

# Metodología para el análisis y la estimación espacial del valor del suelo urbano

## Aplicación sobre valoraciones catastrales y tasaciones hipotecarias de Granada

**Rafael Cano Guervós**

*Doctor en Ciencias Económicas y Empresariales  
Departamento de Economía Aplicada  
Universidad de Granada*

Este artículo forma parte de una ya dilatada trayectoria investigadora encaminada a la adaptación y aplicación de diversas técnicas estadísticas y econométricas para el estudio de la calidad de la vivienda, su precio y el valor del suelo. Esta línea de investigación desarrollada por un grupo de profesores de la Universidad de Granada, del que forma parte el autor y los doctores Chica Olmo y Hermoso Gutiérrez, ha fructificado en varias tesis doctorales, artículos en revistas españolas y extranjeras, trabajos de investigación, así como en ponencias y comunicaciones presentadas en congresos y reuniones científicas y técnicas. Precisamente, algunos de los resultados contenidos en este artículo fueron presentados en la XI Reunión de la Asociación Científica Europea de Economía Aplicada (ASEPELI-España), que tuvo lugar en Bilbao, durante el mes de julio de 1997.

En este trabajo se pretende cubrir dos objetivos, uno de carácter teórico y otro práctico. Desde la perspectiva teórica, se

expone una metodología que conecta la Teoría de las Variables Regionalizadas (TVR) y el estimador espacial de Krigeaje con el procedimiento de valoración catastral del suelo urbano, por un lado, y con el utilizado en las tasaciones hipotecarias, por otro. Esta metodología permite la valoración masiva para el conjunto de la ciudad, extraordinariamente útil para la actividad catastral, y la valoración individualizada de cualquier inmueble, que es la labor habitual del tasador. La utilización de la TVR y del Krigeaje como instrumentos para analizar y estimar espacialmente el valor del suelo urbano se justifica por la consideración de éste como variable regionalizada (VR), lo cual es consecuencia de la existencia de dependencia espacial en el mismo (Dubin, 1992 y Chica Olmo, 1994). La dependencia espacial en el valor del suelo de los bienes urbanos (vivienda, oficina, solar, etc) significa que dicho valor depende, esencialmente, de su localización en el plano, esto es, de su ubicación relativa (respecto de los demás bienes) dentro de la

ciudad. Así, dos solares con una edificabilidad permitida similar pueden alcanzar valores absolutamente diferentes debido a su distinta ubicación urbana. Dado que el valor del suelo depende de su localización, al conjunto de valores del suelo que se obtienen al ir variando la localización del bien en el interior de la ciudad se denomina VR. Generalmente, el valor del suelo urbano presenta dependencia espacial a pequeña escala y, a veces, también a gran escala. La primera se hace patente en un fenómeno común a todas las ciudades: los bienes urbanos próximos entre sí tienden a presentar valores del suelo similares, y esta semejanza va aumentando a medida que lo hace la proximidad. Esto ocurre como consecuencia de que las localizaciones cercanas son afectadas de forma análoga por los denominados factores microlocalizativos (1) (Derycke, 1983). La dependencia espacial a gran escala, provocada por factores macrolocalizativos (2), también se conoce con el nombre de deriva o tendencia y se detecta porque la media del valor del suelo urbano no permanece constante en el espacio sino que va cambiando.

El objetivo práctico consiste en la aplicación de la metodología anterior para estimar el valor del suelo de la vivienda urbana. Más concretamente, se van a exponer de forma paralela los resultados de dos

(1) Los factores microlocalizativos son los causantes de la diferencia entre el valor de un determinado bien urbano y la media de su barrio. Se clasifican en: físicos (atractivo de la localización, forma y tamaño del solar, etc.), accesibilidad local (a los centros docentes, comerciales, facilidades de transporte, etc.) y características socioeconómicas del barrio (sobre el valor de los bienes urbanos influyen fenómenos como la jerarquización social y la atracción-repulsión entre clases sociales).

(2) Derycke denomina así a las características del barrio donde se sitúa el bien urbano. Son las causantes de las diferencias de los valores de los bienes urbanos de un determinado barrio respecto de la media de la ciudad, y se clasifican en: accesibilidad al centro y red de transporte, densidad residencial y normativa urbanística.

aplicaciones: por un lado, los obtenidos en la estimación espacial del valor catastral del suelo y, por otro, en la estimación del valor del suelo asignado por los tasadores hipotecarios. En ambas aplicaciones se parte de las valoraciones catastrales y de las tasaciones de sendas muestras de viviendas de la ciudad de Granada con el fin de estimar objetivamente el valor del suelo en cualquier punto de la capital en el que se esté interesado. Así, desde los valores particulares de la muestra se extiende el valor del suelo al conjunto de la ciudad. Obviamente, esta forma de estimación del valor del suelo se puede aplicar sobre cualquier ciudad. También se exponen las conclusiones obtenidas de la comparación de las estimaciones del valor del suelo catastral frente a las de los tasadores. De esta manera, se pueden detectar aquellas zonas en las que una valoración supera o, por el contrario, queda por debajo de la otra.

## El valor de repercusión del suelo catastral

En este apartado se va a hacer una referencia muy somera a los fundamentos que inspiran la valoración del suelo en el ámbito catastral y en el siguiente apartado a los de las tasaciones hipotecarias. Como en ambas aplicaciones se trabaja con sendas muestras de viviendas colectivas (pisos) del mercado secundario, nos centraremos en la valoración del suelo de este tipo de inmuebles.

La muestra de viviendas valoradas por el procedimiento catastral se tomó en 1991, por lo que la normativa aplicable era la Ley 39/1988, Reguladora de las Haciendas Locales, y la Orden Ministerial de 28 de diciembre de 1989, por la que se aprueban las normas técnicas de valoración y el cuadro-marco de valores del suelo y de las construcciones. De acuerdo con esta normativa se confeccionó la *Ponencia de Valores del Término Municipal de Granada* (CGCCT, 1990c), que no llegó a entrar en vigor. De la citada Ponencia se han extraído los datos

para llevar a cabo las valoraciones catastrales de las viviendas muestrales.

El procedimiento de valoración catastral, diseñado para la valoración masiva de los inmuebles, se basa en unos criterios normativos sumamente reglados y homogéneos, para así garantizar los principios de proporcionalidad, equidad fiscal y seguridad jurídica. Como es sabido, el valor catastral del inmueble es distinto del valor de mercado, pero para el cálculo de aquél ha de tomarse a éste como referencia, debiendo cumplirse determinada relación entre ambos, sin que en ningún caso el valor catastral pueda exceder al de mercado. Este procedimiento de valoración se encamina a la evaluación separada del suelo y de la edificación y se basa en el método aditivo: el valor catastral se obtiene como la suma del valor del suelo y de la construcción que figuran en la Ponencia, suma que puede ser corregida por una serie de coeficientes que ponderan la apreciación o depreciación del producto inmobiliario en el mercado (causadas por razones de índole económica, funcional o urbanística). Para las viviendas colectivas urbanas el método de valoración del suelo es el residual y el de la construcción es el método del coste de reposición, para lo cual se calcula el coste de construcción a nuevo y, después, éste es depreciado en función de la antigüedad, conservación, uso, calidad y cualquier otro factor que pueda incidir sobre la edificación.

Volviendo sobre el valor del suelo, éste se identifica con el valor de repercusión, considerado como aquella parte del valor del inmueble que puede atribuirse a su localización dentro de la ciudad y calculado como el valor del suelo por m<sup>2</sup> de edificación real o potencial. Para este cálculo se deben tener en cuenta las circunstancias que determinan su aprovechamiento urbanístico, como son las condiciones de uso y volumen permitidas por el planeamiento y las características intrínsecas de la parcela que puedan afectar a su valor. Dado que el suelo urbano tiene rendimientos edificatorios (es valorado en función de la calidad

y cantidad que sobre él se pueda construir), el valor del suelo por m<sup>2</sup> edificable o valor de repercusión debe ser la cuantificación monetaria del valor de la localización. Para obtener el valor del suelo por el método residual se procede así: del valor en venta del producto inmobiliario se detraen los costes de construcción y los gastos y beneficios tipo de la promoción. La relación entre los elementos que intervienen en la formación del valor del producto inmobiliario se concreta así:

$$V_V = 1,4(V_R + V_C)F_L = 1,4 \times V_R \times F_L + 1,4 \times V_C \times F_L \quad \text{Ec. 1}$$

$V_V$  = valor en venta del producto inmobiliario (en pts/m<sup>2</sup> construido).  $V_R$  = valor de repercusión del suelo (en pts/m<sup>2</sup> construido).  $V_C$  = valor de la construcción (en pts/m<sup>2</sup> construido).  $F_L$  = factor de localización, que evalúa las diferencias de valor detectadas entre productos inmobiliarios que sean análogos por su ubicación y características constructivas (en esencia, valora las apreciaciones o depreciaciones económicas) (3).

Determinado  $F_L$  y conocidos  $V_V$  y  $V_C$ , los  $V_R$  de la Ponencia, se obtendrían así (4):

$$V_R = (V_V/1,4F_L) - V_C = (0,71V_V/F_L) - V_C \quad \text{Ec. 2}$$

(3) Mediante este factor se trata de aproximar  $V_V$  (que, como tal, es un valor estadísticamente más probable) al valor de mercado real, en aquellos inmuebles en los que se detecte un sobreprecio (o un precio inferior) al que puede considerarse como normal en inmuebles similares por su ubicación y características. Con dicho coeficiente se pondera y explicita la existencia de un beneficio de promoción (o de venta) situado por encima (o por debajo) del normal o tipo, con lo cual no se deja dentro del valor del suelo ( $V_R$ ), sino que se separa de éste. Para determinar  $F_L$  se introducirá en la expresión anterior como valor de repercusión el que se deduzca de los valores obtenidos para el suelo vacante del entorno.

(4) De esta expresión se deduce que el conjunto de gastos y beneficios tipo de la promoción representan alrededor del 100 - 71 = 29% del valor del suelo más el de la construcción.

Para facilitar la valoración masiva, la particularización del valor del suelo desde el nivel general de polígono, pasando por el de calle, hasta llegar al de parcela, se efectúa mediante la aplicación en cascada de una serie de coeficientes sobre el módulo básico de repercusión asignado al término municipal.

El valor de repercusión del suelo catastral (CTREP) sobre el que se va a realizar el proceso de inferencia espacial, y que será comparado con el de las tasaciones, será definido de tal forma que incluya la proporción de gastos y beneficios tipo de la promoción, a través del ponderador 1,4:

$$\text{CTREP} = S \times 1,4 = V. \text{ Rep. Calle} \times \text{Coeficientes}(A \times B \times I \times J \times K \times L \times M \times N \times O) \times 1,4 \quad \text{Ec. 3}$$

Se evita así el problema de tener que realizar hipótesis (siempre simplificadoras y con un alto grado de subjetividad) para separar la cuantía de los beneficios de la de los gastos de promoción. Obsérvese que el valor del suelo, S, ya ha sido afectado por los coeficientes específicos del suelo (A y B, por lo que se tendría el valor de repercusión en parcela) y por los coeficientes conjuntos de suelo y construcción que le fueran aplicables al inmueble. Así, CTREP es equiparable al valor de repercusión del suelo afectado por el coeficiente de mercado de las tasaciones hipotecarias, cuyo procedimiento de valoración se explica en el siguiente apartado.

## El valor de repercusión del suelo en las tasaciones

La normativa de valoración vigente en el período de toma de muestras era la Orden de 28 de julio de 1989, sobre valoración de bienes en el mercado hipotecario. La fórmula aplicable para la valoración de las viviendas colectivas terminadas es:

$$V_R = C \times K = [S + C_c(1 - d)]K \quad \text{Ec. 4}$$

$V_R$  es el valor de realización o de mercado, definido como el valor que tiene o puede alcanzar en el mercado el inmueble. El valor que se busca es un valor medio, lo más objetivo posible, esto es, el precio de venta hipotético que estarían dispuestos a pagar el mayor número de posibles compradores.

C: el coste de reposición es aquél en el que se incurriría actualmente para «reproducir» la vivienda objeto de tasación. Se calcula como la suma de dos componentes:

1) S: **valor de repercusión del suelo urbanizado**, en pts/m<sup>2</sup> construido, en el que se debe incluir la parte que corresponda de superestructuras o equipamientos de los que tiene participación el inmueble (en la normativa no se especifica el método para estimar el valor de repercusión del suelo, por lo que es una opción abierta (5)).

2) Valor de reposición de la construcción, obtenido como el coste de construcción a nuevo ( $C_c$ ), con los actuales materiales, de características y calidades similares, afectado por un coeficiente reductor (1 - d), que se utiliza para depreciar el valor del inmueble en función de la antigüedad y conservación de la edificación.

K: el coeficiente de mercado es definido en la normativa como el cociente del precio de venta actual y normal (estimado para viviendas de características similares a la que es objeto de tasación) entre el coste

(5) Hay diversas alternativas, entre las que se pueden enumerar: a) utilización del método de comparación según el mercado, basado en la investigación sobre los precios en la zona de solares de similares características (precios testigos); b) estimación por el método residual, deduciendo del  $V_R$  óptimo (obtenido en las condiciones de más intensivo y mejor uso posible del suelo) el coste de las construcciones necesarias para alcanzarlo, así como los demás gastos y beneficios, obteniendo el valor del suelo como resto o residuo; c) cálculo de S como un porcentaje de  $V_R$ , para lo cual es necesario conocer previamente las relaciones entre ambas magnitudes, que son cambiantes en función del segmento del mercado y de la zona en la que se sitúe la vivienda.

de reposición calculado (6). Para su determinación se analizará la información estadística de los precios reales que se dan en la zona. Mediante  $K$  se pretende recoger los gastos y beneficios de la promoción, por lo que cabe plantearse si sólo debe englobar los beneficios normales o también las plusvalías inmobiliarias (consideradas como beneficios extraordinarios). Las opiniones más autorizadas, entre la que se encuentra la de Roca Cladera (1987), sostienen que las plusvalías inmobiliarias se deben al factor suelo, puesto que son los rendimientos surgidos como consecuencia de la localización diferencial y exclusiva de los bienes urbanos. Además, dichas rentas tienen naturaleza monopolística, pues resulta prácticamente imposible reproducir competitivamente las características de un emplazamiento. La teoría de que la plusvalía inmobiliaria pertenece al suelo implica que  $K$  deba ser utilizado para recoger solamente los gastos y beneficios normales de la promoción, en tanto que las plusvalías deben ser absorbidas por el valor del suelo.

Para evitar la realización de hipótesis simplificadoras acerca de la cuantía de  $K$  que puede considerarse como beneficio normal y a partir de qué cifra es extraordinario, la variable que recoge el valor de repercusión del suelo de las tasaciones (sobre la que se va a realizar un proceso de estimación espacial similar al del caso catastral) es  $TREP = S \times K$ . De esta forma, aunque las valoraciones provengan de tasadores con diferentes opiniones y usos sobre la composición interna de  $K$  y  $S$ , la variable  $TREP$  sí debe tener un significado similar para todos ellos. Así,  $TREP$  recoge los gastos y beneficios normales y extraordinarios de la promoción, siendo comparable con la

variable catastral definida más arriba ( $CTREP = S \times 1,4$ ).

## Metodología para la estimación espacial del valor del suelo (7)

### Planteamiento

En este apartado se expone la adaptación metodológica realizada en la  $TVR$  y el Krigeaje, cuyos orígenes están en la Geostatística, para llevar a cabo la estimación espacial del valor del suelo urbano. Sea  $S(x)$  el valor de repercusión del suelo (obtenido por el procedimiento catastral,  $CTREP$ , o por el de las tasaciones,  $TREP$ ) en la localización  $x$  (es decir, para la vivienda ubicada en dicho lugar de la ciudad), que viene determinada por sus coordenadas cartesianas  $(x, y)$ . Se van a utilizar los valores del suelo transformados mediante logaritmos,  $\ln S(x)$ , de tal forma que las estimaciones del valor del suelo (después de tomar antilogaritmos) sean siempre positivas, como debe ocurrir en los métodos de valoración catastral y de las tasaciones. Lo ideal sería que la variable sobre la que se realizan las estimaciones fuera estacionaria (es decir, que no presentara deriva), pero, precisamente, es muy habitual que el valor del suelo tenga deriva. En tal caso, es aconsejable utilizar la modalidad del Krigeaje residual iterativo ( $KRI$ ), que se basa en la descomposición de  $\ln S(x)$  en dos elementos:

$$\ln S(x) = m(x) + u(x) = \sum_{r=0}^T a_r f^r(x) + u(x) \quad \text{Ec. 5}$$

(6) Ha sido criticado el hecho de que  $K$  no sea un medio para llegar a lo que debiera ser el objetivo final de la tasación,  $VR$ , sino una consecuencia, pues se obtiene como cociente de dos magnitudes conocidas o deducidas ( $VR$  y  $C$ ) (Roca Cladera, 1992).

(7) La metodología es compleja y requiere conocimientos previos sobre la  $TVR$  y el Krigeaje que no se pueden resumir en unas pocas líneas. El lector que quiera profundizar en el conocimiento de esta potente herramienta de estimación espacial puede consultar las siguientes referencias bibliográficas: Chica Olmo (1995) y Cano Guervós (1998).

$u(x)$  es la perturbación aleatoria del modelo econométrico; se supone estacionaria, con media nula,  $E[u(x)] = 0$ , varianza constante,  $Var[u(x)] = V$ , y covarianza finita,  $Cov[u(x_i), u(x_j)] = C_{ij}$ . Como  $S(x)$ , el valor del suelo, presenta dependencia espacial, también la habrá en  $\ln S(x)$  y  $u(x)$ . En particular,  $u(x)$  recogería la dependencia espacial a pequeña escala de  $\ln S(x)$ ; una escala que podría cubrir una extensión inferior a un barrio.

$m(x)$  es la media no constante o deriva de  $\ln S(x)$ , representativa de la tendencia a gran escala espacial; ésta podría cubrir al conjunto de la ciudad. Si la variable no presenta deriva  $m(x)$  es constante:  $m(x) = m \forall x$ . La deriva es desconocida pero no aleatoria, y si tuviera un comportamiento regular podría ser modelizada mediante un polinomio de orden  $H$  (8). Por tanto,  $u(x)$  y  $m(x)$  recogen la variabilidad espacial del valor del suelo, a pequeña y gran escala, respectivamente ( $u(x)$  recoge la dependencia a pequeña escala puesto que es igual a la variable explicada menos la tendencia a gran escala o deriva:  $u(x) = \ln S(x) - m(x)$ ).

$a$ , son coeficientes desconocidos, los parámetros a determinar en el modelo econométrico.

$f^i(x)$  son monomios desconocidos de la forma  $x^p y^q$ , con  $0 \leq p + q \leq H$ .

A modo de resumen, que se irá detallando en el siguiente apartado, en el método del KRI se estiman espacialmente los valores de  $\ln S(x)$  (variable no estacionaria por presentar deriva), de forma indirecta. En primer lugar, se determina la deriva mediante el ajuste del modelo econométrico. Como la perturbación aleatoria presenta dependencia espacial, para que las estima-

ciones de los parámetros  $a$ , sean eficientes (esto es, sin sesgo y con mínima dispersión) es necesario que el ajuste se haga por mínimos cuadrados generalizados (MCG), en vez de utilizar el ajuste más habitual, el de mínimos cuadrados ordinarios (MCO). La utilización del estimador MCG requiere conocer la matriz de covarianzas de la perturbaciones,  $C$ , que suele ser desconocida, por lo que más adelante se detalla un procedimiento iterativo para estimarla. En segundo lugar, se realiza la estimación espacial (por Krigeaje) sobre los residuos del modelo, que ya serán estacionarios (puesto que se les ha filtrado la deriva). Finalmente, se estima el valor de  $\ln S(x)$  como la suma del valor de la deriva en la localización  $x$  más el residuo estimado en la misma. Así, en la estimación del valor del suelo se tiene en cuenta su variabilidad espacial a gran escala, mediante la deriva, y a pequeña escala, por medio del Krigeaje de los residuos.

### Desarrollo matemático

Este proceso es llevado a cabo a través de las ecuaciones que ahora se comentan. Una vez realizada la estimación MCG de  $a$ , el logaritmo del valor del suelo para la vivienda localizada en el punto  $x_0$ , si se conocen sus coordenadas, vendría dada por:

$$\ln S(x_0) = F_0' b + u(x_0) = F_0' \hat{b} + \hat{u}(x_0) \quad \text{Ec. 6}$$

$F_0' = (1, f_{02}, f_{03}, \dots, f_{0T})$ : vector (1 fila  $\times$  T columnas) que recoge los valores que toman los monomios  $f^i(x_0)$  que componen el polinomio de deriva, obtenidos a partir de las coordenadas  $(x_0, y_0)$  de la vivienda localizada en  $x_0$ .

$\hat{b}$  es el vector  $T \times 1$  que contiene las estimaciones MCG de los coeficientes del polinomio de deriva  $a$ , por lo que  $F_0' \hat{b}$  es la estimación de la deriva de  $\ln S(x_0)$ .

$\hat{u}(x_0)$  es el residuo MCG en  $x_0$ , desconocido puesto que también lo es  $\ln S(x_0)$ .

El objetivo es estimar el valor del suelo, pero se plantea el problema de que  $\hat{u}(x_0)$  es

(8) En la determinación del polinomio de deriva se plantean diversos problemas: determinación de su grado, selección de los monomios que deben ser incluidos, posible multicolinealidad, presencia de autocorrelación espacial en los residuos, y, por tanto, dudas acerca de la validez de los contrastes de hipótesis sobre la significación del modelo y sobre la significación individual de los coeficientes.



desconocido. La solución adoptada es sustituir éste último por su estimador de KRI, obteniendo así la estimación por KRI del valor del suelo en cualquier punto del plano  $x_0$  en el que se tenga interés:

$$\begin{aligned}
 S_k(x_0) &= \text{anti ln}[\ln S_k(x_0)] = \\
 &= \exp[F_0' \hat{b} + u_k(x_0)] = \\
 &= \exp[F_0' \hat{b}] \exp[u_k(x_0)] \quad \text{Ec. 7}
 \end{aligned}$$

$S_k(x_0)$  es la estimación por KRI del valor del suelo para la vivienda localizada en  $x_0$  (será denominado CTREPKR, en el caso catastral, y TREPKR en el de las tasaciones).

$\exp[F_0' \hat{b}]$  es la estimación MCG de la deriva del valor del suelo en  $x_0$ .

$u_k(x_0)$  es la estimación por KRI del residuo MCG en  $x_0$ ,  $\hat{u}(x_0)$ . Para su cálculo se parte del conocimiento de los valores del suelo que podríamos llamar «reales» (obtenidos por aplicación de la Ponencia, CTREP, o los que figuran en los informes de tasación, TREP) de  $n$  viviendas muestrales,  $S(x_i)$ , situadas en los puntos del plano  $x_1, \dots, x_n$ . A continuación, se calcula para cada una de ellas el residuo MCG,  $(x_i)$ , mediante la ecuación 6. Finalmente,  $u_k(x_0)$  se obtiene como una especie de media ponderada de los datos disponibles:

$$u_k(x_0) = \sum_{i=1}^{n_k} \lambda_i \hat{u}(x_i) \quad \text{Ec. 8}$$

$n_k$  es el número de viviendas más próximas a  $x_0$ , utilizadas en la estimación.

$\hat{u}(x_i)$  son los residuos MCG obtenidos de la muestra de viviendas.

$\lambda_i$  son los pesos o ponderadores de Krigaje (9). Los pesos se obtienen resolviendo

(9) Como norma general, se asignan pesos fuertes a los residuos de las viviendas geográficamente más próximas al punto  $x_0$  donde se realiza la estimación, y pesos débiles a los de las viviendas más alejadas. No obstante, esta norma puede ser incumplida si la variabilidad del fenómeno presenta ciertas anomalías (por ejemplo, en el caso de comportamiento anisotrópico).

do el sistema de ecuaciones de KRI (Matheron, 1970):

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{n_k} \lambda_j \gamma_{ij} + \mu = \gamma_{i0} & \text{para } i, j = 1, \dots, n_k \\ \sum_{j=1}^{n_k} \lambda_j = 1 \end{cases} \quad \text{Ec. 9}$$

$\gamma_{ij} = \gamma_0(x_i - x_j)$  es el valor del variograma de los residuos MCG entre los puntos experimentales  $x_i$  y  $x_j$ .  $\gamma_0 = \gamma_0(x_i - x_i)$  representa el mismo concepto entre  $x_i$  y el punto donde se quiere estimar,  $x_0$ .  $\mu$  es el multiplicador de Lagrange. La función variograma se define como  $1/2$  de la esperanza de los incrementos cuadráticos de la variable analizada (en este caso, de los residuos MCG,  $\hat{u}(x)$ ):

$$\gamma_0(h) = 1/2 E[\hat{u}(x+h) - \hat{u}(x)]^2 \quad \text{Ec. 10}$$

donde  $h$  es la distancia que separa dos puntos del plano. En la práctica se trabaja con el modelo de variograma ajustado al variograma experimental (Cressie, 1991), que es obtenido a partir de la muestra de viviendas. A través del análisis del variograma se puede determinar si una variable presenta dependencia espacial, si es o no estacionaria, así como el radio de influencia de los factores que actúan a pequeña escala espacial.

### Medición de los errores cometidos en la estimación del valor del suelo

Para las viviendas de ambas muestras se puede medir el error cometido en la estimación: el valor de repercusión del suelo estimado por KRI en dichas viviendas (CTREPKR o TREPKR) se compara, por diferencia, con el valor real (CTREP o TREP, respectivamente):

$$\text{DIFERENCIA} = S_k(x_0) - S(x_0) \quad \text{Ec. 11}$$

Por tanto, en el caso catastral, DIFERENCIA = CTREPKR - CTREP y, en el caso de las ta-

saciones, DIFERENCIA = TREP<sub>KR</sub> - TREP. Otra forma de medir el riesgo de estimación, que puede calcularse para cualquier punto de la ciudad que se desee, es la desviación típica del error de estimación (Matheron, 1965):

$$\sigma_k = \sqrt{\text{Var}[\ln S_k(x_0) - \ln S(x_0)]} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n_k} \lambda_i \gamma_{i0} + \mu} \quad \text{Ec. 12}$$

### Estimación de la matriz de covarianzas

Hasta este punto se ha explicado el KRI suponiendo que se dispone de la matriz de covarianzas de las perturbaciones, C, o de su estimación. Pero lo habitual es que sea desconocida, al serlo las perturbaciones, por lo que también se desconoce la función variograma, que se relaciona con la covarianza a través de la expresión:

$$\gamma_u(h) = \text{Cov}_u(0) - \text{Cov}_u(h) = \text{Var}[\hat{u}(x)] - \text{Cov}[\hat{u}(x_i) - \hat{u}(x_j)] \quad \text{Ec. 13}$$

donde  $\text{Cov}_u(0)$  es la covarianza de los residuos MCG correspondientes a los puntos que estuvieran situados infinitamente próximos entre sí y  $\text{Cov}_u(h)$  es la covarianza de los situados en  $x_i$  y  $x_j$ , que distan  $h$  entre sí. La covarianza (y el variograma) pueden estimarse mediante un proceso iterativo en dos etapas: 1.<sup>a</sup>) si  $\ln S(x)$  no es estacionaria, mediante regresión MCO (no hay más remedio que comenzar a trabajar como si las perturbaciones no presentaran dependencia espacial) se debe determinar el orden del polinomio de deriva que consigue que el variograma de los residuos sea isótropo y estacionario; 2.<sup>a</sup>) comienza cuando  $\ln S(x)$  es estacionaria (ya sea inicialmente o después del filtrado de la deriva), y consiste en la estimación de C a través de su relación con el variograma (ecuación 13). Tras estimar C, se obtiene una primera estimación MCG del vector de coeficientes, b,

y de las perturbaciones, u; a partir de estos residuos se obtiene un nuevo variograma residual y nuevas estimaciones de b y de u. Las iteraciones del proceso cesan cuando el variograma y los coeficientes del polinomio de deriva se estabilizan (Neuman y Jacobson, 1984).

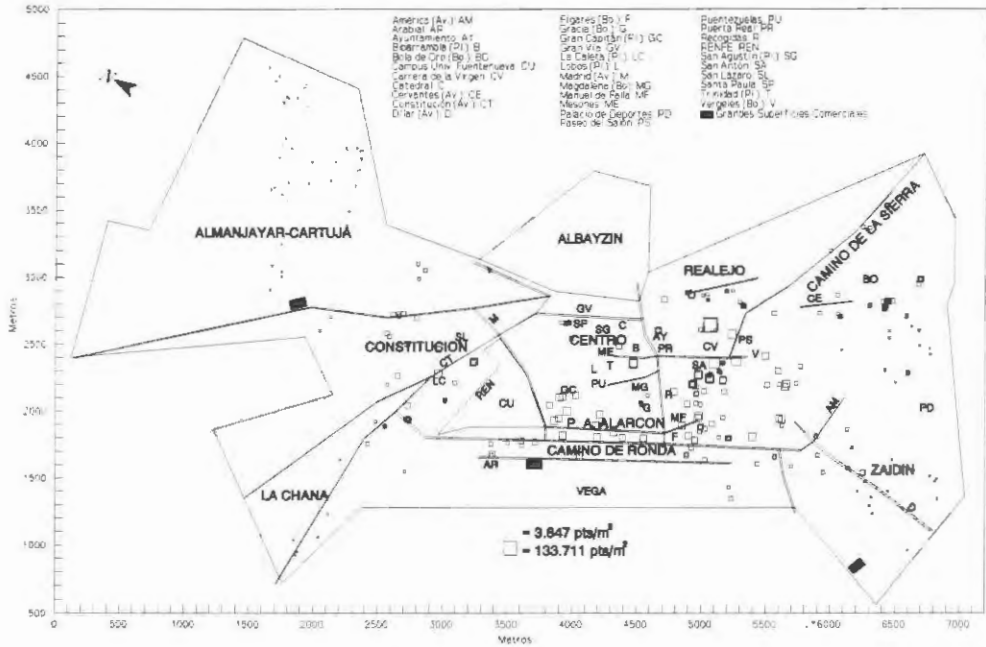
## Estimación espacial del valor del suelo en Granada

### Información disponible

Para aplicar la metodología se parte de los datos contenido en dos muestras diferentes de viviendas colectivas. Los resultados de ambas aplicaciones se van a ir exponiendo paralelamente. La primera muestra, tomada en 1991, se compone de 298 viviendas, para cada una de las cuales se ha obtenido el valor de repercusión del suelo catastral, lo que se ha denominado  $S(x) = \text{CTREP}$ , que recoge el valor de repercusión del suelo de la *Ponencia de Valores del Término Municipal de Granada* multiplicado por los coeficientes correctores que afecten al suelo, tanto sus específicos como los comunes con la construcción, e incrementado con el ponderador 1,4. En la Figura 1 se han representado las 298 viviendas muestrales (con un símbolo cuyo tamaño es proporcional al valor de  $\text{CTREP}$ ), además de los barrios, calles y lugares de la ciudad citados en el texto. La segunda muestra se compone de 215 viviendas tasadas en el periodo 1990-1992 (los valores se han actualizado a 1991), de las cuales se conoce el valor de repercusión del suelo asignado por los tasadores hipotecarios en sus correspondientes informes (en este caso,  $S(x) = \text{TREP}$ , que incluye el producto por el coeficiente de mercado, K). La localización de las 215 viviendas de la segunda muestra y la representación del valor de TREP para cada una de ellas puede observarse en la Figura 2. En el Cuadro 1 se recogen las estadísticas básicas de sendas muestras de viviendas en las variables



Figura 1  
 Valor del suelo catastral en las 298 viviendas de la muestra.  
 Lugares de la ciudad citados en el texto



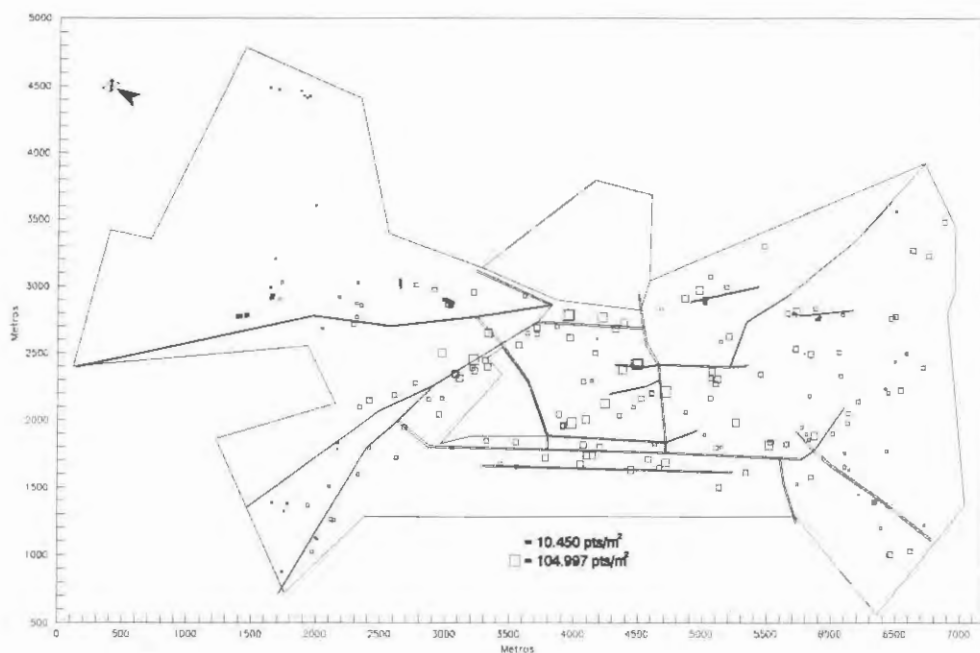
CTREP y TREP, así como de sus estimaciones por KRI, CTREPKR y TREPKR, respectivamente. Al comparar las columnas de los valores reales, CTREP con TREP, se observa que los cuartiles y la media del valor del suelo de las tasaciones son superiores a los catastrales y que existe mayor dispersión en los valores catastrales puesto que su coeficiente de variación es mayor (por tanto, su media resume peor el comportamiento global de la variable que la de las tasaciones).

### Análisis de la dependencia espacial del valor del suelo

La aplicación del método del Krigeaje va acompañada del estudio previo de la estructura de variabilidad del fenómeno ana-

lizado, que en primera instancia es el logaritmo del valor del suelo,  $\ln S(x)$ . Este estudio acerca de la forma en que van variando los valores del suelo sobre el plano de la ciudad se efectúa mediante su variograma. De la forma creciente de ambos variogramas experimentales (Figura 3.a) y b) se deduce, como era de esperar, que los valores del suelo no se hallan distribuidos sobre el espacio de forma aleatoria, sino que dependen esencialmente de su ubicación relativa. El nivel de interdependencia o correlación es más alto (y el valor del variograma más bajo) entre los valores del suelo de las viviendas próximas (para las que  $h$ , la distancia que las separa, es pequeña); por el contrario, a medida que aumenta la distancia entre las viviendas la co-

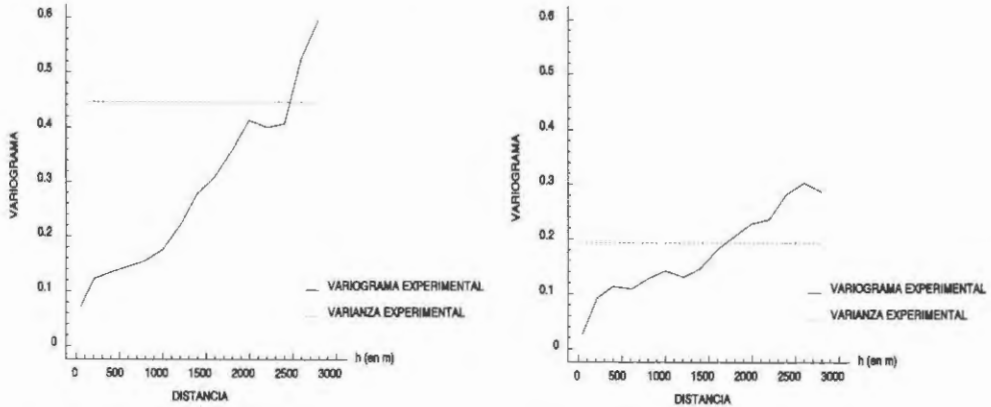
Figura 2  
Valor del suelo de las tasaciones en las 215 viviendas de la muestra



Cuadro 1  
Estadísticas básicas del valor del suelo (en miles de pts/m<sup>2</sup>)

|                        | Catastrales                   |                                   |  | Tasaciones                    |                                  |   |
|------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|--|-------------------------------|----------------------------------|---|
|                        | Viviendas de la muestra (298) |                                   | Valores<br>estimados en<br>los nudos de<br>la malla<br>(CTREPKR) | Viviendas de la muestra (215) |                                  | Valores<br>estimados en<br>los nudos de<br>la malla<br>(TREPKR) |
|                        | Valores<br>reales<br>(CTREP)  | Valores<br>estimados<br>(CTREPKR) |  | Valores<br>reales<br>(TREP)   | Valores<br>estimados<br>(TREPKR) |   |
| 1.º Cuartil            | 18,603                        | 23,259                            | 16,314   | 27,125                        | 28,262                           | 24,809  |
| Mediana                | 35,092                        | 38,219                            | 31,163   | 39,196                        | 40,531                           | 38,181  |
| 3.º Cuartil            | 48,833                        | 48,679                            | 44,200   | 54,456                        | 52,378                           | 48,863  |
| Rango interc.          | 30,230                        | 25,421                            | 27,886   | 27,331                        | 24,116                           | 24,054  |
| Media                  | 37,826                        | 36,661                            | 30,853   | 43,602                        | 42,329                           | 37,105  |
| Coefficiente Variación | 56,620                        | 46,470                            | 56,189   | 44,740                        | 38,181                           | 42,909  |

Figura 3  
Variograma del logaritmo



a) Del valor del suelo catastral.

b) Del valor del suelo de las tasaciones.

relación entre los valores del suelo va disminuyendo (y el variograma creciendo).

### Análisis de la dependencia espacial a gran escala

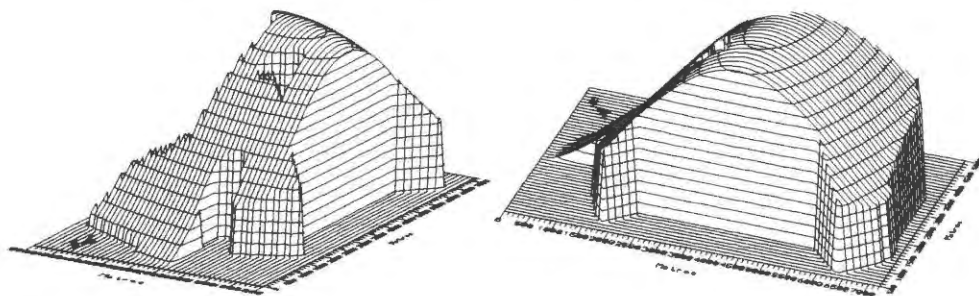
La presencia en los valores del suelo de tendencia espacial a gran escala o deriva se detecta (10) por el crecimiento continuado de sendos variogramas, que superan nítidamente las respectivas varianzas experimentales de los datos. El polinomio de regresión, en principio ajustado por MCO, que consigue la estacionariedad e isotropía de los residuos es de orden 2, por lo que se trata de un tipo de deriva denominada cuadrática. La forma acampanada, característica de este tipo de deriva, puede observarse en la Figura 4, donde se han representado tridimensionalmente las estimaciones MCO (no eficientes aún) de los valores del suelo

catastrales (la gráfica de la deriva de las tasaciones es muy similar, por lo que no se ha incluido en el texto). En la comparación del polinomio de deriva catastral con el de las tasaciones llama la atención el alto grado de ajuste conseguido en el primero ( $R^2 = 71\%$ ) frente al segundo ( $R^2 = 48\%$ ) (11). Esto indica que los factores macrolocalizativos, que se manifiestan en la deriva, juegan un mayor papel en la valoración catastral, mientras que los microlocalizativos, que explican la variabilidad espacial a pequeña escala podrían jugar un mayor papel en la valoración de los tasadores. La mayor capacidad explicativa de la deriva en la formación del valor del suelo catastral podría deberse a que éste es un sistema de valoraciones masivas, en el que es determinante el principio de equidad fiscal, por lo que es lógica la existencia de un patrón o esque-

(10) Para la detección y determinación del tipo de deriva, en un primer acercamiento pueden utilizarse varios procedimientos gráficos (Cano Guervós, Chica Olmo y Hermoso Gutiérrez, 1995).

(11) No debe preocupar el hecho de que el coeficiente de determinación no sea muy alto, puesto que ello es indicativo de que la deriva, aun jugando un papel importante, no excluye la influencia de los factores microlocalizativos.

Figura 4  
Representación de la deriva del valor del suelo catastral



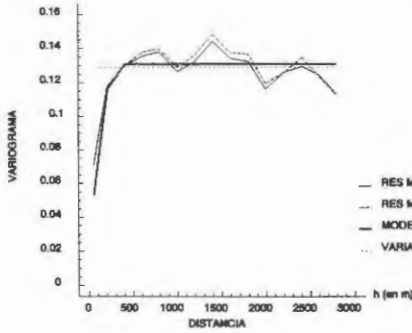
ma general de valores (recogido por la deriva o tendencia) que determine en gran medida la valoración final del suelo, aunque ésta, además, venga matizada por factores microlocalizativos. En cambio, las tasaciones hipotecarias son absolutamente individualizadas, por lo que tienen mayor peso los factores cercanos a la vivienda (microlocalizativos), que pueden ser directamente visualizados por el tasador.

En la representación gráfica de la deriva catastral (también en la de las tasaciones) se observa que estas estimaciones MCO del valor del suelo se caracterizan por tres aspectos: 1) los valores del suelo estimados más altos se encuentran en la zona central de la ciudad. 2) A medida que nos alejamos de ese máximo se produce un descenso de los valores, especialmente fuerte en la zona norte (y aún más acentuado en el barrio de Almanjáyar-Cartuja), donde se alcanzan los valores mínimos de la capital. La problemática situación socioeconómica del mencionado barrio es un factor macrolocalizativo que puede influir decisivamente en este descenso de los valores del suelo. 3) Un desplazamiento de la misma longitud en dirección norte-sur (por ejemplo, desde la zona central hacia Almanjáyar o hacia el Zaidín) provoca una mayor variación en los valores del suelo que si es en di-

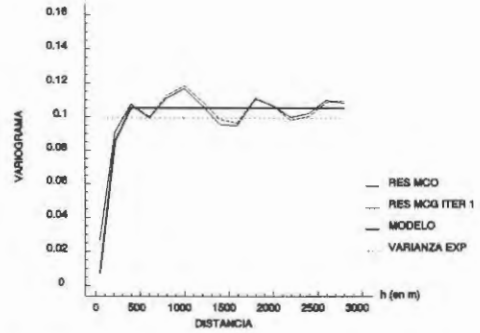
rección este-oeste (por ejemplo, desde la zona central hacia el Camino de Ronda). Esto indica que el gradiente de los valores del suelo es más alto en dirección norte-sur.

El polinomio ajustado por MCO se utiliza exclusivamente para modelizar el tipo de deriva, y sus residuos para verificar que se ha filtrado la misma, logrando la estacionariedad de los residuos. Efectivamente, como puede observarse en la Figura 5.a) y b), los residuos son estacionarios, pues sus variogramas se estabilizan en torno a las respectivas varianzas experimentales; además, siguen presentando dependencia espacial a una escala menor, lo cual se detecta por el crecimiento del variograma conforme lo hace la distancia entre las viviendas. No obstante, en el proceso de estimación espacial se trabaja con los residuos MCG, cuyas estimaciones son eficientes. Tras realizar la segunda iteración por MCG los coeficientes del polinomio de deriva resultan ser prácticamente iguales a los de la primera (tanto en el caso catastral como en el de las tasaciones). Consecuentemente, después de dos iteraciones se produce la convergencia del variograma de los residuos a una forma estable, hasta el punto de que los variogramas de la primera y segunda iteración casi coinciden, por lo que sólo se ha representado el de la

Figura 5  
Variograma de residuos



a) Residuos catastrales.



b) Residuos tasaciones.

primera (véanse las Figuras 5.a y 5.b). Con una sola iteración se estabilizan el variograma residual y los coeficientes del polinomio de deriva, por lo que serán los residuos de la primera iteración y el vario-

grama ajustado a éstos los utilizados en el proceso de estimación espacial del valor del suelo.

El polinomio de deriva ajustado por MCG para los valores catastrales es:

$$\hat{\ln} S(x_i) = \hat{\ln} S_{CTREP}(x_i) = 1,4607 + 0,001151x_i - 1,566 \times 10^{-7}x_i^2 - 9,72 \times 10^{-6}y_i^2 + 9,90 \times 10^{-6}x_i y_i \quad \text{Ec. (14)}$$

(4,8471) (7,9810) (-10,8994) (-6,7679) (5,3749) t-Student

y para las tasaciones éste otro:

$$\hat{\ln} S(x_i) = \hat{\ln} S_{TREP}(x_i) = 2,0884 + 0,000863x_i - 1,115 \times 10^{-7}x_i^2 - 4,69 \times 10^{-6}y_i^2 + 5,68 \times 10^{-6}x_i y_i \quad \text{Ec. (15)}$$

(5,9185) (4,8846) (-6,0474) (-2,4188) (2,3922) t-Student

La combinación de variables explicativas en las Ecuaciones 14 y 15 es la misma y también coinciden los signos de sus coeficientes. La presencia de dependencia espacial disminuye la fiabilidad de los contrastes de significación, por lo que se debe actuar con cautela al analizar la significación de las variables mediante los valores de los estadísticos experimentales t-Student, que aparecen entre paréntesis. Las variables más significativas (esto es, aquellas para las que el estadístico t-Student toma un valor más alto) son la coordenada  $x$  y la  $x^2$ , por lo que la dirección norte-sur (o para ser más exactos, la noroeste-sureste) es la que tiene mayor peso en

la formación de la tendencia espacial a gran escala del valor del suelo, como ya se reseñó al comentar la forma de la deriva ajustada por MCO. Esta dirección atraviesa longitudinalmente la ciudad, que tiene una forma rectangular muy alargada, y, además, es la dirección de las principales calles de la capital (12).

(12) Éste es un aspecto que caracteriza la forma de la deriva en la ciudad de Granada, pues se ha observado en los análisis llevados a cabo sobre otras variables urbanístico-económicas, como el precio de la vivienda (Chica Olmo, 1995), el valor de la localización y la calidad global de la vivienda (Cano Guervós, 1998).

## Análisis de la dependencia espacial a pequeña escala

Se basa en el estudio del comportamiento de los residuos MCG a través de su variograma. Para llevar a cabo la estimación espacial por Krigeaje de los residuos se utiliza el modelo de variograma ajustado, que en ambos casos ha sido de tipo esférico (Matheron, 1970). Los parámetros del variograma ajustado en el caso catastral son: efecto pepita:  $C_0 = 0,053$ ; meseta:  $C = 0,078$ ; alcance:  $a = 323,469$  m. La varianza experimental de los residuos MCG es  $0,1309$ . Los parámetros del variograma de las tasaciones son: efecto pepita:  $C_0 = 0,007$ ; meseta:  $C = 0,098$ ; alcance:  $a = 326,286$  m. El valor de la varianza experimental es  $0,1012$ .

En relación con estos variogramas ajustados, destaca singularmente que los alcances sean casi idénticos (el alcance indica el radio de influencia que tienen los factores que actúan a pequeña escala espacial, es decir, los factores microlocalizativos que afectan al valor del suelo; a partir de esa distancia los residuos tienen un comportamiento aleatorio, al haberse eliminado previamente la influencia de la variabilidad espacial a gran escala, mediante el filtrado de la deriva; en otras palabras, el alcance es la distancia que marca la frontera entre la pequeña y la gran escala espacial). Así, se deduce que en la ciudad de Granada los factores que explican las diferencias entre el valor del suelo de una localización particular respecto de la media de su entorno tienen un ámbito de influencia de 325 metros, aproximadamente, distancia a partir de la cual decae la influencia. Por lo que se refiere al efecto pepita en el caso catastral, su valor implica que el 40% ( $0,053 \times 100/0,1309$ ) de la variabilidad de los residuos se debe a la componente aleatoria que hay los mismos, mientras que el 60% restante viene explicada por su dependencia espacial a pequeña escala. En las tasaciones el efecto pepita implica que sólo el 7% de la variabilidad se debe a la componente aleatoria, en tanto que el 93% se explica por la estructura de

dependencia espacial existente en el valor del suelo. De este último dato se deduce que en el origen (es decir, para viviendas infinitamente próximas) el valor del suelo dado por los tasadores presenta un comportamiento bastante regular y continuo, sin distorsiones o altibajos bruscos. Esta regularidad indica que los tasadores han llevado a cabo valoraciones del suelo muy coherentes, en el sentido de que hay un margen de aleatoriedad muy escaso. De la comparación del efecto pepita en ambas valoraciones puede extraerse otra conclusión: para pequeñas distancias (con magnitudes inferiores al alcance) los residuos de las tasaciones muestran un comportamiento más estructural y menos aleatorio que los catastrales, lo cual implica que los factores microlocalizativos, causantes de la aparición de las estructuras de dependencia espacial a pequeña escala, son más determinantes en las tasaciones del suelo que en las valoraciones catastrales del mismo. Como ya se comentó, esto puede deberse a que las tasaciones se hacen in situ, por lo que se tiene muy en cuenta el entorno inmediato, directamente percibido por el tasador, mientras que en las valoraciones catastrales, los valores del suelo vienen dados en la Ponencia para calles enteras (o para tramos de éstas en caso de mayor especificación). Por tanto, son los propios procedimientos de valoración los que condicionan en gran medida el comportamiento de los valores del suelo, influyendo extraordinariamente sobre su variabilidad espacial a pequeña y gran escala.

Resumiendo las conclusiones extraídas sobre ambas escalas de variabilidad, se ha observado que la deriva o variabilidad a gran escala, que recoge la influencia de factores macrolocalizativos, es más explicativa en la valoración catastral del suelo, mientras que las estructuras de dependencia espacial a pequeña escala, en las que se manifiesta la influencia de factores microlocalizativos, son más explicativas y dejan menor margen de aleatoriedad en los valores del suelo de las tasaciones.



## Distribución espacial del valor de repercusión del suelo

Teniendo en cuenta la estructura de dependencia espacial, recogida por el modelo de variograma ajustado, el método del KRI permite estimar espacialmente los residuos en cualquier punto del plano en el que se esté interesado y, como consecuencia, en ese mismo punto también se puede estimar el valor del suelo, que es el objetivo último. Para estimar el valor de repercusión del suelo en un punto cualquiera  $x_0$ , es decir, para obtener  $S_k(x_0)$ , se procede como indica la Ecuación 7: al residuo estimado por Krigeaje,  $u_k(x_0)$ , se le suma la estimación MCG de la deriva (Ecuación 14, en el caso catastral, y 15, en el de las tasaciones) en dicho punto, y, por último, se calcula el antilogaritmo de la suma anterior. De esta forma, como ya se comentó, en la estimación final del valor del suelo se contempla su variabilidad espacial a pequeña y a gran escala.

Se ha estimado por KRI el valor del suelo catastral, por un lado, y el de las tasaciones, por otro, en los 359 nudos de una malla o red superpuesta sobre el plano de la ciudad que divide a ésta en cuadrados de 200 metros de lado. En este proceso se ha utilizado las 24 viviendas más próximas al punto (en este caso, al nudo o vértice del cuadrado) donde se quiere estimar. Las estimaciones sobre la malla tienen dos objetivos: 1.º a partir de una muestra de viviendas de las que se conoce el valor del suelo, la estimación espacial se extiende a toda la ciudad; 2.º al estar las dos valoraciones referidas a los mismos puntos de la ciudad (los nudos de la malla), se pueden establecer comparaciones entre el valor del suelo catastral y el de las tasaciones. En el Cuadro 1 se recogen las estadísticas básicas del valor del suelo estimado en los nudos. Tanto en el caso catastral como en el de las tasaciones la media del valor del suelo estimado en los nudos es inferior a la de los valores reales (muestrales), pero ésta no es la diferencia que debe

interpretarse en términos de error (13) (para ello, más adelante, se compararán los valores estimados con los reales, para cada una de las viviendas de ambas muestras).

Para observar cómo se distribuye espacialmente el valor del suelo en la ciudad, a partir de las estimaciones en los nudos se ha obtenido el plano de isolíneas del valor del suelo catastral (Figura 6) y su representación tridimensional (Figura 7), y lo mismo referido al valor del suelo de las tasaciones (Figuras 8 y 9). Mediante los planos de isovalores se pueden deducir los valores del suelo más probables para cualquier punto de la ciudad. Dado que las valoraciones catastrales y las tasaciones tienen criterios, procedimientos y fines diferentes, lo más interesante de los planos es comparar la distribución espacial de ambas valoraciones (si coinciden o no las zonas más valoradas, las menos valoradas, etc.) siendo secundaria la comparación de los valores en sí. Estos planos tienen un evidente interés, pero eminentemente local, por lo que sólo se van a comentar los rasgos esenciales, resaltando los puntos de coincidencia, que son muchos, y los de discrepancia.

En ambos planos los valores del suelo más bajos de la ciudad, con diferencia respecto a otras zonas, se encuentran en el barrio de Almanjáyar-Cartuja, sin duda, como consecuencia de los problemas de marginación social y de inseguridad ciudadana que han venido azotando a esta zona. A medida que se entra en el barrio de Constitución van creciendo los valores del suelo. Preci-

(13) Esta diferencia no se puede interpretar en términos de error al estar «contaminada» por el hecho de que estas estimaciones se realizan en los nudos, luego no se ubican en los mismos lugares de las viviendas muestrales: los nudos están repartidos regularmente por toda la ciudad, mientras que hay muy pocas viviendas muestrales en las zonas periféricas de la ciudad, donde los valores del suelo son inferiores; de ahí también que la media de las estimaciones en los nudos sea inferior a la de los valores reales de la muestra.

Figura 6  
Isolíneas del valor del suelo catastral estimado por KRI (en pts/m<sup>2</sup>)

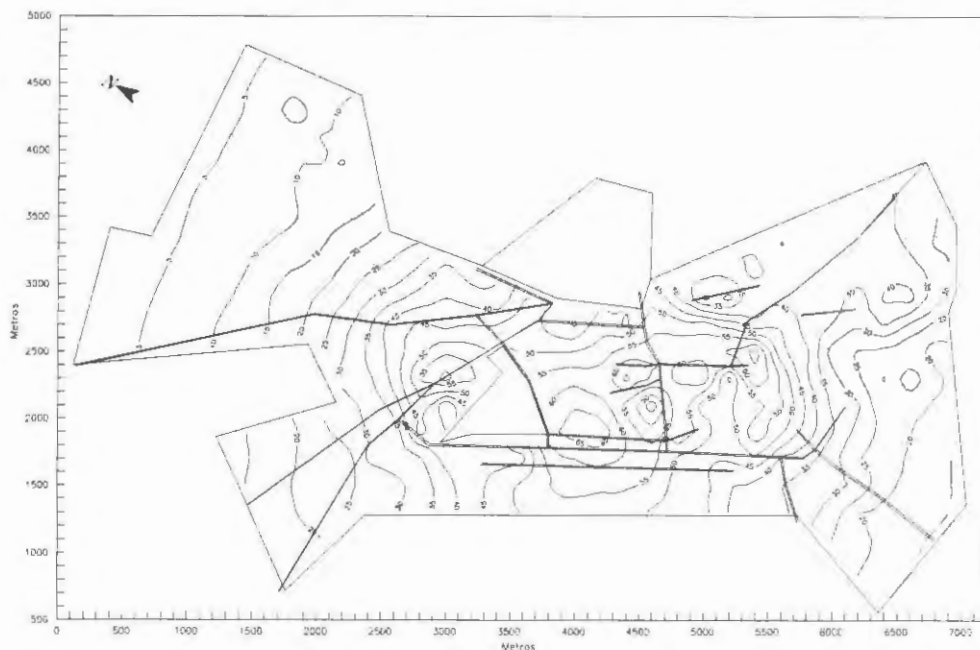
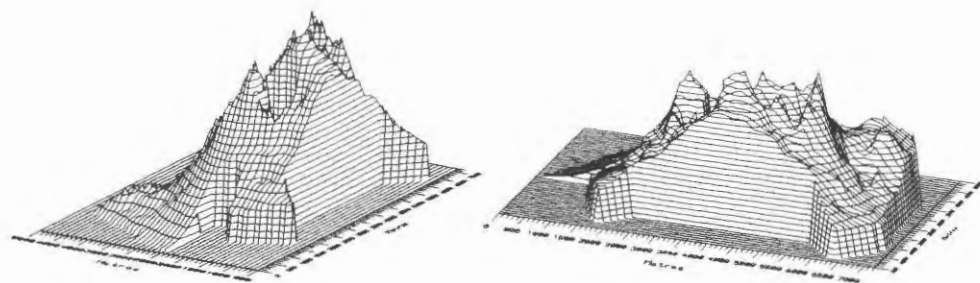


Figura 7  
Representación del valor del suelo catastral estimado por KRI



samente, en el plano de las tasaciones el máximo absoluto de la ciudad se ha estimado en el tramo de la avenida de la Constitución situado entre la de Madrid y La Ca-

leta (el máximo incluye en su interior a los solares del demolido barrio de San Lázaro, por lo que se puede prever la ganancia de importantes plusvalías inmobiliarias por

Figura 8  
Isolíneas del valor del suelo de las tasaciones estimado por KRI (en pts/m<sup>2</sup>)

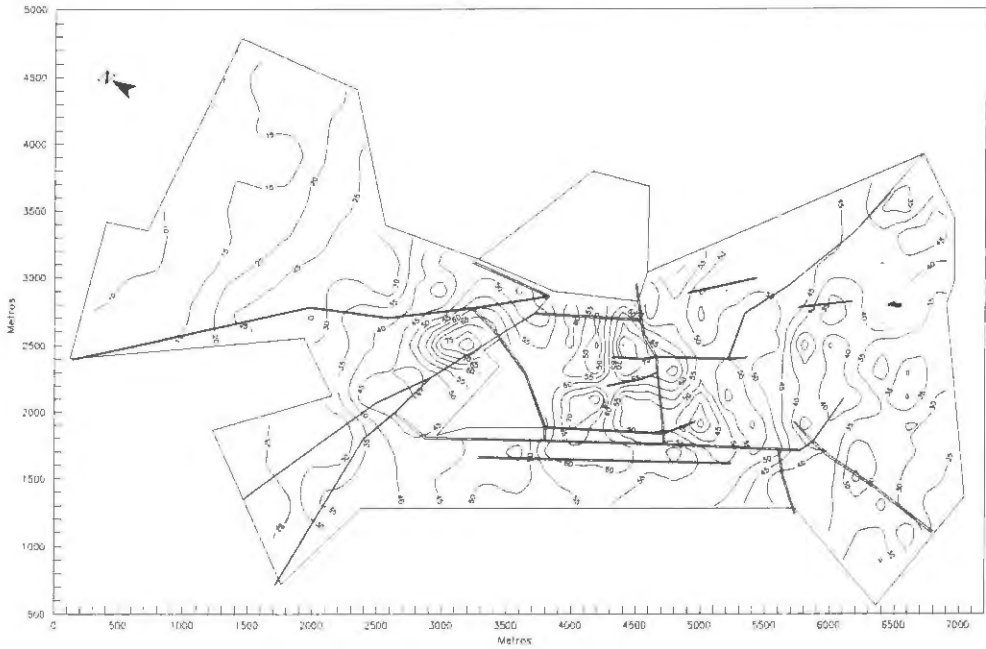
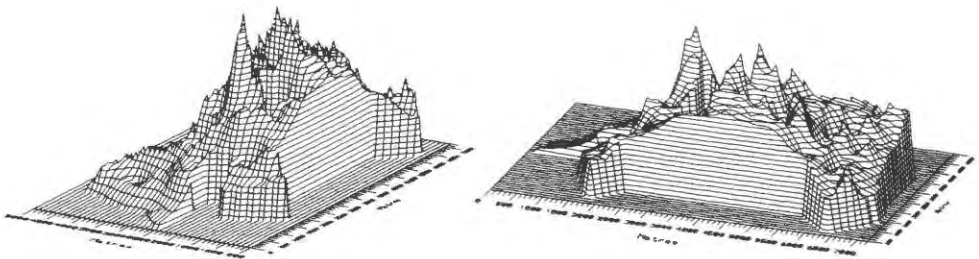


Figura 9  
Representación del valor del suelo de las tasaciones estimado por KRI



parte de sus propietarios). Al oeste, muy cerca de esta zona, concretamente, en La Caleta, hay un máximo relativo del valor

del suelo catastral (en este lugar se estaban produciendo mejoras urbanísticas que habrían incidido sobre el valor del suelo). En

dirección hacia La Chana se va produciendo un continuo descenso de valores. La zona más valorada de la Chana es su intersección con el Camino de Ronda; en sus inmediaciones aún existen solares vacantes, sobre todo si se lleva cabo la reordenación del área que circunda la salida de las vías de la estación de RENFE. Al recorrer los barrios del Camino de Ronda y Pedro Antonio de Alarcón en dirección norte-sur se produce un aumento gradual de los valores, alcanzándose el máximo en el entorno de la plaza de Gran Capitán. Éste es un máximo relativo en las tasaciones y uno de los tres máximos absolutos en el caso catastral, con la diferencia respecto de los otros dos (que más adelante se reseñan) de que ocupa una zona mucho más extensa. Si desde esta zona se continúa el avance por el Camino de Ronda en dirección sur, a medida que nos acercamos al barrio del Zaidín se observa una disminución paulatina del valor del suelo, descenso que continúa al internarse en el Zaidín en dirección sur, hasta alcanzar el mínimo de la mitad sur de la ciudad en la zona limítrofe con el municipio de Armilla (14).

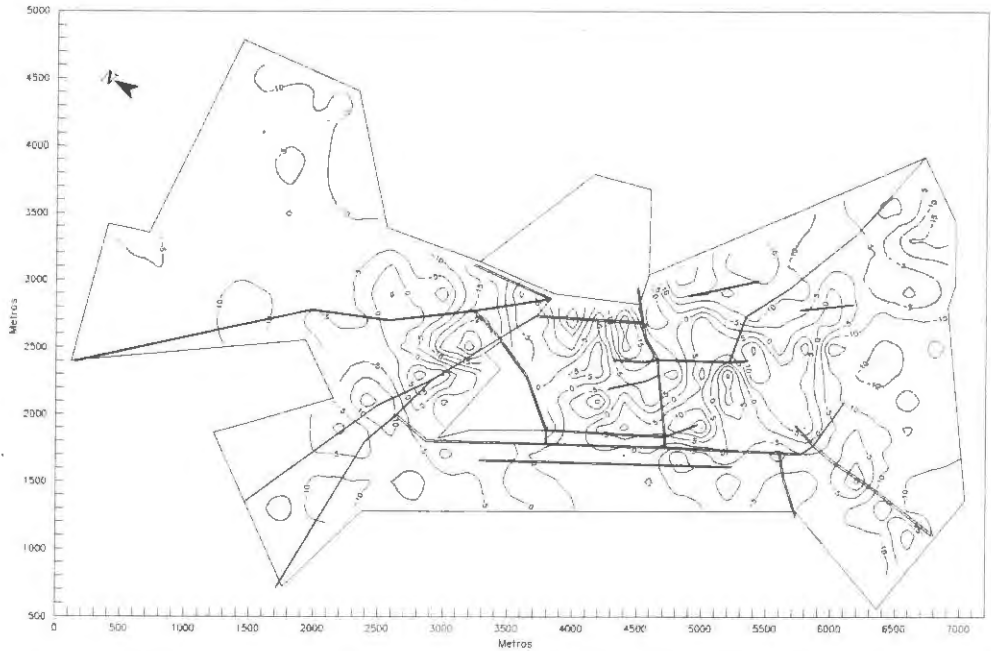
Dentro del barrio del Centro, donde la media del valor del suelo es más alta, se observa una disminución de valores a la izquierda de la calle Recogidas, en los barrios de Gracia y la Magdalena (dos zonas con gran cantidad de viviendas desocupadas y en estado semirruinoso). En el plano de las tasaciones, a la derecha de la calle Recogidas (en el barrio Figares e inmediaciones de la calle Manuel de Falla) también se observa un valle de valores. En el centro co-

mercial y de negocios (CCN) tradicional de la ciudad y sus aledaños (barrio de la Catedral, plazas de Bibarrambla y Trinidad, calles Mesones y Puentezuelas y Puerta Real) se alcanza un máximo absoluto en el plano catastral y uno relativo en el de las tasaciones. En ambos casos, el CCN está incluido en un eje de valores que continúa hacia el río Genil por la Carrera de la Virgen y San Antón. En el plano catastral el eje continúa aún más hacia el sur, atravesando el Paseo del Salón y llegando hasta los Vergeles, donde se encuentra el tercer máximo absoluto. En el plano de las tasaciones, a la izquierda del CCN se observa un valle de valores que engloba a la plaza de Los Lobos, Santa Paula y San Agustín. En ambos planos, conforme nos alejamos del referido eje hacia la Gran Vía, barrio del Realejo o barrio del Camino de la Sierra, disminuyen los valores. A lo largo del Camino de la Sierra los valores van descendiendo lentamente, lo mismo que ocurre en la avenida Cervantes. Al final de ésta, en Bola de Oro, donde se estaba construyendo intensamente durante la recogida de ambas muestras, hay un repunte de valores. Como conclusión global, se constata que la distribución espacial del valor del suelo catastral es muy semejante al de las tasaciones.

A continuación se analizan las zonas con los gradientes de variabilidad más destacados, que se interpretan en términos de elasticidad valor del suelo/distancia, esto es, qué variación se produce en el valor del suelo (en pts/m<sup>2</sup>) por cada 100 metros de desplazamiento en la zona. En el plano catastral: los tres máximos absolutos, que se corresponden con el CCN tradicional, Vergeles y Gran Capitán, presentan un gradiente de 8.300, 5.000 y 1.800 pts/m<sup>2</sup>, respectivamente; el del máximo relativo de La Caleta es de 6.700 pts/m<sup>2</sup>. En el plano de las tasaciones: el máximo absoluto de la avenida de la Constitución, 10.000 pts/m<sup>2</sup>; los dos relativos de Gran Capitán y el CCN tradicional, 8.300 pts/m<sup>2</sup>. Dentro del tercio norte de la ciudad, el mayor gradiente se localiza en la zona de

(14) En el plano de las tasaciones se observan algunas irregularidades en el Zaidín, como el valle de valores en el tramo intermedio de la avenida de Dilar y los picos situados en las inmediaciones del hipermercado Continente, en el extremo de la avenida América hacia la avenida Cervantes y en el entorno del Palacio de los Deportes (este último pico también se observa en el plano catastral). Estas zonas con picos podrían revalorizarse aún más a raíz de la construcción del proyectado Campus de la Salud.

Figura 10  
 Isolíneas de las diferencias entre el valor del suelo catastral  
 y el de las tasaciones (en pts/m<sup>2</sup>), estimados por KRI



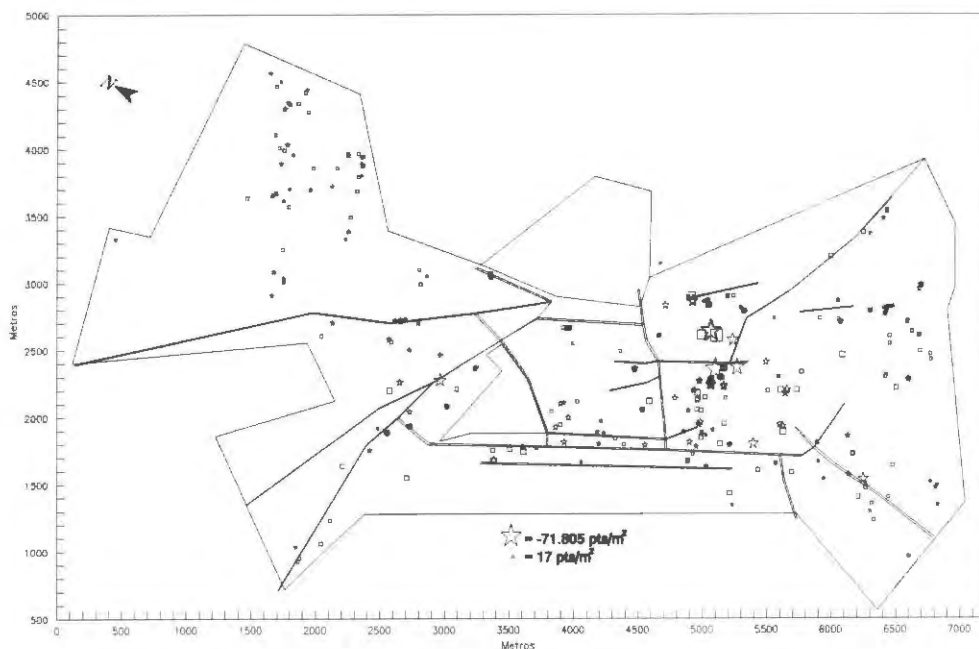
transición entre los barrios de Constitución y Almanjáyar-Cartuja, con una variación de 5.000 pts/m<sup>2</sup> en dirección norte. Ya dentro de Almanjáyar-Cartuja el descenso se atenúa (se miden distancias entre las isótopas superiores a los 500 m sin variación alguna en el valor del suelo).

**Comparación de los valores estimados por KRI: valor de repercusión del suelo catastral – valor de repercusión del suelo de las tasaciones**

El método del Krigeaje es el que hace posible la realización de estas comparaciones, de lo cual se desprende su utilidad como herramienta para reajustar entre sí las distintas valoraciones inmobiliarias.

Para cada uno de los 359 nudos se calcula la diferencia entre la estimación por KRI del valor del suelo catastral y la de las tasaciones (CTREPKR-TREPKR). Las zonas en las que el valor catastral es mayor que el de las tasaciones (diferencia positiva) se podrían considerar penalizadas fiscalmente, mientras que aquellas en las que la diferencia es negativa estarían siendo beneficiadas. Lo anterior es compatible con esta otra interpretación: en las zonas en las que la diferencia es positiva se estaría produciendo una infravaloración por parte de los tasadores hipotecarios, por lo que la actividad crediticia de las entidades financieras se vería restringida sin que hubiera razones que lo justificaran; por el contrario, en las zonas con diferencia negativa alta se podría

Figura 11  
Diferencias entre el valor del suelo catastral estimado por KRI y el valor real



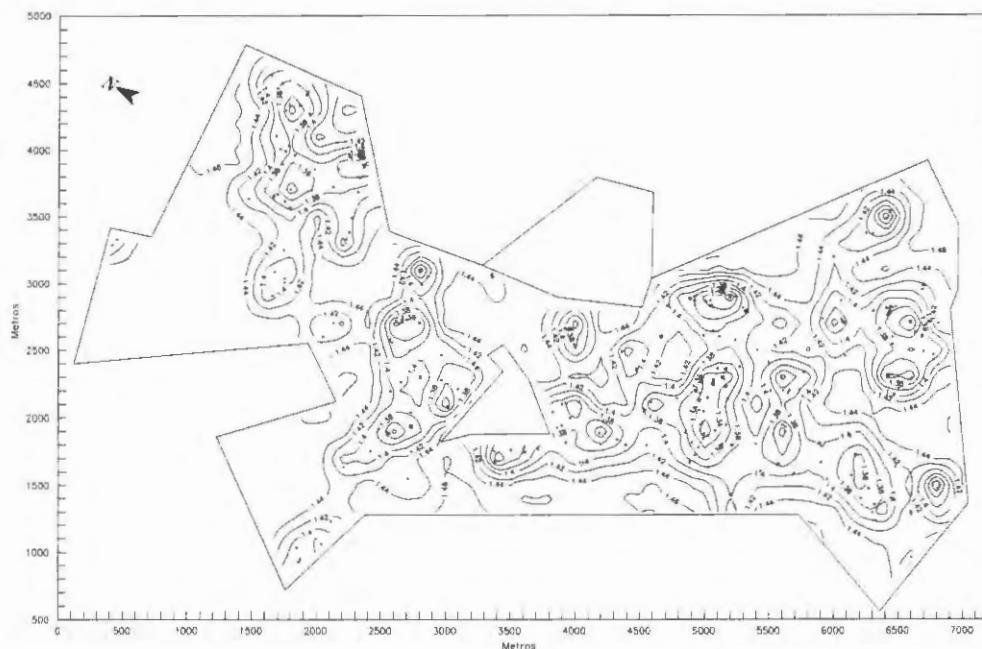
estar produciendo una sobrevaloración, lo cual conllevaría para las entidades financieras la concesión de préstamos que no estuvieran suficientemente respaldados por la garantía real.

Del Cuadro 1 se deduce que la media de la diferencia en los nudos es  $30.853 - 37.105 = -6.252 \text{ pts/m}^2$ , por lo que las estimaciones de los valores del suelo catastrales, en promedio, son inferiores a las de las tasaciones (esto era esperable, pues así ocurría también al comparar los valores muestrales de los que se partió). En la Figura 10 se recoge el plano de isóneas de las diferencias. En la mayor parte de la ciudad las diferencias son negativas (en más del 80% de los nudos las diferencias son negativas), por lo que es más interesante fijarse en que la dife-

rencia esté por encima de la media (mayor que  $-6.252$ ) o al contrario: así, las zonas para las que la diferencia esté por encima de la media estarían siendo perjudicadas fiscalmente, en términos comparativos respecto del conjunto de la ciudad; aquellas cuya diferencia esté por debajo de la media tendrían un tratamiento fiscal más favorable que el conjunto. A grandes rasgos, si se toma la isónea de  $-5.000$  como referencia, se observa que los barrios con diferencias por debajo de la media son: los situados más al norte (Almanjáyarcartuja y La Chana) y más al sur (Zaidín, Camino de la Sierra y Realejo, éste último en el sureste), en definitiva, los ubicados en la periferia; sólo hay pequeñas islas en la zona central (parte del CCN y un tramo de la avenida de la Constitución), en lu-



Figura 12  
 Isolíneas de la desviación típica de la estimación por KRI (caso catastral)



gares donde ambas valoraciones tenían máximos, pero éstos alcanzan mayores cuantías en el caso de las tasaciones. Las zonas con diferencias por encima de la media se sitúan, en general, en la zona central, ocupan menor extensión, y son: parte del barrio de Constitución, Camino de Ronda, Pedro Antonio de Alarcón y parte del Centro. Al contrario del caso anterior, contienen máximos (La Caleta, Gran Capitán, Vergeles) en los que los valores catastrales superan a las tasaciones.

### Análisis espacial de la fiabilidad de las estimaciones

El proceso de estimación se debe completar con un análisis de su fiabilidad, mediante la cuantificación de los errores co-

metidos. En primer lugar se va analizar el error de estimación (la variable denominada DIFERENCIA, de la Ecuación 11), que sólo se puede calcular para las viviendas muestrales, como diferencia entre el valor del suelo estimado por KRI en dichas viviendas y el valor del suelo real.

Del Cuadro 1 se deduce que la media del valor del suelo catastral estimado en las viviendas muestrales, 36.661 pts/m<sup>2</sup>, se sitúa por debajo del real, 37.826 pts/m<sup>2</sup>, por lo que la media de DIFERENCIA sería -1.165 pts/m<sup>2</sup>; esto indica que se ha producido una leve subestimación, que representa sólo el 3'08% de la media real. Con el fin de tener una panorámica espacial de las viviendas en las que se ha producido sub o sobreestimación del valor del suelo catastral, en la Figura 11 se han recogido los va-

lores de DIFERENCIA (con un cuadrado las viviendas en las que se produce sobreestimación y con una estrella en las que se subestima, siendo los tamaños de los símbolos proporcionales al valor absoluto de DIFERENCIA). Pueden destacarse dos aspectos: 1) las diferencias son pequeñas para la inmensa mayoría de las viviendas, detectándose unas pocas anómalas en las que las diferencias son importantes. 2) No se detectan zonas en las que sistemáticamente se estén produciendo sub o sobreestimaciones, sino que las diferencias (tanto las positivas como las negativas) se distribuyen de forma aleatoria en el espacio. En este sentido, el proceso de estimación puede calificarse como satisfactorio, permitiendo, además, la detección de valores anómalos.

Por otro lado, la media del valor del suelo de las tasaciones estimado en las viviendas muestrales, 42.329 pts/m<sup>2</sup>, se aproxima mucho a la media del valor real, 43.602 pts/m<sup>2</sup>, por lo que la media de DIFERENCIA es igual a -1.273 pts/m<sup>2</sup>, lo cual indica una pequeña subestimación que supone el 2,92% del valor medio real. Del plano de la variable DIFERENCIA en las tasaciones se obtienen las mismas conclusiones extraídas para el caso catastral (Figura 11), por lo que no se ha considerado necesario incluirlo en el artículo.

La desviación típica del error de estimación (Ecuación 12) se puede calcular en cualquier punto de la ciudad, por lo que a partir de sus valores en los nudos de la malla se obtiene el plano de isolíneas de la desviación típica (en la Figura 12 aparece este plano, en el caso catastral, junto con las viviendas muestrales; se ha omitido el de las tasaciones pues las conclusiones son similares en ambos casos). Se observa que en las zonas en las que no hay viviendas muestrales, que suelen ser zonas periféricas, la desviación típica toma valores más altos, por lo que se incurre en mayores niveles de error. Estos niveles son muy sensibles a la presencia o ausencia de viviendas muestrales: así, en las zonas don-

de hay viviendas se produce un fuerte descenso de la desviación típica, como lo señala la multitud de «hoyos» dispersos por toda la ciudad. Tomando como referencia la isolínea de 1,44, se detecta que las áreas con mayores errores son: noroeste de Almanjáyar-Cartuja y La Chana; área circundante de la avenida de Madrid (si bien, en las tasaciones no presenta errores altos) y Realejo, por el este; en la franja de terreno entre la calle Arabial y la vega de Granada, por el oeste; en el extremo suroeste del Zaidín, alrededores del Palacio de Deportes, en el sur, y sureste del Camino de la Sierra.

## Conclusiones

La metodología aplicada en el artículo conecta la TVR y el KRI con el procedimiento de valoración del suelo catastral y con el de las tasaciones hipotecarias, haciendo posible tanto la valoración masiva de los bienes urbanos (propia del Catastro) como la individualizada (característica de los tasadores).

Tras analizar la dependencia espacial del valor del suelo catastral en una muestra de viviendas y repetir el mismo análisis sobre el valor del suelo asignado por los tasadores a otra muestra de viviendas, se deduce que las valoraciones catastrales están muy determinadas por la deriva o tendencia espacial a gran escala (causada por factores macrolocalizativos), mientras que las estructuras de dependencia espacial a pequeña escala (en las que se manifiesta la influencia de los factores micro), son más determinantes en la formación del valor del suelo de las tasaciones. Esta aseveración concuerda con los métodos y fines de ambos procedimientos de valoración: el catastral está diseñado para ser aplicado de forma masiva (aunque el resultado sea la valoración individual de cada bien urbano) y el principio de equidad fiscal ha de ser salvaguardado, por lo que era previsible que existiera un patrón de valores (la deriva o tendencia) que marcará fuertemente el

valor del suelo. Sin embargo, las tasaciones se hacen individualmente (además, han sido realizadas por distintos profesionales) por lo que el patrón de valores no tiene tan fuerte peso, sino que los factores con mayor incidencia son los más cercanos a la vivienda (factores micro) percibidos in situ por el tasador.

La metodología de estimación espacial desarrollada en el artículo puede utilizarse para detectar valoraciones «desviadas» o incoherentes (en el sentido de que el error de estimación es muy grande) que, por tanto, deberían ser examinadas con atención y, eventualmente, corregidas. Para detectar las valoraciones desviadas, el valor del suelo calculado por los técnicos del Catastro o el contenido en el informe del tasador se compara con el estimado por KRI, que es el que aparece en el plano de isolíneas del valor del suelo catastral o en el de las tasaciones, respectivamente. Tal comparación permite a los técnicos del Catastro controlar sus errores (para evitar que un contribuyente pueda verse perjudicado o beneficiado en relación con otros) y comprobar que sus valoraciones están siendo coherentes con las de la Ponencia (a partir de las cuales se habría obtenido el plano de isolíneas). De forma análoga, antes de emitir su informe, el tasador puede evitar una sub o sobrevaloración y hacer tasaciones coherentes consigo mismo (si el plano lo obtuvo con sus propios valores) y con las de otros tasadores (si se obtuvo con las valoraciones de éstos). La detección de tasaciones hipotecarias desviadas es fundamental para las entidades financieras ya que la sobrevaloración implica la asunción de un riesgo no respaldado por la garantía real, no contabilizado ni provisionado, mientras que la infravaloración afecta negativamente a la expansión de su activo al verse injustificadamente restringido el crédito hipotecario.

Por otro lado, el analista del mercado inmobiliario (tasador, técnico del Catastro, asesor, promotor, constructor, etc.) también puede utilizar este tipo de planos para

estimar un valor más probable del bien urbano, que sirva como punto de referencia para su valoración; a partir de dicho valor medio, el profesional utilizará su pericia y experiencia para particularizarlo al inmueble que se quiere tasar. No es, por tanto, un método encaminado a sustituir la opinión del experto, sino que su fin es orientarla y sustentarla sobre bases objetivas.

Los valoradores de los bienes urbanos, ya sean institucionales (Catastro) o privados (tasadores hipotecarios), son los más interesados en conocer otros valores que les puedan servir de referencia. Así, la comparación de las distribuciones espaciales de ambas valoraciones del suelo puede servir para validarse mutuamente o para que sean reajustadas en pos de una mayor armonización. Además, el análisis de las diferencias entre las dos valoraciones es útil tanto para los valoradores institucionales, al evidenciar la existencia de zonas penalizadas o beneficiadas fiscalmente, como para las entidades financieras (o las empresas de tasación que trabajan para éstas) ya que permite detectar zonas sobre o infravaloradas en los informes de tasación.

En la aplicación de la metodología a la ciudad de Granada, se observa que la media del valor del suelo catastral es menor que la de las tasaciones. En la distribución espacial de ambas valoraciones hay gran cantidad de puntos de contacto, entre los que se destacan: 1) existe un extenso macizo de valores, que ocupa la parte central de la ciudad, donde se registran valores más elevados que en el resto. Las zonas con un valor del suelo inferior a la media se sitúan fuera de la zona central, en los extremos norte y sur de la ciudad. 2) En el interior del macizo aparecen varios máximos, de lo que se deduce la estructura multicéntrica del valor del suelo en la ciudad. 3) Los valores del suelo disminuyen lentamente si nos alejamos de la zona central en dirección sur, y bruscamente si el alejamiento es hacia el norte, donde se alcanzan los valores más bajos de la capital. ■

## Bibliografía

- CANO GUERVÓS, R. A., CHICA OLMO, J. M. y HERMOSO GUTIÉRREZ, J. A. (1995), «Análisis de la tendencia espacial del valor del suelo urbano a partir de la valoración catastral» en *Actas de la IX Reunión de la Asociación Científico Europea de Economía Aplicada (ASEPELT-España)*, vol. V, págs. 33-43, ASEPELT-España, Universidad de Santiago de Compostela.
- CANO GUERVÓS, R. A., CHICA OLMO, J. M. y HERMOSO GUTIÉRREZ, J. A. (1997a) «Estimación espacial del valor catastral del suelo urbano», en *Actas de la XI Reunión de la Asociación Científico Europea de Economía Aplicada (ASEPELT-España)*, pendiente publicación.
- CANO GUERVÓS, R. A., CHICA OLMO, J. M. y HERMOSO GUTIÉRREZ, J. A. (1997b) «Aplicación de la TVR y el Krigeaje en la estimación del valor de repercusión del suelo de las tasaciones hipotecarias», en *Actas de la XI Reunión de la Asociación Científico Europea de Economía Aplicada (ASEPELT-España)*.
- CANO GUERVÓS, R. A. (1998), *Adecuación y Aplicación de Técnicas Cuantitativas al Análisis del Valor de la Vivienda*, Tesis Doctoral, Editorial Universidad de Granada (publicación en microfichas).
- CGCCT (Centro de Gestión Catastral y Cooperación Tributaria) (1989), *Valoración Catastral Urbana y Actividad Inmobiliaria*, CGCCT, Ministerio de Economía y Hacienda, Madrid.
- CGCCT (1990a), *Estudio de Mercado de Valores Inmobiliarios en el Municipio de Granada*, CGCCT, Gerencia Territorial de Granada Capital, Granada.
- CGCCT (1990b), *Normas Regulatorias del Catastro*, CGCCT, Subdirección General de Estudios y Estadística, Ministerio de Economía y Hacienda, Madrid.
- CGCCT (1990c), *Ponencia de Valores del Término Municipal de Granada*, CGCCT, Gerencia Territorial de Granada Capital, Granada.
- CRESSIE, N. (1991), *Statistics for Spatial Data*, Editorial John Wiley and Sons, Nueva York.
- CHICA OLMO, J. M. (1994), *Teoría de las Variables Regionalizadas. Aplicación en Economía Espacial y Valoración Inmobiliaria*, Biblioteca de Económicas y Empresariales, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Granada.
- CHICA OLMO, J. M. (1995), «Spatial estimation of housing prices and locational rents», en *Urban Studies*, 32, 8, págs. 1331-1344.
- DERYCKE, P. H. (1983), *Economía y Planificación Urbana*, Instituto de Estudios de Administración Local, Madrid.
- DUBIN, R. A. (1992), «Spatial autocorrelation and neighborhood quality», en *Regional Science and Urban Economics*, 22, págs. 433-452.
- JOURNEL, A. G. y HUIJBREGTS, CH. J. (1991), *Mining Geostatistics*, Academic Press, Londres.
- MATHERON, G. (1965), *Les Variables Regionalisées et Leur Estimation*, Editorial Masson, París.
- MATHERON, G. (1970), *La Théorie des Variables Regionalisées et Ses Applications*, Centre de Géostatistique et de Morphologie Mathématique, fas. 1, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris.
- NEUMAN, S. P. y JACOBSON, E. A. (1984), «Analysis of non-intrinsic spatial variability by residual Kriging with application to regional groundwater levels», en *Mathematical Geology*, 16, págs. 499-521.
- ROCA CLADERA, J. (1987), *Manual de Valoraciones Inmobiliarias*, Ariel Economía, Barcelona.
- ROCA CLADERA, J. (1992), «Valor de reposición versus valor de mercado: análisis del concepto «coeficiente de mercados»», en *CI/Catastro*, 13, págs. 9-16.