*. *Int. J. Geograph. Inform. Sci.* 14 (6), 521-541.
- LARA CABEZA, J. (2005): Aplicación de las redes neuronales artificiales al campo de la valoración inmobiliaria. *Mapping*, 104: 64-71.
- LEWIS-WORKMAN, S. and BROD, D. (1997): Measuring the neighborhood benefits of rail transit accessibility. *Transportation Research Record*, 1576, 147-153.
- MILLER, R. W. (1997): *Urban Forestry: Planning and Managing Urban GreenSpaces*, 2nd ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, p. 502.
- MILLS, E. and HAMILTON, B. (1994): *Urban Economics, 5th edition*. New York: Harper Collins College Publishers.
- MILLS, E. S. (1967): *An Aggregative Model of Resource Allocation in a Metropolitan Area*. *American Economic Review*, Vol. 57, No. 2, pp. 197-210.
- (1972): *Studies in the Structure of the Urban Economy*, Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- MINSKY, M. y PAPERT (1969): *Perceptrons*. Ed. MIT press.
- MOHAMED AMAR, R. (2002): *Estimación del precio de la vivienda urbana mediante redes neuronales artificiales: Estudio de un caso*. XII Jornadas Hispano-Lusas. Covilha (Portugal).
- MOLINS, E. and TIMMERMANS, H. (2003): Accessibility Considerations in Residential Choice Decisions: Accumulated Evidence from the Benelux. Annual Transportation Research Board Meeting, January 2003, Washington D.C.
- MORE, T. A.; STEVENS, T., ALLEN, P. G. (1988): *Valuation of urban parks*. *Landsc. Urban Plann.* 15, 139-152.
- MUNROE, D. K. (2007): *Exploring the determinants of spatial pattern in residential land markets: Amenities and disamenities in Charlotte, NC, USA*. *Environment and Planning A*, 34, 336-354.
- MUTH, R. (1969): *Cities and Housing*, University of Chicago Press, Chicago, IL.
- MYERS, C. K. (2004): Discrimination and neighborhoods effects: understanding racial differential in US housing prices. *Journal of Urban Economics*. Volume 56. Issue 2, pp. 279-302.
- POLLAKOWSKI, H. O. (1982): *Urban Housing Markets and Residential Location*, D.C. Heath and Company, Lexington, MA.
- QUANG DO, A. and GRUDNITSKI, G. (1993): *A neural network analysis of the effect of Age on housing values*. *The Journal of Real Estate*, Vol. 8 (2): 253-264.
- QUIGLEY, J. (1985): Consumer choice of dwelling, neighborhood and public services. *Regional Science and Urban Economics*, 15, 41-63.
- RIDKER, R. G., HENNING, J. A. (1967): *The determinants of residential property values with special reference to air pollution*. *Rev. Econ. Stat.* 49 (2), 246-257.
- RIPLEY, B. (1996): *Pattern recognition and neural networks*. Cambridge: Cambridge University Press.
- ROSEN, S. (1974): *Hedonic Prices and Implicit Markets: Product Differentiation in Pure Competition*, *Journal of Political Economy*, 82(1): 34-55.
- ROSENBLATT (1962): *Principles of Neurodynamics: Perceptrons and the Theory of Brain Mechanisms*. Spartan Books.
- ROSSINI, P. (1997): Application of Artificial Neural Networks to the Valuation of Residential Property. Third Annual Pacific-Rim Real Estate Society Conference. Palmerston North, New Zealand, 20th - 22nd.
- RYAN, S. (1999): *Property values and transportation facilities: finding the transportation-land*

- use connection. *Journal of Planning Literature*, 13(4), 412-427.
- SABELLA, E. (1974): *The Effects of Property Taxes and Local Public Expenditures on Sales Price of Residential Dwelling*. *Appraisal Journal*, 42, 114-125.
- SENGUPTA, S. & DE OSGOOD (2003): The value of remoteness: a hedonic estimation of ran- chette prices. *Ecological Economics*, 44, 91-103.
- SIEG, Holger, V. Kerry SMITH, H. Spencer BAN- ZHOF, and Randall WALSH (1999): *The Role of Optimizing Behavior in Willingness-To- Pay Estimates for Air Quality*. *American Journal of Agricultural Economics*, 81, 1112-1117.
- SIRMANS, D. and P. BONTEMPI (1994): *Recom- mended Volume Coverage Pattern for the Los Angeles Radar*, OSF Technical Report, March 1994.
- STRANDI, J. and VÄGNES, M. (2001): The relation- ship between property values and railroad proximity: a study based on hedonic prices and real estate brokers' appraisals. *Transportation* 28, pp. 137-156.
- SO, H. M., R. Y. C. TSE, R. Y. C and GANESAN, S. (1997): *Estimating the influence of transport on house prices: Evidence from Hong Kong*. *The Journal of Property Investment and Finance*, 15(1): 40-47.
- TAY, D. P. H. and HO, D. K. K. (1991/1992): «Artificial intelligence and the mass appraisal of residential apartments», *Journal of Property Valuation & Investment*, Vol. 10 No. 2, pp. 525-40.
- THÉRIAULT, M.; DES ROSIERS, F. and JOERIN, F. (2005): *Modelling accessibility to urban ser- vices using fuzzy logic: A comparative analysis of two methods*, *Journal of Property Invest- ment & Finance*, Vol. 23 Iss: 1, pp. 22-54.
- THILL, J. C., & VAN DE VYVERE, Y. (1989): Work- place and locational choice of residence: a hierarchical approach. *Sistemi Urbani*, 3, 339-365.
- TYRVÄINEN, L., VÄÄNÄNEN, H. (1998): The eco- nomic value of urban forest amenities: an application of the contingent valuation method. *Landscape and Urban Planning* 43, 105-118.
- V. THÜNEN, J. H. (1826): *Der Isolierte Staat ni Beziehung and Landwirtschaft und National ökonomie*. Hamburgo.
- VOITH, Richard (1991): Transportation, sorting, and house values. *AREUEA*, 19, 117-137.
- WINGO, L. (1972): *Transporte y suelo urbano*. Oikos-Tau. Vilassar de Mar (Barcelona). Versión castellana de F. Minguela Rubió.
- WORZALA, E.; LENK, M. and SILVA, A. (1995): An Exploration of Neural Networks and Its Application to Real Estate Valuation. *The Journal of Real Estate Research*.
- WYATT, P. (1996): The development of a prop- erty information system for valuation using a geographical information system (GIS). *J. Prop. Res.* 13, 317-336.
- YINGER, J. (1976): *Racial prejudice and racial residential segregation in an urban model*, *J. Urban Econ.*, 3, 383-396.

