

## MODELO HEDÓNICO ESPACIO-TEMPORAL Y ANÁLISIS VARIOGRÁFICO DEL PRECIO DE LA VIVIENDA

CHICA OLMO, J.<sup>1</sup>, CANO GUERVOS, R.<sup>1</sup>, CHICA OLMO, M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa  
Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales Campus de la Cartuja s/n, 18011 Granada,  
España.

<sup>2</sup>Departamento de Geodinámica / CEAMA  
Campus de Fuente Nueva s/n, 18071 Granada, España.

[jchica@ugr.es](mailto:jchica@ugr.es) ; [rcano@ugr.es](mailto:rcano@ugr.es); [mchica@ugr.es](mailto:mchica@ugr.es)

### RESUMEN

En este trabajo se presenta un modelo para la interpretación de la variabilidad espacio-temporal del precio de la vivienda en la ciudad de Granada. Para ello, se ha utilizado una base de datos espacio-temporales del precio de la vivienda, elaborada a partir de muestras de corte transversal tomadas en diferentes años. El modelo se fundamenta en un análisis variográfico de la autocorrelación espacio-temporal de la variable, precio de la vivienda, y de las principales características que influyen sobre éste, entre las que cabe destacar las características constructivas, la localización en el espacio urbano y el momento en el que se ofertó en el mercado inmobiliario.

Palabras clave: Modelo hedónico, precio de la vivienda, autocorrelación espacial, variabilidad espacio-temporal, variograma.

### SPATIO-TEMPORAL HEDONIC MODEL AND VARIOGRAPHIC ANALYSIS OF HOUSING PRICES

#### ABSTRACT

This paper presents a model for interpreting the spatio-temporal variability of the property price in the city of Granada. The database used has been built from sampling for different years. The model is based on spatio-temporal autocorrelation analysis of the variable, property price, and covariates such as house characteristics, location and selling time.

Keywords: Hedonic model, housing price, spatial autocorrelation, spatio-temporal variability, variograma.

## 1. Introducción

Los modelos hedónicos pretenden determinar el precio de las características que influyen sobre el valor de un determinado bien (Griliches, 1971). Clásicamente, los modelos de regresión hedónica del precio de la vivienda persiguen determinar las características constructivas y localizativas que más influyen sobre el precio de la vivienda, cuantificar el precio implícito de las mismas y estimar el precio de este bien urbano (Can, 1992; Dubin, 1992; Bover y Velilla, 2001).

Las características localizativas plantean dificultades en la etapa de especificación del modelo, siendo usual diferenciar las referidas a la accesibilidad y las del entorno. Las relativas a la accesibilidad se suelen especificar como la distancia, el tiempo o el coste del transporte para trasladarse desde la vivienda al centro de la ciudad. Las características del entorno son, por ejemplo, el equipamiento educativo, sanitario, comercial, nivel de renta, niveles de delincuencia, etc. Para especificar en el modelo este tipo de características se plantean problemas que afectan a su selección, a su forma de cuantificación, y a la determinación de la zona de influencia de cada una de ellas (por ejemplo, cuál es el radio de influencia de un centro comercial, de un colegio, etc.).

La presencia de autocorrelación espacial en las perturbaciones del modelo se origina, a su vez, por la presencia de autocorrelación espacial en los precios de la vivienda, debido a que el propietario de una vivienda suele establecer su precio teniendo en cuenta el de las viviendas que se hallan en su entorno. Esto explica que viviendas próximas entre sí presenten precios parecidos debido a este factor de influencia por cercanía; por el contrario, las viviendas más alejadas entre sí tendrán precios menos correlacionados. En definitiva, los precios de la vivienda presentan una regionalización espacial dependiente de la localización; quizá no tanto de su localización específica, sino de su localización relativa, esto es, de su ubicación respecto de las demás viviendas.

Las características que influyen sobre el precio de la vivienda se pueden clasificar en: microlocalizativas, macrolocalizativas y generales (Derycke, 1983). La presencia de dependencia espacial a pequeña escala en el precio de la vivienda se debe fundamentalmente a las características microlocalizativas, como los factores físicos, la accesibilidad local y las variables socioeconómicas del barrio. Estas características explicarían la diferencia entre el precio de una determinada vivienda y el precio medio de su barrio. Los factores físicos son: forma y tamaño del solar, naturaleza geológica del terreno, atractivo de la localización, etc. La accesibilidad local toma en consideración la proximidad a servicios demandados por los ciudadanos como escuelas, comercios, servicios públicos, transporte urbano, etc. Las variables socioeconómicas del barrio y psicológicas son: status social, ingresos medios, criminalidad, raza, etc.

Las características macrolocalizativas, como la accesibilidad al centro o subcentros de la ciudad, red de transporte, densidad residencial, factores urbanísticos reglamentarios, concentración comercial y residencial, etc. explicarían las diferencias entre los precios de un determinado barrio y la media de la ciudad. Cuando la media de los precios no se mantiene constante, sino que varía espacialmente, se dice que hay deriva espacial o dependencia espacial a gran escala.

Como se ha indicado, la accesibilidad influye sobre la estructura espacial de los precios de las viviendas, tanto a nivel microlocalizativo como macrolocalizativo. Esta variable depende, a su vez, del nivel actual de la tecnología de los medios de transporte (que afectaría a nivel general) y de las mejoras en las vías de comunicación (calidad de las carreteras, existencia de Metro, vía férrea, etc.), que afectan a nivel macrolocalizativo o de barrio.

Finalmente, las características generales como la coyuntura económica, los factores institucionales, los factores demográficos y sociales, etc. usualmente afectan a los precios de toda la ciudad y explicarían las variaciones temporales de los precios.

Por otra parte, las características que influyen en el precio de la vivienda se pueden clasificar en observables y no observables. Así, las características constructivas suelen ser variables observables (antigüedad, superficie, etc.), mientras que las localizativas o espaciales son más difíciles de observar y, por lo tanto, de cuantificar.

## 2. Metodología

La metodología que se presenta en este trabajo consta de dos partes diferenciadas. La primera se caracteriza por los instrumentos geoestadísticos utilizados para estudiar la variabilidad espacio-temporal del precio de la vivienda. La segunda consiste en un modelo de regresión hedónica cuyo objetivo es explicar las variables que determinan el precio de la vivienda y los precios implícitos de aquéllas.

### 2.1. Análisis geoestadístico de la variabilidad espacial del precio de la vivienda

La Geoestadística es una ciencia cuyos orígenes y aplicaciones fundamentales se encuentran en las Ciencias de la Tierra (Matheron, 1970; Cressie, 1991), si bien, en los últimos años también está siendo aplicada en el ámbito de las Ciencias Sociales (Chica, 1994 y 1995; Cano, Chica y Hermoso, 2003) La herramienta básica de la Geoestadística es el variograma, que permite detectar la estructura espacial de variabilidad o autocorrelación de la variable analizada,  $Z$ . Si la variable es el precio de la vivienda, el variograma expresa la dependencia espacial de los precios para diferentes distancias entre las viviendas.

Concretamente, la dependencia espacial que presenta  $Z$ , para una distancia dada por el vector distancia  $h$  y en la dirección del plano  $\theta$ , es estudiada mediante el variograma experimental (Matheron, 1970):

$$\hat{\gamma}(h_{\theta}) = \frac{1}{2N(h_{\theta})} \sum_{i=1}^{N(h_{\theta})} [Z(s_i + h_{\theta}) - Z(s_i)]^2$$

donde  $N(h_{\theta})$  es el número de parejas de viviendas que se encuentran a una distancia  $h$  en la dirección  $\theta$ , siendo  $s_i$  la localización sobre el plano de la vivienda  $i$ -ésima.

La dependencia espacial cruzada entre dos variables  $Z_j$  y  $Z_k$  es descrita mediante el variograma cruzado:

$$\hat{\gamma}_{jk}(h_\theta) = \frac{1}{2N(h_\theta)} \sum_{i=1}^{N(h_\theta)} [Z_j(s_i + h_\theta) - Z_j(s_i)][Z_k(s_i + h_\theta) - Z_k(s_i)]$$

Puesto que la modelización y estimación del precio de la vivienda se pretende que tenga en cuenta tanto el enfoque espacial como el temporal, resulta muy revelador acerca del comportamiento de este fenómeno el análisis de la dependencia espacial cruzada entre los precios de los diferentes años. La expresión anterior sería estrictamente aplicable cuando se conocieran los precios en diferentes años ( $Z_j$  y  $Z_k$ ) de una misma vivienda, localizada en  $s_i$ .

Sin embargo, lo usual en el ámbito de los estudios del mercado inmobiliario es que los datos sean totalmente heterotópicos, es decir, que las viviendas muestrales de los estudios de mercado difieran de un año a otro, lo cual impide conocer los precios en los diferentes años para cada una de las viviendas de la muestra. Ante la imposibilidad práctica de calcular el variograma cruzado entre diferentes años directamente a partir de las viviendas muestrales, se recurre al cálculo del denominado pseudovariograma cruzado (Myers, 1991)1:

$$\hat{\gamma}_{jk}^*(h_\theta) = \frac{1}{2N(h_\theta)} \sum_{i=1}^{N(h_\theta)} [Z_j(s_i) - Z_k(s_i + h_\theta)]^2$$

En términos generales, el variograma posee tres características fundamentales: efecto de pepita, alcance y meseta. El efecto de pepita mide el grado de discontinuidad espacial de la variable (comportamiento aleatorio local). El alcance es la distancia para la cual el variograma alcanza la meseta o lo que es igual desaparece la correlación (en este caso, la correlación del precio de la vivienda).

## 2.2. Modelo de regresión hedónica

Además del estudio de autocorrelación, o si desea, variabilidad espacial del precio de la vivienda, también es importante explicar cuáles son las principales características constructivas, localizativas y temporales que influyen en el mismo. Así, el precio de la vivienda se modela de la siguiente forma:

$$Z(s) = F(s) + C(s) + m(s) + u(s)$$

$Z(s)$  es el precio de la vivienda<sup>2</sup> en la localización  $s$ ;  $s$  está fijada por el par de coordenadas UTM, que sitúan a la vivienda sobre el plano cartográfico.

$C(s)$  son las características constructivas de la vivienda.

$F(s)$  son variables dicotómicas o ficticias que se introducen para considerar el año en que se tomó la observación muestral de la vivienda localizada en  $s$ . De esta forma se recogen las denominadas características generales, que explican las variaciones interanuales del precio de la vivienda.

$m(s)$  es la tendencia a gran escala espacial o deriva, y recoge fundamentalmente la influencia de las características macrolocalizativas; ha sido introducida en el modelo mediante una función polinómica definida a partir de las coordenadas UTM de las viviendas.

$u(s)$  representa la perturbación aleatoria.

La forma funcional anterior puede especificarse a través del modelo de regresión:

$$Z(s) = \sum_{r=0}^R a_r f^r(s) + \sum_{t=1}^T \alpha_t F_t(s) + \sum_{d=1}^D \beta_d C_d(s) + u(s)$$

donde:

$\sum_{t=1}^T \alpha_t F_t(s) = F(s)$ . Los coeficientes  $\alpha_t$  de las variables ficticias temporales  $F_t(s)$  son parámetros

desconocidos. El número de variables ficticias es igual al número de periodos de tiempo, que es igual al número de años muestreados menos la unidad. Estos coeficientes representan la variación en los precios de las viviendas de un determinado año respecto del año base, que en nuestro modelo corresponde a 1988. Esta variación es constante (efecto fijo) para todas las viviendas de un determinado año.

$\sum_{d=1}^D \beta_d C_d(s) = C(s)$ .  $\beta_d$  son los coeficientes de las características constructivas  $C_d(s)$ . Éstos

representan los precios implícitos de cada una de las características constructivas del modelo. Recogerían la variación en el precio de la vivienda, cualesquiera que fuera el año en que se tomó la muestra, debido a una variación unitaria de la característica constructiva.

$\sum_{r=0}^T a_r f^r(s) = m(s)$ ;  $f^r(s)$  son funciones de base cualesquiera, conocidas y linealmente

independientes. Los coeficientes  $a_r$  son parámetros desconocidos, que también han de ser estimados. En la práctica  $m(s)$  se suele modelizar por un polinomio en función de las coordenadas  $(x, y)$ , generalmente de primer (deriva lineal) o segundo grado (deriva cuadrática):

$m(x, y) = a_0$	no hay deriva
$m(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y$	deriva lineal
$m(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4y^2 + a_5xy$	deriva cuadrática

Este polinomio recoge las variaciones a gran escala del precio medio de la vivienda para toda la ciudad. Así, cuando la deriva es lineal las variaciones en el precio medio se representan mediante un plano; mientras que si la deriva es cuadrática estas variaciones presentarán forma acampanada.

### 3. Aplicación

#### 3.1 Información experimental

Los datos corresponden a tres muestras tomadas en la ciudad de Granada en los siguientes años: 1988, 1991 y 1995. Las dos primeras proceden de estudios del mercado inmobiliario, llevados

Chica Olmo, J., Cano Guervos, R. y Chica Olmo, M. (2007): "Modelo hedónico espacio-temporal y análisis variográfico del precio de la vivienda", *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p. 56-72. ISSN: 1578-5157

---

a cabo por el Servicio de Valoración y Asistencia Técnica, dependiente de la Consejería de Economía y Hacienda de la Junta de Andalucía. El estudio de mercado de 1995 fue realizado por el Catastro. Las muestras se componen, respectivamente, de 260, 281 y 297 viviendas colectivas del mercado secundario (o de segunda mano, aunque algunas podrían no haber sido ocupadas).

En este estudio se han considerado sólo viviendas colectivas en edificación vertical (pisos) excluyéndose las viviendas unifamiliares, pues las mismas características en ambos tipos de viviendas no tienen idéntica valoración, ya que son bienes inmobiliarios diferentes, en los que los potenciales compradores buscan utilidades no equiparables.

Debido a que las muestras han sido tomadas por dos organismos públicos con criterios diferentes, las variables observadas no coinciden en los tres estudios de mercado. Por ello, las variables utilizadas son las coincidentes en las tres muestras, y se comentan a continuación:

- **PRECIO**: precio real por metro cuadrado de la vivienda solicitado por el vendedor, en miles de pesetas constantes de 1995. Es la variable explicada en el modelo de regresión. Se obtiene al deflactar por el IPC general el precio nominal observado en la muestra, dado en miles de pesetas corrientes, al que denominaremos *PRECIO<sub>N</sub>*.

Las variables explicativas en el modelo son las siguientes:

- **ANTIG**: antigüedad de la vivienda (en años).
- **HABITAC**: número de habitaciones (dormitorios más salones).
- **AMPLI**: amplitud de las habitaciones, definida como cociente entre superficie construida de la vivienda y el número de habitaciones. Es un indicador objetivo del nivel de habitabilidad de la vivienda y, por tanto, de la calidad de la misma.
- **BAÑOS**: número de cuartos de baño y aseo de la vivienda.
- La localización de la vivienda en coordenadas UTM (metros)

Se han creado dos variables ficticias para considerar el año de la muestra:

- **D91**: toma el valor 1 si la vivienda pertenece a la muestra de 1991; 0 en otro caso.
- **D95**: toma el valor 1 si la vivienda pertenece a la muestra de 1995; 0 en otro caso.

Las localizaciones de las viviendas muestrales aparecen en el mapa de símbolos de la [Figura 1](#). Se observa que las viviendas con precios más bajos se sitúan en la periferia de la ciudad, sobre todo en la parte norte y, en menor medida, en el sur. En el resto de la ciudad hay una mayor dispersión de precios, si bien, los más elevados se concentran en el núcleo central, donde se ubica el centro comercial y de negocios tradicional.

### 3.2 Análisis de los datos

En la [Tablas 1, 2, 3](#) se recogen, para cada una de las muestras, los precios nominales y los precios reales de las viviendas, en pesetas constantes de 1995, así como los índices de ambos tipos de precios.

En la [Tabla 4](#) se recogen para Granada las tasas de variación de los precios nominales, reales y del IPC. En la columna 7 de las [Tablas 1, 2, 3](#) se han calculado las medias de los precios nominales de Granada para los tres años muestrales. Se observa que la evolución de los precios nominales es creciente en el periodo global estudiado, desde 1988 a 1995. En este periodo el incremento global de los precios es del 86% y la tasa de variación anual es del 9,3%. En el primer periodo, desde 1988 a 1991, se produce un incremento del 72,6% a una tasa anual del 20%, por lo que podría ser calificado este periodo de 3 años como de un espectacular crecimiento. Este incremento está en sintonía con el registrado a nivel nacional, que es del 62,9%, a una tasa del 17,7% anual. Sin embargo, en el segundo periodo, desde 1991 a 1995, los precios nominales en la ciudad aumentaron un 7,9%, a una tasa anual del 1,9%. En las capitales españolas el incremento global fue del 2,5%, a una tasa anual del 0,6%. Así pues, en el segundo periodo se produjo una notable desaceleración en el ritmo de crecimiento de los precios nominales.

En la columna 1 de las [Tablas 1, 2, 3](#), aparecen las medias de los precios reales. En la evolución de los precios reales se observa la existencia de los dos periodos aludidos con anterioridad: el primero (hasta 1991), de fuerte incremento, y el segundo, de disminución del precio en términos reales, al crecer el precio de la vivienda por debajo de la inflación, pero sin llegar a caer por debajo de los precios de 1988. Así, para Granada los precios reales de 1995 son muy superiores a los precios de partida de 1988, registrándose incrementos globales del 27,1% y del 14,0% a nivel nacional, según los datos del Ministerio de Fomento (MFOM) (Ministerio de Fomento, 2001).

En el periodo global la tasa anual de variación del precio real es del 3,5%, muy superior a la que se registra a nivel nacional, que es del 1,9%. En la primera parte del periodo (88-91) los precios reales experimentaron un incremento en la ciudad del 43,0%, a una tasa del 12,7%. Este crecimiento es algo mayor al registrado a nivel nacional, que fue del 35%, a una tasa del 10,5%. Este primer periodo puede conceptuarse como de boom<sup>3</sup> en los precios inmobiliarios, tanto a nivel nacional como en Granada (García, 2003; Martínez y Maza, 2003).

El primer periodo de fuertes incrementos en los precios nominales y reales contrasta con el segundo, de 1991 a 1995 (Rodríguez, Leirado y San Martín, 1994). En éste, habida cuenta de que el IPC se incrementó a mucho mayor ritmo que el precio de la vivienda, los precios reales de la vivienda en Granada experimentaron una disminución del -11,1%, a una tasa anual del -2,9%. A nivel nacional el comportamiento del precio real fue acorde con el de Granada, pues según el MFOM se produjo una disminución durante este segundo periodo del -15,6%, a una tasa anual del -4,1%. Por tanto, en el segundo periodo se registra una fuerte desaceleración en el ritmo de crecimiento de los precios nominales, llegando a producirse un descenso del precio de la vivienda en términos reales.



Una vez que se ha revisado el comportamiento de la variable explicada precio de la vivienda durante el periodo de tiempo observado, con indicaciones del contexto nacional, se procede al análisis de las variables explicativas. Se observa en la secuencia de las [Tablas 1, 2, 3](#) que, en promedio, se produjo en las viviendas muestrales un aumento de la superficie construida (7,9%) y una disminución del número de habitaciones (-7,2%), lo que redundó en un aumento (del 15,8%) en la amplitud de las habitaciones. La variable número de baños aumentó muy significativamente, hasta el punto de que se dobló el valor de la mediana. En la variable antigüedad de la vivienda, los elevados valores de los coeficientes de variación reflejan la presencia de una fuerte heterogeneidad en la antigüedad de las viviendas de la muestra.

Dada la importancia de la componente espacial en el análisis que va a llevarse a cabo, se recogen las estadísticas descriptivas de proximidad espacial de las viviendas ([Tabla 5](#)). Considerando conjuntamente todas las viviendas muestrales, se observa que en la mitad de los casos la vivienda más próxima se encuentra a menos de 32 metros, y en un 75% de los casos a menos de 56 metros, por lo que el conjunto de las viviendas muestrales da lugar a una distribución espacial que parece bastante tupida. Por otro lado, se observa que las diferencias (en valor absoluto) entre el precio real de una vivienda y el de su vecina más próxima son inferiores a 20.866 ptas./m<sup>2</sup> en la mitad de los casos.

### 3.3. Análisis de la autocorrelación espacio-temporal del precio de la vivienda

El variograma del precio real de la vivienda (denominado variograma directo) permite analizar su estructura de variabilidad o de autocorrelación espacial. En la [Figura 2](#) se observa cómo la estructura espacial de variabilidad del precio es muy similar para las viviendas muestrales de los distintos años. Así, en los variogramas de 1988 y 1991 se aprecia una primera estructura de autocorrelación con un alcance comprendido entre 300 y 400 metros, junto con la presencia de deriva. El variograma de la muestra conjunta o global de los tres años tiene un comportamiento muy similar al de los años 1988 y 1991.

En definitiva, tanto los variogramas anuales como el variograma conjunto indican que el precio de la vivienda presenta una clara estructura espacial de autocorrelación, caracterizada por dos escalas de variación. Teniendo en cuenta la relación opuesta entre la función variograma y la correlación (véase Matheron, 1970) se pueden interpretar los variogramas de la [Figura 2](#) en el siguiente sentido. Así, en dicha figura se observa que a pequeña escala (valores de  $h$  pequeños) los valores del variograma son bajos puesto que las viviendas cercanas tienen precios notoriamente correlacionados. Por otra parte, a una escala superior, es decir, para valores de  $h$  crecientes, se observa que conforme aumenta la distancia entre las viviendas el variograma toma valores paulatinamente crecientes puesto que la correlación en los precios disminuye. Estas dos escalas de variación están ligadas a las características microlocalizativas y macrolocalizativas que influyen sobre el precio de la vivienda.

Otro aspecto de interés es considerar el factor tiempo en el análisis del precio de la vivienda. Ante la imposibilidad real, práctica, de disponer de series muestrales a lo largo del tiempo suficientemente largas, se ha optado por la siguiente aproximación basada en los dos estudios variográficos que se describen seguidamente.



En primer lugar, se ha trabajado con la muestra conjunta proyectando sobre el mismo plano los datos de las tres muestras temporales. En esta nueva situación se ha calculado el variograma cruzado entre el precio y el año de la muestra ([Figura 3](#)). La forma del variograma indica una estructura un tanto parecida a los variogramas vistos con anterioridad. En este caso, la correlación espacial entre el precio de la vivienda y el año de la muestra es dependiente de las distancias entre las viviendas. Puesto que los valores del variograma cruzado son positivos, el precio de la vivienda está correlacionado espacio-temporalmente de forma positiva: la variabilidad en los precios aumenta a medida que lo hace el intervalo temporal entre ellos. El variograma es continuo en el origen, con un efecto pepita muy pequeño, lo que indica un alto grado de continuidad en el precio: las viviendas muy próximas presentan una fuerte correlación entre el precio y el año de la muestra. También se observan dos escalas de variación. La forma de crecimiento del variograma para distancias largas muestra que para las viviendas más distantes entre sí la correlación entre el precio y el año disminuye, o lo que es equivalente, la variabilidad es mayor. En el momento de ofertar una determinada vivienda en el mercado inmobiliario, el propietario de la misma o la agencia encargada de la venta han de estimar un precio. El comportamiento descrito del variograma da pie a interpretar que para realizar esta valoración se habrían tenido en cuenta los precios de las viviendas cercanas a aquélla en el espacio y en el tiempo, disminuyendo la influencia que pueda ejercer en la valoración la evolución temporal de los precios a medida que las viviendas se encuentran más alejadas de la que se va a ofertar.

El segundo análisis variográfico para considerar el tiempo ha consistido en el cálculo del pseudovariograma cruzado para parejas de años muestrales ([Figura 4](#)). Los variogramas obtenidos son, en general, bastante similares y concuerdan con lo indicado para los variogramas directos. Así, indican que la correlación espacial de los precios para dos muestras disminuye conforme las viviendas se encuentran más alejadas geográficamente. Nuevamente, aparecen las dos estructuras de variación ya mencionadas.

### 3.4. Modelo de regresión hedónica estimado

A continuación se hace un estudio de la selección de las principales características que determinan el precio de la vivienda. A partir de la información disponible se ha ajustado el modelo para la muestra conjunta, tomando como variable explicada el precio real de la vivienda (deflactado por el IPC, en miles de pesetas por metro cuadrado). Las variables explicativas incluidas en el modelo han sido: antigüedad, número de baños, amplitud (que indirectamente incluye la información de la superficie construida y el número de habitaciones), D91, D95, y un polinomio de deriva cuadrático de las coordenadas UTM, para recoger las variaciones de los precios a gran escala espacial. El grado de este polinomio se ha determinado teniendo en cuenta que la distribución espacial de los precios en la ciudad tiene forma acampanada, con valores altos en el centro, que disminuyen hacia la periferia.

En una primera etapa se ha realizado el ajuste del modelo de regresión hedónica por mínimos cuadrados ordinarios (MCO). Los resultados del modelo ajustado se recogen en la [Tabla 6](#). Se observa que, con niveles de confianza superiores al 99%, todas las variables constructivas y binarias incluidas son significativas, siéndolo también el modelo considerado en conjunto ( $F =$

197,799). Las variables aludidas tienen el signo esperado y no se detecta la presencia de multicolinealidad grave entre ellas, como se observa en el valor del factor de agrandamiento de la varianza (FAV). Sin embargo, hay un nivel de multicolinealidad reseñable por parte de alguna componente de la deriva, CORXM2 y CORXYM, aunque en el caso de CORXM2 no ha afectado a su significación estadística. El coeficiente de determinación ajustado indica que el 70,5% de las variaciones en el precio de las viviendas se justifican por cambios en las variables explicativas. Entre las variables constructivas, la que explica en mayor medida el precio de la vivienda es su antigüedad, seguida por el número de baños y la amplitud de las habitaciones.

Debido a la presencia de autocorrelación espacial en las perturbaciones, en una segunda etapa, se ha ajustado el modelo de regresión aplicando mínimos cuadrados generalizados (MCG), para obtener así estimaciones eficientes de los parámetros del modelo. Las estimaciones de los parámetros del modelo de regresión y las de los parámetros del modelo de variograma de los residuos se recogen en la [Tabla 7](#). Las variables constructivas antigüedad, baños y amplitud, así como las dos variables dicotómicas que introducen el aspecto temporal siguen siendo significativas. Es interesante constatar que entre las variables dicotómicas la más explicativa es D91, cuyo coeficiente dobla al de D95: así, el que una vivienda corresponda al año 91 implica un incremento sobre el precio de 39705 ptas/m<sup>2</sup> (238,63 €/m<sup>2</sup>), mientras que si es del año 95 se incrementa en 18621 ptas/m<sup>2</sup> (111,91 €/m<sup>2</sup>). Esto es coherente con el hecho de que la media de los precios reales de la vivienda en 1991 fue de 138552 ptas/m<sup>2</sup>, mientras que en 1995 la media de éstos fue menor (123169 ptas/m<sup>2</sup>).

Por otro lado, el coeficiente de determinación es igual al 84,18%, si bien, no es directamente comparable con el obtenido en el modelo ajustado por MCO (Kvalseth, 1985). El modelo, considerado en su conjunto, también resulta significativo con un nivel de confianza superior al 99,99%.

#### 4. Conclusiones

En este estudio sobre el precio de la vivienda en la ciudad de Granada se han alcanzado dos objetivos. El primero de ellos ha sido el análisis de la variabilidad espacial y temporal del precio de la vivienda, tanto por medio de un análisis variográfico directo de las muestras experimentales, como de un análisis variográfico cruzado. El segundo objetivo ha consistido en la determinación de las principales características que influyen en el precio de la vivienda y de los precios implícitos de estas características, por medio del modelo de regresión hedónica.

Del análisis variográfico se concluyó que el precio de la vivienda es una variable muy correlacionada espacialmente. Su estructura de variabilidad muestra dos escalas de variación espacial fruto de los factores micro y macrolocalizativos. En cuanto al modelo de regresión hedónica, se han tenido en cuenta las características constructivas, localizativas y temporales que influyen sobre el precio de la vivienda. Así, en el modelo finalmente obtenido se observa que con sólo tres variables constructivas (antigüedad, baños y amplitud), el aspecto temporal (D91 y D95) y la localización espacial (polinomio de deriva), se explica un 84,18% de las variaciones en los precios de las viviendas.

Chica Olmo, J., Cano Guervos, R. y Chica Olmo, M. (2007): "Modelo hedónico espacio-temporal y análisis variográfico del precio de la vivienda", *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p. 56-72. ISSN: 1578-5157

---

## Bibliografía

- Bover, O.; Velilla P. (2001): "Hedonic house prices without characteristics: the case of new multiunit housing", *Estudios Económicos*, 73, Banco de España.
- Banco Central Europeo (2003): *Structural factors in the EU housing markets*.
- Can A. (1992): "Specification and estimation of hedonic housing prices models", *Regional Science and Urban Economics*, 22, 453-474.
- Cano-Guervos, R.; Chica-Olmo, J. y Gutiérrez-Hermoso, J. (2003). "A Geo-Statistical Method to Define Districts Within a City", *Journal of Real Estate Finance and Economics* 27:1, 61-85.
- Chica Olmo, J. M. (1994): *Teoría de las Variables Regionalizadas. Aplicación en Economía Espacial y Valoración Inmobiliaria*, Biblioteca de Económicas y Empresariales. Editorial Universidad de Granada.
- Chica Olmo, J. M. (1995): "Spatial estimation of housing prices and locational rents", *Urban Studies*, 32, 8, 1331-1344.
- Cressie, N. (1991): *Statistics for Spatial Data*. John Wiley and Sons, New York.
- Derycke, P. H. (1983): *Economía y Planificación Urbana*. Instituto de Estudios de Administración Local, Madrid.
- Dubin, R. A. (1992): "Spatial autocorrelation and neighborhood quality", *Regional Science and Urban Economics*, 22, 433-452.
- García Montalvo, J. (2003): "La vivienda en España: desgravaciones, burbujas y otras historias", En: *Perspectivas del Sistema Financiero*, 78. Monográfico: *Financiación de la vivienda*. Fundación de la Cajas de Ahorros Confederadas para la Investigación Económica y Social.
- Griliches, Z. (1971): *Price indices and quality change*. Harvard U.P. Cambridge.
- Kvalseth, T. (1985): "Cautionary note about  $R^2$ ", *The American Statistician*, 39.
- Martínez Pagés, J.; Maza, L. A. (2003): *Análisis del Precio de la Vivienda en España*. Banco de España. Documento de Trabajo nº 0307.
- Matheron, G. (1970): *La Théorie des Variables Regionasées et Ses Applications*. Centre de Géostatistique et de Morphologie Mathématique, Fas.1. Ecole Nationale Supérieure de Mines de Paris.
- Ministerio de Fomento (2001): *Atlas estadístico de la edificación de viviendas y sus precios en España*. Madrid, Ministerio de Fomento.
- Myers, D.E. (1991): "Pseudo-Cross Variograms, Positive-Definiteness, and Cokriging", *Mathematical Geology*, 23, 805-816.
- Rodríguez, J.; Leirado, L.; San Martín, I (1994): "Precios de la vivienda en España 1985-1994. Incidencia del coste del suelo". *Catastro*, 22, 73-88.

## TABLAS

**Tabla 1. Estadísticos descriptivos de la muestra de 1988. Para el índice de precios nominales (I.P.N.) y el índice de precios reales (I.P.R.), base 100 en 1995.**

Estadísticos		PRECIO	SUP	ANTIG	HABITAC	AMPLI	BAÑOS	PRECIO_N	I.P.N.	I.P.R.
Media		96,894	109,86	13,58	4,61	23,77	1,23	66,122	53,68	78,67
Intervalo de confianza (95%)	Límite inferior	91,930	105,83	12,66	4,50	23,25	1,18	62,734	50,93	74,63
	Límite superior	101,861	113,89	14,51	4,72	24,29	1,29	69,511	56,44	82,70
Mediana		87,923	102,00	14,00	4,50	22,50	1,00	60,000	48,71	71,38
Desviación típica		40,656	33,00	7,56	0,91	4,23	0,44	27,744	22,53	33,01
Coef. Variación		0,420	0,30	0,56	0,20	0,18	0,36	0,420	0,420	0,420

Fte- Elaboración propia.

**Tabla 2. Estadísticos descriptivos de la muestra de 1991. Para el I.P.N. y el I.P.R., base 100 en 1995.**

Estadísticos		PRECIO	SUP	ANTIG	HABITAC	AMPLI	BAÑOS	PRECIO_N	I.P.N.	I.P.R.
Media		138,552	113,60	10,11	4,36	26,52	1,53	114,102	92,64	112,49
Intervalo de confianza (95%)	Límite inferior	133,210	109,43	8,96	4,22	25,77	1,47	109,702	89,07	108,15
	Límite superior	143,894	117,77	11,27	4,49	27,26	1,60	118,501	96,21	116,82
Mediana		137,267	110,00	9,00	4,00	25,00	2,00	113,043	91,78	111,44
Desviación típica		45,494	35,54	9,86	1,14	6,34	0,56	37,466	30,42	36,94
Coef. Variación		0,328	0,31	0,98	0,26	0,24	0,37	0,328	0,328	0,33

Fte- Elaboración propia.

**Tabla 3. Estadísticos descriptivos de la muestra de 1995. Para el I.P.N. y el I.P.R., base 100 en 1995.**

Estadísticos		PRECIO	SUP	ANTIG	HABITAC	AMPLI	BAÑOS	PRECIO_N	I.P.N.	I.P.R.
Media		123,169	118,57	17,11	4,28	27,53	1,61	123,169	100	100
Intervalo de confianza (95%)	Límite inferior	119,394	113,66	15,76	4,16	26,83	1,54	119,394	96,94	96,94
	Límite superior	126,943	123,48	18,47	4,40	28,24	1,67	126,943	103,06	103,06
Mediana		121,951	111,00	17,00	4,00	26,67	2,00	121,951	99,01	99,01
Desviación típica		33,050	43,00	11,89	1,01	6,18	0,54	33,050	26,83	26,83
Coef. Variación		0,268	0,36	0,69	0,24	0,22	0,34	0,268	0,268	0,268

Fte- Elaboración propia.

Chica Olmo, J., Cano Guervos, R. y Chica Olmo, M. (2007): "Modelo hedónico espacio-temporal y análisis variográfico del precio de la vivienda", *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p. 56-72. ISSN: 1578-5157

**Tabla 4. Tasas de variación de los precios nominales y reales (deflactados con el IPC general).**

Periodo	Tasas de variación de precios nominales	Tasas de variación de precios reales
Periodo 88-91	20,0	12,7
Periodo 91-95	1,9	-2,9
Periodo 88-95	9,3	3,5

Fte- Elaboración propia.

**Tabla 5. Estadística de proximidad espacial.**

(a) Distancia entre cada vivienda y su vecina más próxima (en metros).

(b) Valor absoluto de la diferencia entre el precio real de una vivienda y el de su vecina más próxima (en miles de pesetas por metro cuadrado construido).

Estadísticos	Distancia (a)	Diferencia absoluta de precio (b)
Mínimo	1	0
Cuartil 1	12,143	7,493
Mediana	32	20,866
Cuartil 3	56	37,460
Máximo	664,808	154,461
Media	43,682	25,936
Desviación típica	49,257	23,782
Coefficiente de variación	1,128	0,917

Fte- Elaboración propia.

**Tabla 6. Modelo de regresión hedónica MCO**

Variables	Coefficientes	t-Student	FAV
CONSTANTE	120,944	24,496	--
ANTIGÜEDA D	-1,545	-17,886	1,157
AMPLITUD	0,647	3,908	1,367
BAÑOS	9,143	5,227	1,280
D91	38,646	17,171	1,613
D95	18,637	8,348	1,630
CORXM	0,001	0,436	1,798
CORYM	0,002	1,820	2,137
CORXM2	-9,896E-06	-6,656	4,161
CORYM2	-9,911E-06	-23,701	1,543
CORXYM	-1,187E-06	-0,759	4,283
$R^2 = 0,705 ; F = 197,799$			

Fte- Elaboración propia.

Chica Olmo, J., Cano Guervos, R. y Chica Olmo, M. (2007): "Modelo hedónico espacio-temporal y análisis variográfico del precio de la vivienda", *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p. 56-72. ISSN: 1578-5157

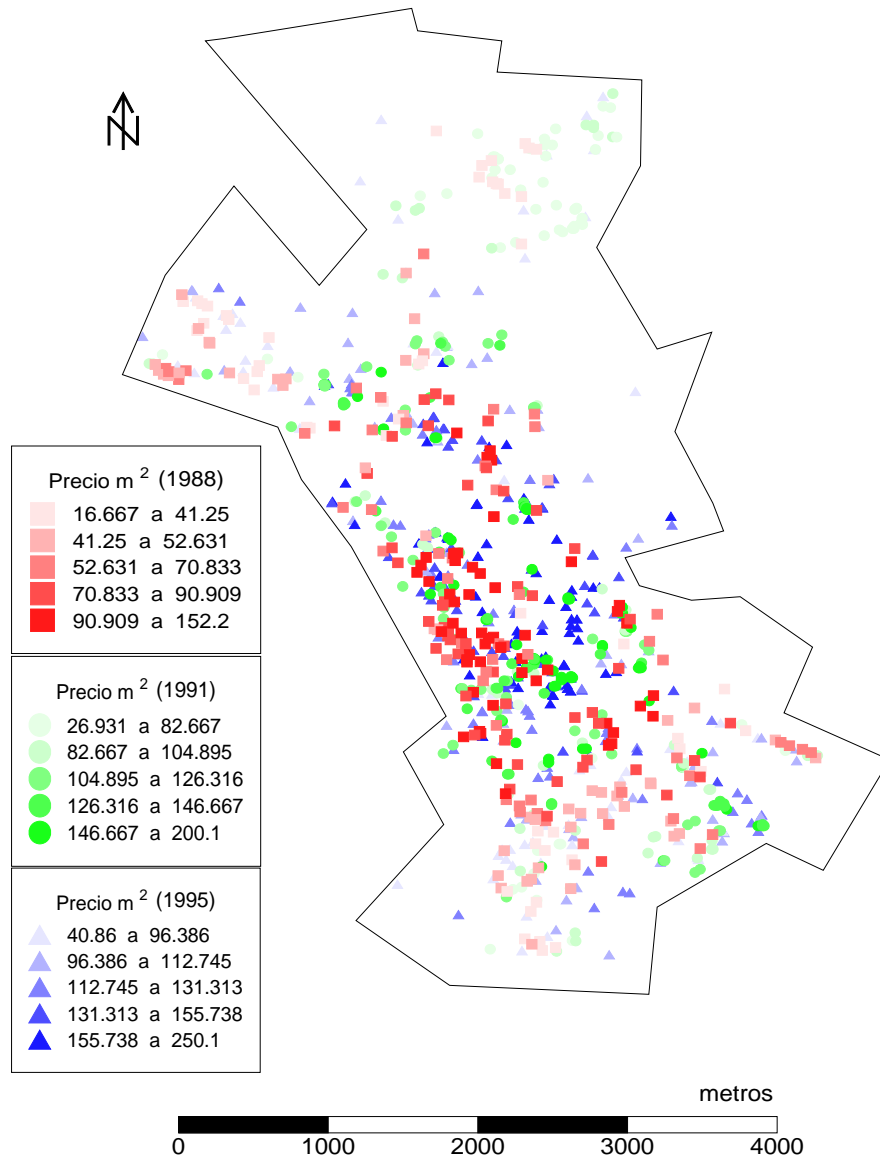
**Tabla 7. Modelo de regresión hedónica MCG**

<b>Variables</b>	<b>Coefficientes</b>	<b>t-Student</b>
CONSTANTE	127,488	23,942
ANTIGÜEDAD	-1,49825	-17,268
AMPLITUD	0,311144	2,021
BAÑOS	6,14632	3,793
D91	39,7054	18,843
D95	18,6211	9,047
CORXM	$-0,671819 \cdot 10^{-3}$	-0,255
CORYM	$0,110554 \cdot 10^{-3}$	0,070
CORXM2	$-0,103390 \cdot 10^{-4}$	-4,065
CORYM2	$-0,867661 \cdot 10^{-5}$	-11,307
CORXYM	$-0,279522 \cdot 10^{-5}$	-1,084
n = 838; R <sup>2</sup> = 0,8418; F = 446,289		
Variograma residual (modelo esférico)		
Efecto de pepita	401,90	
Meseta	612,48	
Alcance	692,32	

Fte- Elaboración propia.



## FIGURAS



**Figura 1. Localización de las tres muestras de viviendas. Precios nominales del metro cuadrado de la vivienda**

Fte- Elaboración propia.

Chica Olmo, J., Cano Guervos, R. y Chica Olmo, M. (2007): "Modelo hedónico espacio-temporal y análisis variográfico del precio de la vivienda", *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p. 56-72. ISSN: 1578-5157

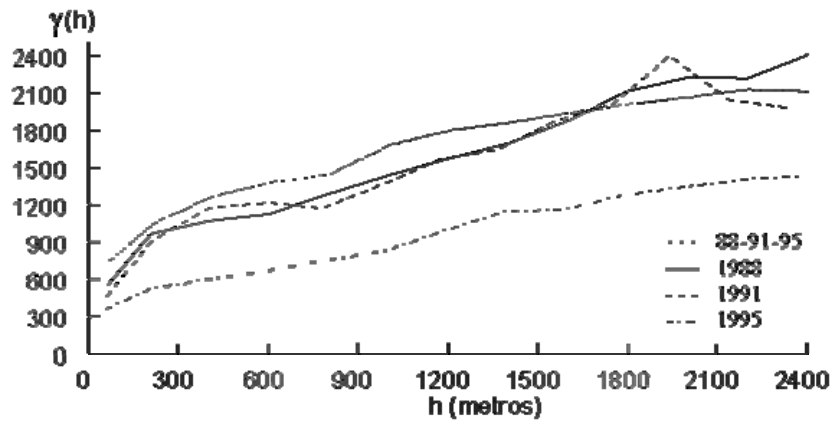


Figura 2. Variogramas directos para cada año y para la muestra conjunta de los tres años.  
Fte- Elaboración propia.

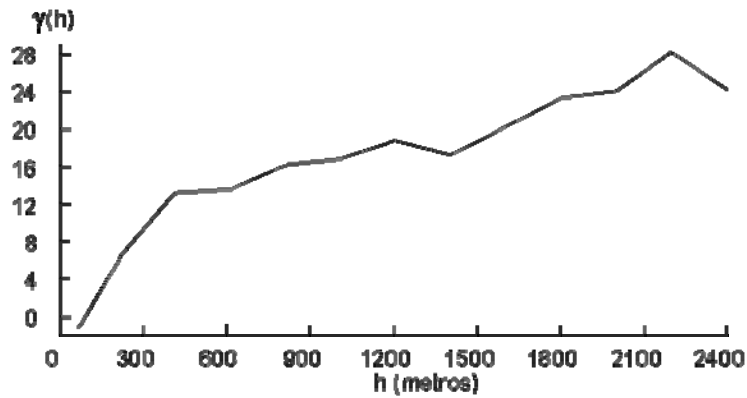
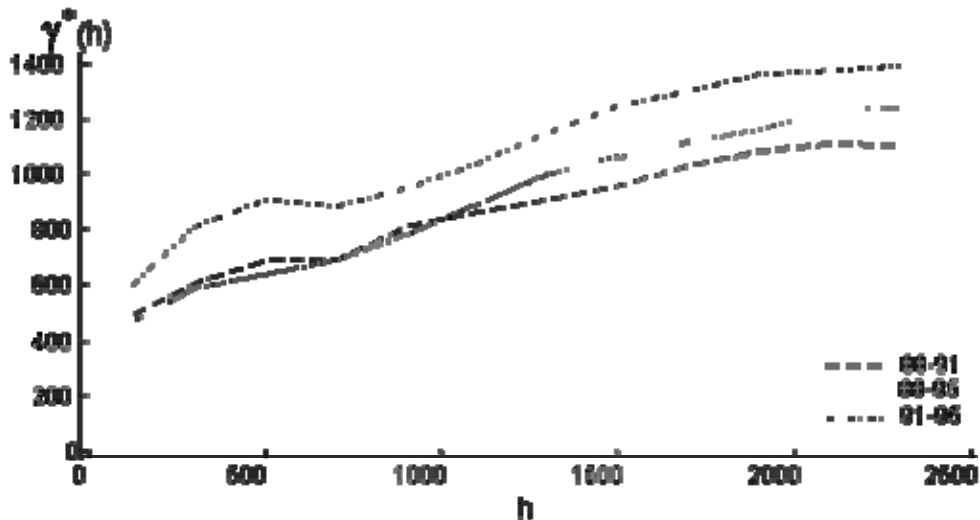


Figura 3. Variograma cruzado entre el precio de la vivienda y el año de la muestra.  
Fte- Elaboración propia.

Chica Olmo, J., Cano Guervos, R. y Chica Olmo, M. (2007): "Modelo hedónico espacio-temporal y análisis variográfico del precio de la vivienda", *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, p. 56-72. ISSN: 1578-5157



**Figura 4. Pseudovariogramas cruzados entre los precios de las viviendas para parejas de años.**  
Fte- Elaboración propia.

<sup>1</sup> Una posible alternativa para disponer de los precios en los diferentes años en una serie de localizaciones comunes, y así poder calcular los variogramas cruzados, consiste en trazar sobre el plano de la ciudad una malla con cuadrículas de la misma dimensión (por ejemplo, celdillas cuadradas de 100 metros de lado). En cada uno de los nudos de la malla se calcularía, para cada año, la media aritmética de los precios de las viviendas que estuvieran en un radio de 100 metros. De ahí que los variogramas así calculados se denominen variogramas cruzados (de los precios) medios. Éstos suelen caracterizarse por su alta continuidad para distancias cortas, generalmente a consecuencia del suavizado que provoca la utilización de las medias de los precios, en lugar de los precios reales. El lector interesado en conocer con más profundidad los resultados obtenidos con esta solución pueden solicitar más detalles a los autores.

<sup>2</sup>  $Z(s)$  es una variable aleatoria; al conjunto de realizaciones que se obtienen al variar la localización  $s$  en el interior de la ciudad se denomina variable regionalizada. Ésta se caracteriza porque en su distribución espacial presenta una componente aleatoria y una componente estructural de autocorrelación espacial.

<sup>3</sup> Es usual en la literatura considerar que una serie ininterrumpida de años con una tasa anual superior al 10% (o inferior al -10%) en los precios reales se puede calificar como un periodo de boom (o caída) del mercado inmobiliario (Banco Central Europeo, 2003).