

Estudios de Economía Aplicada
Nº 13, 1999. Págs. 23-49

Metodología para la zonificación de una ciudad

CANO GUERVÓS, R.
CHICA OLMO, J.
HERMOSO GUTIÉRREZ, J.A.
*Departamento de Economía Aplicada
Universidad de Granada*

RESUMEN

El objetivo de este trabajo consiste en presentar una metodología utilizable para zonificar o dividir una ciudad en zonas homogéneas, empleando como criterio de división las características de las viviendas de la ciudad. La metodología se basa en la utilización del análisis de componentes principales (ACP) dentro de la teoría de las variables regionalizadas (TVR). Además se incluye una serie de técnicas multivariantes para verificar el grado de discriminación alcanzado entre las distintas zonas delimitadas. La explicación teórica es complementada con la aplicación de la metodología de zonificación al caso de la ciudad de Granada.

Palabras clave: Teoría de las variables regionalizadas, Krigeaje residual iterativo, Geoestadística, componentes principales, análisis canónico de poblaciones (funciones discriminantes canónicas), zonificación.

ABSTRACT

The aim of this study is to present a methodology that may be used for zoning, that is, to divide a city into homogeneous zones, using the housing characteristics of the city as the criterion for such a division. The methodology is based on the use of Principal Component Analysis into the Theory of Regionalized Variables. Moreover, it included a series of multivariate techniques to verify the degree of discrimination achieved between the various zones identified. The theoretical description is complemented by the application of this zoning methodology to the case of the city of Granada.

Key words: Theory of Regionalized Variables, Iterative Residual Kriging, principal components, Canonical Discriminant Function Analysis, Zoning.

Código UNESCO: 530224

Artículo recibido el 1 de marzo de 1999. Revisado el 30 de junio de 1999.

1. Introducción

La metodología se fundamenta en la combinación de la técnica multivariante del ACP y la TVR, para llevar a cabo la zonificación de una ciudad en función de las características de las viviendas. Las zonas así delimitadas serán internamente homogéneas, en el sentido de que las viviendas contenidas dentro de cada zona tendrán características similares. Esta zonificación permite definir unas fronteras de forma objetiva y automatizada.

El enlace entre el ACP y la TVR se basa en la aplicación del método de estimación espacial de Krigeaje por bloques sobre la primera componente principal (p.c.p.), obtenida a partir de un conjunto de características de las viviendas de una ciudad. La metodología de zonificación tiene carácter general, en el sentido de que puede ser aplicada sobre cualquier ciudad y sobre otra variable objetivo. No obstante, la utilización de la p.c.p. tiene varias ventajas, que se basan en su definición como la combinación lineal de características que más diferencia entre sí a las viviendas de la ciudad, es decir, la que recoge la mayor cantidad de información. Enumeramos a continuación dichas ventajas, que se irán poniendo de relieve en las siguientes páginas: a) se producen las máximas diferencias en las características de las viviendas pertenecientes a distintas zonas; b) el criterio de división se basa en aquella variable que más información recoge de los datos; c) como en la p.c.p. intervienen todas las características observadas en las viviendas, se evita la arbitrariedad en la que se podría incurrir al tener que elegir una característica, de entre un grupo de ellas, para basar sobre la misma la zonificación de la ciudad.

Como se verá en la aplicación, partiendo de la información aportada por la p.c.p. y utilizando la técnica de Krigeaje por bloques, se pueden delimitar sobre el plano de la ciudad una serie de zonas internamente homogéneas. Finalmente, con objeto de verificar el grado de diferenciación conseguido entre las zonas delimitadas, se propone la utilización del análisis canónico de poblaciones (ACPL) y los contrastes de significación con datos multivariantes.

De esta forma, se llega a una metodología de zonificación basada en un criterio que podríamos denominar mixto, en el sentido de que enlaza el punto de vista geográfico (por ser la localización espacial de las viviendas un aspecto determinante en la TVR), con el punto de vista multivariante (pues la p.c.p. se define a partir de las características de las viviendas).

Se pueden obtener otras zonificaciones dependiendo de cuál sea la variable en función de la que se realiza la división. Así, se podría dividir la ciudad en función de la calidad global de sus viviendas, del precio del suelo urbano, precio de la vivienda, renta familiar, volumen de ventas de los comercios, comportamiento electoral, con-

sumo de energía eléctrica, de agua, o de cualquier otro bien, nivel de equipamiento comercial o educativo, intensidad del tráfico rodado o a pie, nivel de delincuencia, etc.

La importancia de delimitar zonas homogéneas estriba en que se obtienen zonas a las que se les puede aplicar un tratamiento similar. Dado que cada zona obtenida es homogénea respecto de la variable analizada, es lógico tratar a toda la zona de la misma forma (por ejemplo, se puede asignar el mismo valor de tasación medio, los mismos coeficientes fiscales, estrategias de marketing comunes para toda la zona, etc.). La utilidad de esta metodología de zonificación se extiende a campos tan diversos como el de la tasación inmobiliaria, la planificación urbana, la fiscalidad, la sociología electoral, el marketing empresarial, la seguridad ciudadana, etc.

2. Técnicas empleadas en la metodología de zonificación

La metodología propuesta está compuesta por dos partes claramente diferenciadas. La parte fundamental y más novedosa es el procedimiento de zonificación, basado en el análisis de la estructura de autocorrelación de la p.c.p. y su posterior estimación espacial, mediante Krigeaje por bloques. La segunda parte tiene como finalidad controlar la calidad de la zonificación obtenida, en el sentido ya comentado, es decir, verificar el grado de diferenciación existente entre las distintas zonas delimitadas. Las técnicas empleadas en esta segunda parte (ACPL y contrastes multivariantes), al igual que el ACP, son técnicas multivariantes bastante conocidas. Son tratadas en la mayoría de los manuales de análisis multivariante, por lo que consideramos que no requieren mayores explicaciones. Así, nos limitamos a reseñar en la bibliografía alguno de ellos, junto con varios artículos en los que se abordan aspectos más específicos relacionados con este trabajo. Sí ofrecemos, sin embargo, una explicación más detallada de la TVR y del método de Krigeaje, porque en éste se abordan aspectos más novedosos (en concreto, la implementación del Krigeaje residual iterativo en su modalidad de bloques).

2.1. Teoría de las variables regionalizadas (TVR) y Krigeaje residual iterativo (KRI)

La TVR surge en torno a la década de los sesenta y actualmente es un pilar esencial de la Geoestadística. En los últimos años ha sido aplicada en otros ámbitos científicos, como es el de la Economía Urbana (véase Dubin, 1992, Chica Olmo, 1994, y Cano Guervós, 1999). La aplicación del proceso de estimación espacial, basado en la TVR, sobre la p.c.p. requiere la consideración de ésta como variable regionalizada (en adelante, VR) (Matheron, 1970), para lo cual es necesaria la presencia de autocorrelación espacial o dependencia espacial en sus valores. En consecuencia, se requiere que los valores que toma dicha variable para las viviendas de la

ciudad dependan esencialmente de la localización relativa de las mismas, por lo que es de esperar que a medida que las viviendas se encuentren más cercanas tiendan a presentar valores similares. La presencia de dependencia espacial no tiene por qué impedir la existencia de cierto grado de aleatoriedad en los valores de la VR.

La presencia de autocorrelación espacial, motivada por la dependencia entre las características de la vivienda y su localización, justifica la utilización del método de Krigeaje como un instrumento para la estimación espacial y la zonificación. Dependiendo de que la variable analizada presente o no deriva (tendencia a gran escala espacial) se usa Krigeaje universal o Krigeaje ordinario, respectivamente. Dado que en la aplicación que posteriormente se comenta la VR presenta deriva, se usará el enfoque de Krigeaje universal, dentro del cual está la modalidad de KRI.

En el KRI se combina el Krigeaje con el análisis de regresión, engarzando así un método basado en la correlación espacial con otro de naturaleza multivariante. Esta es una vía interesante a explorar en el ámbito de las Ciencias Económicas, donde, generalmente, se busca la relación entre una variable dependiente y varias independientes, pero además se añade la perspectiva de la posible correlación espacial de dichas variables.

El método comienza con el análisis de la estructura espacial de autocorrelación de la VR, observada sobre soportes puntuales (que, en nuestro caso, serían las viviendas muestrales), seguido por la estimación espacial del valor medio asignable a una superficie (bloque) mediante KRI por bloques. El planteamiento del KRI parte de la descomposición de la variable analizada, $Z(s)$, en dos términos (1):

$$Z(s) = m(s) + \sum_{r=0}^T a_r f^r(s) u(s) \quad (1)$$

$Z(s)$ es el valor que toma la p.c.p. (combinación lineal de las características observadas sobre una muestra de viviendas) en la localización s , que está determinada por el par de coordenadas cartesianas (x, y) .

$u(s)$ representa la perturbación aleatoria, con $E[u(s)] = 0$, varianza constante $\text{Var}[u(s)] = v$, y covarianza $\text{Cov}[u(s_i), u(s_j)] = v_{ij}$, para $i \neq j$. Se considera estacionaria de segundo orden¹, y a través de ella se recoge la variabilidad local del fenómeno, por lo que se supone que presenta autocorrelación a pequeña escala (por ejemplo, a una escala que cubre a un barrio de la ciudad).

$m(s)$ es la media no constante o deriva del fenómeno, representativa de la tendencia a gran escala espacial (por ejemplo, a una escala que cubre al conjunto de

1. Se dice que $u(s)$ es estacionaria de segundo orden si su esperanza matemática es constante y finita, y, además, para cada par $u(s), u(s+h)$, la covarianza existe y sólo depende de la magnitud y dirección del vector h (vector distancia que separa dos puntos del plano).

la ciudad). Se considera desconocida y no estocástica, y , en caso de que sea suficientemente regular, podría ser modelizada a través de un polinomio de orden K . Por tanto, $u(s)$ y $m(s)$ recogen la variación de la variable analizada, a pequeña y gran escala espacial, respectivamente.

a_r son coeficientes desconocidos, los parámetros a determinar en el modelo de regresión.

$f^r(s)$ son monomios cualesquiera, conocidos y linealmente independientes, de grado igual o inferior a K ; $f(s)$ los monomios son de la forma $x^p y^q$, con $0 \leq p+q \leq K$.

En la práctica, $m(s)$ es representada generalmente mediante un polinomio de deriva de primer o segundo grado ($K=1, 2$).

$$K = 1, m(x,y) = a_0 + a_1x + a_2y \text{ ————— } \hat{a} \text{ deriva lineal}$$

$$K = 2, m(x,y) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4y^2 + a_5xy \text{ ————— } \hat{a} \text{ deriva cuadrática}$$

La presencia de autocorrelación espacial en las perturbaciones implica que sean ineficientes los estimadores de los parámetros a_r del modelo de regresión si se obtienen por mínimos cuadrados ordinarios (MCO). Bajo estas condiciones, el modelo de regresión ha de ajustarse por mínimos cuadrados generalizados (MCG), proceso mediante el cual se obtienen estimadores ELIO (estimadores lineales insesgados y óptimos), si bien, para ello, se necesita conocer la matriz de covarianzas de las perturbaciones, V , que generalmente es desconocida.

El KRI permite obtener una estimación consistente de V , denominada V^* , y, mediante la sustitución de V por su estimación V^* , obtener estimaciones de dichos estimadores mínimo cuadráticos generalizados (MCGE).

2.2. Estimación espacial bajo el supuesto de que V fuera conocida

El modelo de la ecuación 1 se expresa en forma matricial así (2):

$$\mathbf{Z} = \mathbf{Fb} + \mathbf{u} \quad (2)$$

Z es un vector $n \times 1$, de $Z(s)$.

F es una matriz $n \times T$, donde T es el número de términos del polinomio de deriva. Esta matriz recoge los valores de los monomios $f(s)$. Por ejemplo, si la deriva es cuadrática $T = 6$, y la matriz F sería (3):

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & x_1^2 & y_1^2 & x_1 y_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_n & y_n & x_n^2 & y_n^2 & x_n y_n \end{bmatrix} \tag{3}$$

donde la segunda columna recoge las coordenadas x_i de las n viviendas, la tercera recoge las coordenadas y_i etc.

b es el vector $T \times 1$ de parámetros desconocidos ar.

u es el vector $n \times 1$ de términos de perturbaciones aleatorias.

Por otro lado, se supone que $u(s)$ puede ser caracterizada por medio de su semi-variograma (o función variograma) $\gamma_u(h)$, que se define como $1/2$ de la esperanza de los incrementos cuadráticos de $u(s)$, y cuya expresión es (4):

$$\gamma_u(h) = (1/2)E[u(s+h) - u(s)]^2 \tag{4}$$

donde h es el vector distancia que separa dos puntos del plano. Una característica interesante del variograma es que permite determinar el radio de influencia de los factores que actúan a pequeña escala espacial, es decir, de los factores que causan la aparición de las estructuras de autocorrelación a pequeña escala.

Suponiendo que $u(s)$ es una función estacionaria de segundo orden y $\gamma_u(h)$ es conocida, se pueden obtener los elementos de la matriz de covarianzas de u , V (Neuman y Jacobson, 1984) (5):

$$v_{ij} = C_u(h) = C_u(0) - \gamma_u(h) \tag{5}$$

$$C_u(h) = \text{Cov}[u(s), u(s+h)]$$

$$C_u(0) = \text{Var}[u(s)]$$

$C_u(0)$ se denomina meseta de la función variograma $\gamma_u(h)$. Se define como el valor más alto que puede tomar la función variograma y que, en teoría, cuando la función es estacionaria, debería coincidir con la varianza experimental.

Por otro lado, para estimar b , y obtener así \hat{b} aplicaremos MCG, minimizando (6):

$$\min (\mathbf{Z}\&\mathbf{F}\hat{\mathbf{b}})' \mathbf{V}^{-1} (\mathbf{Z}\&\mathbf{F}\hat{\mathbf{b}}) \tag{6}$$

El estimador MCG de b es (7):

$$\hat{b}' = (F'V^{-1}F)^{-1} F'V^{-1}Z \quad (7)$$

Los residuos MCG del modelo (2) vendrían dados por (8):

$$\hat{u}' = Z - F\hat{b} \quad (8)$$

Una vez realizada la estimación MCG de los coeficientes del polinomio de deriva, el valor de la p.c.p. para la vivienda localizada en s_0 , conocidas sus coordenadas, vendría dado por (9):

$$Z(s_0)' - F_0' b = u(s_0)' - F_0' \hat{b} = \hat{u}(s_0) \quad (9)$$

F_0' es el vector $1 \times T$ que recoge los valores de los monomios $f'(s_0)$, obtenidos a partir de las coordenadas del punto s_0 , que es el punto donde se desea predecir el valor de Z .

\hat{b} es el vector $T \times 1$ de estimaciones MCG de los coeficientes a_r .

$\hat{u}(s_0)$ es el residuo MCG en s_0 .

Puesto que $\hat{u}(s_0)$ es desconocido se sustituirá por el estimador de Krigeaje, que se define como una media ponderada de los datos disponibles (10):

$$\hat{u}_k(s_0)' = \sum_{i=1}^{n_k} \lambda_i \hat{u}(s_i) \quad (10)$$

$\hat{u}_k(s_0)$ es la estimación por Krigeaje de $\hat{u}(s_0)$.

n_k representa el número de viviendas localizadas próximas a la vivienda s_0 .

λ_i son los pesos de Krigeaje.

$\hat{u}(s_i)$ son los residuos MCG.

De esta forma se obtiene el predictor lineal, insesgado y óptimo (PLIO) de $Z(s_0)$ (Christensen, 1987), que se recoge en la ecuación (11):

$$\hat{Z}_k(s_0)' = F_0' \hat{b} + \sum_{i=1}^{n_k} \lambda_i \hat{u}(s_i) = F_0' \hat{b} + \hat{u}_k(s_0) \quad (11)$$

$\hat{Z}_k(s_0)$ es el estimador de Krigeaje residual.

Los pesos λ_i se obtienen bajo las condiciones de que el estimador de Krigeaje ha de ser insesgado y la varianza del error de estimación ha de ser mínima². Ello conduce a la minimización de un Lagrangiano, derivándolo con respecto de los pesos λ_i y de μ (multiplicador de Lagrange), y al sistema de ecuaciones del KRI puntual (12):

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{n_k} \lambda_j \gamma_{ij} + \mu = \gamma_{i0} & \text{para } i, j = 1, \dots, n_k \\ \sum_{j=1}^{n_k} \lambda_j = 1 \end{cases} \quad (12)$$

$\gamma_{ij} = \gamma_{\hat{u}}(s_i - s_j)$ es el valor del variograma de los residuos MCG entre los puntos experimentales s_i y s_j .

$\gamma_{i0} = \gamma_{\hat{u}}(s_i - s_0)$ es el valor del variograma de los residuos MCG entre los puntos s_i y s_0 .

2.3. Estimación espacial cuando V es desconocida

Hasta este punto se ha venido suponiendo que disponíamos de la matriz de covarianzas de las perturbaciones, V. Pero lo habitual es que sea desconocida, al serlo las perturbaciones. Para obtener la estimación V^* se propone el siguiente procedimiento iterativo (Neuman y Jacobson, 1984, pp. 505):

1ª etapa: si $Z(s)$ no es estacionaria, antes de intentar obtener V^* se debe determinar el orden del polinomio de deriva (K), para lo cual se va incrementando K hasta que el variograma residual sea isótropo y estacionario. En esta etapa los residuos \hat{u} se obtienen ajustando el modelo (1) por MCO, es decir, como si las perturbaciones u estuvieran incorrelacionadas.

2ª etapa: si $Z(s)$ era inicialmente estacionaria o, no siéndolo, ya se ha determinado el orden de la deriva, se puede estimar V a través de su relación con el variograma (13):

$$v_{ij} = C_{\hat{u}}(h) - C_{\hat{u}}(0) + \gamma_{\hat{u}}(h) \quad (13)$$

2. Teniendo en cuenta la localización espacial relativa de los datos experimentales y las características estructurales de la VR, el Krigeaje asigna pesos fuertes a los valores de las viviendas geográficamente más próximas al punto donde se realiza la estimación, y pesos débiles a las más alejadas de éste, sin considerar los valores que tome la variable en dichas viviendas. Esta norma podría verse modificada e incluso incumplida, en función de las características particulares de variabilidad del fenómeno (por ejemplo, en el caso de comportamiento anisotrópico).

$C_{\hat{u}}(h)$ es el valor de la covarianza existente entre aquellos pares de residuos mínimo cuadráticos que se encuentran a una distancia h entre sí.

$C_{\hat{u}}(0)$ es la meseta del variograma de los residuos mínimo cuadráticos, por lo que es el mayor valor alcanzado por el variograma estacionario.

$\gamma_{\hat{u}}(h)$ representa el variograma de los residuos mínimo cuadráticos.

Tras estimar V , se obtiene una primera estimación MCGE del vector de coeficientes, b , y del vector de las perturbaciones, u . A partir de estos residuos, se calcula un nuevo variograma residual y nuevas estimaciones de b y u . El proceso iterativo finaliza cuando los valores del variograma y los coeficientes del polinomio de deriva se estabilizan.

Una vez obtenida la estimación V^* , en las expresiones del apartado anterior se sustituye V por V^* , procediendo a continuación a realizar el proceso de estimación espacial, de forma análoga a la explicada en dicho apartado.

El variograma de los residuos de la ecuación (13) se obtiene mediante el ajuste de un modelo de variograma al variograma experimental, calculándose este último mediante su estimador insesgado, $\gamma_{\hat{u}}(h)$, definido por Matheron (1965) (14):

$$\gamma_{\hat{u}}(h_{\alpha}) = \frac{1}{2NP(h_{\alpha})} \sum_{i=1}^{NP(h_{\alpha})} [\hat{u}(s_i + h_{\alpha}) - \hat{u}(s_i)]^2 \quad (14)$$

$\hat{u}(s_i)$, $\hat{u}(s_i + h_{\alpha})$ son los residuos en las localizaciones s_i y $s_i + h_{\alpha}$.

$NP(h_{\alpha})$ es el número de pares situados a una distancia entre sí h_{α} .

α es la dirección sobre el plano.

2.4. Krigeaje residual iterativo por bloques

Para zonificar la ciudad se requiere estimar por zonas o bloques, para lo cual utilizaremos el método de Krigeaje por bloques. Éste permite realizar la estimación de la VR sobre bloques, a partir de observaciones obtenidas sobre puntos, proceso conocido como regularización. Normalmente un bloque vendrá dado por una superficie o un volumen; en nuestro caso, el bloque es la superficie contenida en cada una de las celdillas cuadradas de 400×400 metros, que componen una malla que cubre la ciudad.

En este apartado se va a utilizar la siguiente cualidad de la VR: una vez que se conocen las características estructurales de variabilidad de la VR sobre un determinado soporte (en nuestro caso, soporte puntual), se pueden deducir las características de la nueva VR, obtenida al cambiar el tamaño del soporte (en nuestro caso es

una superficie o bloque). Así, por ejemplo, a partir de observaciones de la VR p.c.p. en viviendas puntuales localizadas en el plano, se puede estimar el valor medio de la VR sobre una superficie mediante Krigeaje por bloques, lo cual va a ser utilizado para zonificar la ciudad.

El método de KRI por bloques se expone sucintamente, puesto que es la combinación del KRI, ya explicado, y el Krigeaje por bloques, por lo que sólo se detallarán las adaptaciones que haya que realizar en el KRI.

Vamos a denominar u_B a los valores medios de la perturbación aleatoria sobre los bloques, cada uno de los cuales tiene un área igual a B unidades (15):

$$u_B = \frac{1}{B} \int_B u(s) ds \tag{15}$$

A continuación, vamos a obtener el sistema de ecuaciones de KRI por bloques. Se parte del conocimiento de n valores experimentales de la p.c.p., Z(s), en los puntos del plano $s_1, \dots, s_i, \dots, s_n$, obteniendo para cada uno de ellos el residuo, $\hat{u}(s_i)$, mediante la ecuación (8). Para estimar el valor de la perturbación autocorrelacionada en el bloque, u_B , utilizamos el estimador de KRI por bloques, \hat{u}_{kB} (16):

$$\hat{u}_{kB} = \int_1^{n_k} \lambda_i \hat{u}(s_i) \tag{16}$$

n_k es el número de viviendas utilizadas para llevar a cabo la estimación espacial en el bloque B (concretamente, las n_k más cercanas al punto central del bloque B). λ_i son los pesos de Krigeaje.

El sistema de ecuaciones de KRI por bloques es (17):

$$\begin{cases} \int_1^{n_k} \lambda_j \gamma_{ij} \hat{u}(s_j) = \gamma_{iB} & \text{para } i, j = 1, \dots, n_k \\ \int_1^{n_k} \lambda_j = 1 \end{cases} \tag{17}$$

$\gamma_{ij} = \gamma_{\hat{u}}(s_i - s_j)$ es el valor del variograma de los residuos MCG entre los puntos experimentales s_i y s_j .

$\gamma_{iB} = \frac{1}{B} \int_B \gamma_{\hat{u}}(s_i - s) ds$ representa el valor medio del variograma de los residuos MCG entre el punto s_i y el punto que recorre o discretiza el bloque B.

Para estimar el valor de la p.c.p. en el bloque B, \hat{Z}_{kB} , es necesario sumar la estimación mediante KRI por bloques del residuo MCG, \hat{u}_{kB} , más el valor que toma el modelo de regresión polinómica de la deriva (ajustado por MCG) en el punto central del bloque B (18):

$$\hat{Z}_{kB} = F'_B \hat{b} + \hat{u}_{kB} \quad (18)$$

\hat{Z}_{kB} es el estimador de KRI por bloques.

F'_B es el vector $1 \times T$ que recoge los valores de los monomios $f'(s_B)$, obtenidos a partir de las coordenadas del punto s_B , que es el punto central del bloque B.

$F'_B \hat{b}$ es la estimación MCG de la deriva que presenta la p.c.p.

\hat{u}_{kB} es la estimación mediante KRI por bloques del residuo MCG en el bloque B.

El resto del proceso de estimación se llevaría a cabo de forma similar a la indicada en el apartado 2.3.

3. Aplicación: zonificación de una ciudad en función de las características de sus viviendas

3.1. Información disponible

Los datos han sido proporcionados por la Junta de Andalucía y proceden de una encuesta realizada en 1991. Se trata de una muestra del mercado inmobiliario de la ciudad de Granada, compuesta por 298 viviendas plurifamiliares de segunda mano, lo cual representa el 40% de las ventas registradas de este tipo de bien urbano durante el citado año. La localización en el plano de las viviendas muestrales se recoge en la Figura 1. De entre el numeroso conjunto de variables observadas, han sido incluidas en el ACP las trece siguientes:

SUP_C_VIV: superficie construida de la vivienda (en m²).

HABITAC: número total de habitaciones (excluidas la cocina, baños y aseos).

AMPLITUD: cociente entre SUP_C_VIV y HABITAC; mide la amplitud o espaciosidad de las habitaciones, por lo que es un indicativo del nivel de habitabilidad de la vivienda y, por tanto, de la calidad de la misma.

ANTIGÜEDAD: diferencia entre 1991 y el año de edificación.

CONSERVACIÓN: estado de conservación del inmueble; toma los valores 1 (bueno) y 2 (malo).

ESPARC: áreas de ocio y esparcimiento; se acumulan de 0 a 6 puntos en función de que la vivienda disponga de áreas de recreo (piscina, pista deportiva o jardín).

Si el área de recreo es compartida con otras viviendas se le asigna 1 punto, y si es privada, 2 puntos.

COEFEXTER: coeficiente de exterioridad; se asignan 3 puntos a las viviendas exteriores, 2 a las interiores de manzana y 1 a las interiores de parcela. Esta valoración se matiza más, pues a la puntuación anterior se le suma el cociente entre el número de habitaciones que tienen ventanas en la fachada y el número total de habitaciones (HABITAC).

BAÑOPORDORM: número de baños por dormitorio; cociente del número de baños y aseos de la vivienda entre el número de dormitorios; por cada baño se le asigna a la vivienda 1 punto y por cada aseo 0'6. Es un indicador objetivo de la calidad de la vivienda.

DISTANCIA2: accesibilidad, medida como la suma de las distancias a dos centros neurálgicos de la ciudad; uno es el centro comercial y de negocios (CCN) tradicional (Puerta Real) y otro es el CCN moderno (Plaza Einstein) (Figura 1).

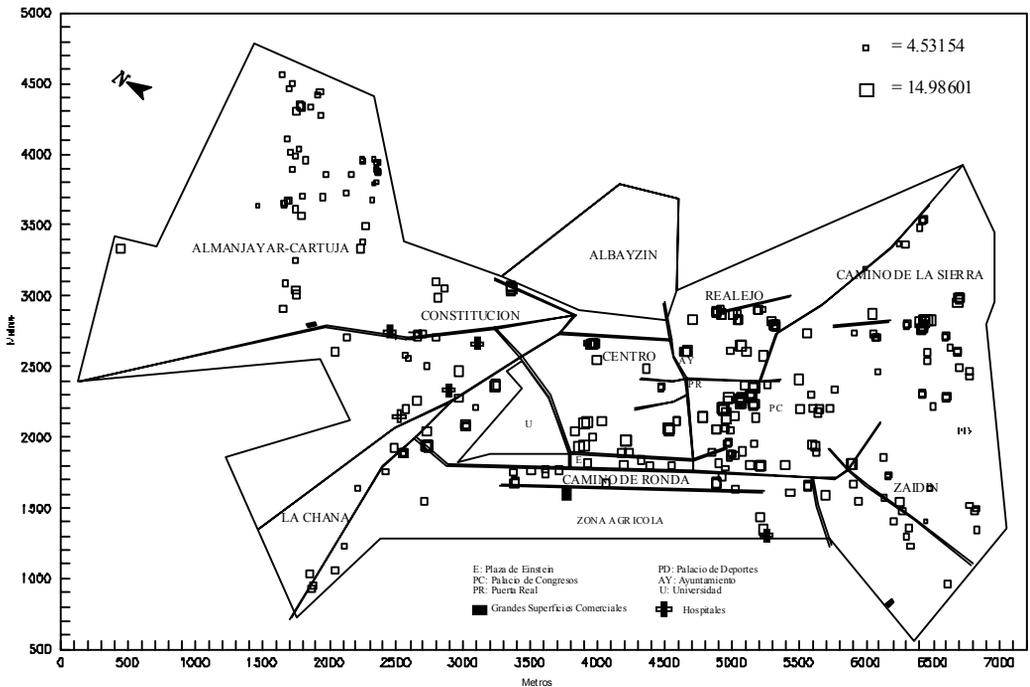


Fig. 1.: Localización de las viviendas, con símbolos de tamaños proporcionales a los valores de la calidad global de la vivienda.

CAL_ZONA: calidad de las características de la zona. Se evalúan características de la zona donde se encuentra la vivienda, entre las que cabe citar: nivel de servicios públicos y privados, equipamiento comercial, dotación educativa, sanitaria y de ocio, infraestructuras de transporte y comunicaciones, status socioeconómico, delincuencia, problemas de convivencia social, etc.

CAL_UBICA: calidad de la ubicación de la vivienda dentro de la zona. Se evalúa la influencia de las características enumeradas en el párrafo anterior, pero ahora a nivel microlocalizativo.

CAL_EDIF: calidad del edificio. Se evalúan las características constructivas o estructurales del edificio en el que se halla la vivienda.

CAL_VIV: calidad de la vivienda. Se evalúan las características constructivas de la vivienda muestral, incluyendo las posibles mejoras.

La asignación de los valores de las cuatro últimas variables ha sido supervisada por los técnicos de valoración inmobiliaria de la Junta de Andalucía. Estas variables pueden tomar los siguientes valores: 5 (calidad muy buena), 4 (buena), 3 (regular), 2 (mala) y 1 (muy mala).

Aunque no se han incluido como variables activas en el ACP, otras variables que van a ser consideradas más adelante son:

PRECIOM2C: precio de la vivienda por metro cuadrado construido.

x: coordenada cartesiana de las viviendas muestrales en el eje de abscisas (en metros).

x^2 : la variable anterior elevada al cuadrado.

y: coordenada cartesiana de las viviendas en el eje de ordenadas (en metros).

y^2 : la variable anterior elevada al cuadrado.

xy: es el producto de la coordenada x por la y.

3.2. Resultados del ACP

Tras realizar el ACP sobre la tabla de datos, que consta de $n = 298$ filas (viviendas) y $p = 13$ columnas (variables), se ha observado que la p.c.p. recoge el 33% de la cantidad de información de la tabla. La zonificación se ha basado en la p.c.p., que es la combinación de variables que mejor resume al conjunto de variables observadas. Como se muestra en el círculo de correlaciones (Figura 2), las variables con mayor peso en la p.c.p. hacen referencia a las calidades constructivas (calidad del edificio y de la vivienda, amplitud de las habitaciones y número de baños por dormitorio) y a las calidades localizativas (calidad de zona y de ubicación). Con un menor grado de correlación, y de signo opuesto a este primer grupo de variables, se encuentran la antigüedad y el estado de conservación de la vivienda (valores altos indican mala conservación), además de la distancia desde la vivienda a los dos CCN. Teniendo en cuenta que la p.c.p. es una combinación lineal de características de las viviendas en la que tienen un mayor peso las calidades constructivas y localizativas, puede ser interpretada como un índice de la *calidad global de la vivienda*. Dado que es la variable más discriminante, se puede afirmar que el factor que marca las mayores diferencias entre las viviendas que componen la muestra es su calidad global, enten-

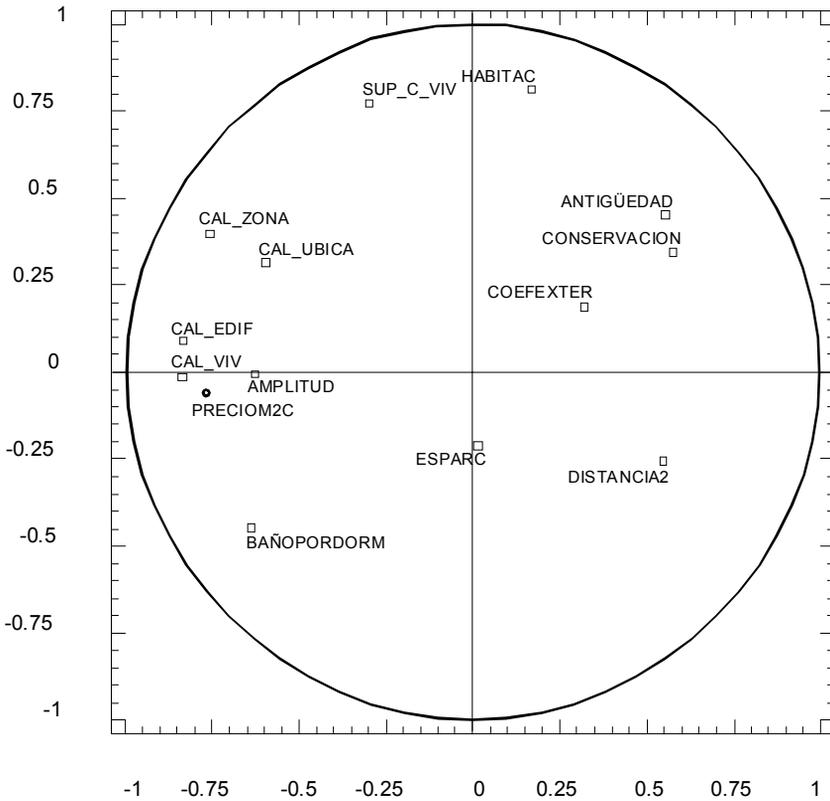


Fig. 2: Círculo de correlaciones. Eje de abscisas = primera componente principal; eje de ordenadas = segunda componente principal.

didada como una combinación especial de calidades constructivas y localizativas. Por tanto, el factor calidad global permite clasificar las viviendas con una discriminación máxima entre sí a lo largo del primer eje, situándose a la derecha los inmuebles con menor calidad global y a la izquierda los de mayor calidad³. De este modo, se llega a un criterio de clasificación de las viviendas sencillo de aplicar, pues sólo depende del mayor o menor valor que tome la p.c.p. para cada una de las viviendas, pero, al mismo tiempo, es un criterio rico en información, pues en él se tienen en cuenta todas las variables observadas, unas en mayor medida que otras.

Otros resultados reseñables de la aplicación del ACP son:

- a) Tras incluir en el círculo de correlaciones PRECIOM2C, como variable suplementaria (no activa), se observa su fuerte correlación con las calidades cons-

3. La calidad global aumenta de derecha a izquierda, como consecuencia de que el algoritmo de diagonalización de la matriz de correlaciones ha orientado el eje de esta forma.

tructivas y localizativas y, por tanto, con la calidad global de la vivienda. Esta fuerte asociación era de esperar, ya que, generalmente, los precios de los bienes urbanos vienen a ser la valoración monetaria o cuantificación de la calidad global de éstos, en la que se combinan características dependientes de la localización, junto con características constructivas de la vivienda. Dicha asociación respalda la interpretación de la p.c.p. como una medida de la calidad global de la vivienda.

- b) De la fuerte correlación positiva entre calidades localizativas y constructivas se deduce, como también era de esperar, que las mejores zonas de la ciudad desde el punto de vista urbanístico coinciden con aquéllas en las que se construye con buenas calidades, mientras que es difícil encontrar alta calidad constructiva en zonas de baja calidad localizativa.
- c) De la oposición entre la variable DISTANCIA2 y las calidades constructivas y localizativas se deduce que conforme aumenta la distancia a la zona central de la capital (donde se sitúan los dos CCN) y se entra en los barrios periféricos, las calidades constructivas y localizativas van disminuyendo (y, consecuentemente, también lo hace la calidad global de las viviendas).
- d) Las calidades constructivas altas predominan en viviendas de reciente construcción y buena conservación; sin embargo se da una correlación prácticamente nula entre antigüedad de la edificación y calidades localizativas. En esta ciudad la antigüedad es un buen indicador de la calidad del edificio y de la vivienda, pero no así de la de su entorno.

3.3. *Análisis espacial de la calidad global de la vivienda*

La aplicación del método de Krigeaje requiere del análisis previo de la estructura de autocorrelación del fenómeno bajo estudio (que, en este caso, es la p.c.p., como una medida de la calidad global de la vivienda), que permite detectar la presencia de dependencia espacial en sus valores. El fundamento teórico que justifica la presencia de autocorrelación espacial en los valores de la variable calidad global de la vivienda, es el mismo que el que justifica su presencia en la formación espacial del valor de los bienes urbanos, ya que, como se comentó más arriba, la valoración monetaria de los bienes urbanos refleja la calidad global de los mismos⁴. En conclusión, la calidad global de la vivienda, sobre la que se sustenta la valoración monetaria de estos bie-

4. La base teórica a la que se ha hecho referencia se apoya en los siguientes conceptos: proximidad entre localizaciones, efecto atracción/repulsión entre usos y utilizadores, transmisión de la información entre los utilizadores, efecto del contagio espacial y crecimiento centrífugo (véase Chica Olmo, 1994, pp. 79-102).

nes urbanos, podría considerarse como una VR y, por tanto, aplicar sobre ella la metodología de la TVR.

La información experimental de la que se parte es el valor que toma la calidad global de la vivienda (p.c.p.) para cada una de las 298 viviendas de la muestra (Figura 1). Para facilitar la interpretación de los resultados se ha cambiado el signo de la p.c.p., de tal forma que los valores altos y positivos correspondan a las viviendas de mayor calidad global. Además, para que todos los valores fueran positivos se ha efectuado un cambio de origen de 10 unidades. La estructura espacial de los valores de la p.c.p., que es lo realmente importante para llevar a cabo la zonificación, pues el valor en sí no significa nada, permanece absolutamente inalterada.

El estudio de la estructura de autocorrelación de la calidad global de la vivienda se lleva a cabo a través de su variograma (Figura 3). De la forma creciente del variograma experimental medio se deduce que los valores de la calidad global de la vivienda no se encuentran distribuidos sobre el plano de la ciudad de forma aleatoria, sino que se hallan correlacionados espacialmente, por lo que éstos dependen esencialmente de su localización relativa. Así, el grado de correlación espacial es más alto (y, por tanto, el valor del variograma más bajo) entre viviendas que se encuentran próximas (que se corresponden con valores de h bajos), para las cuales la calidad global tiende a ser

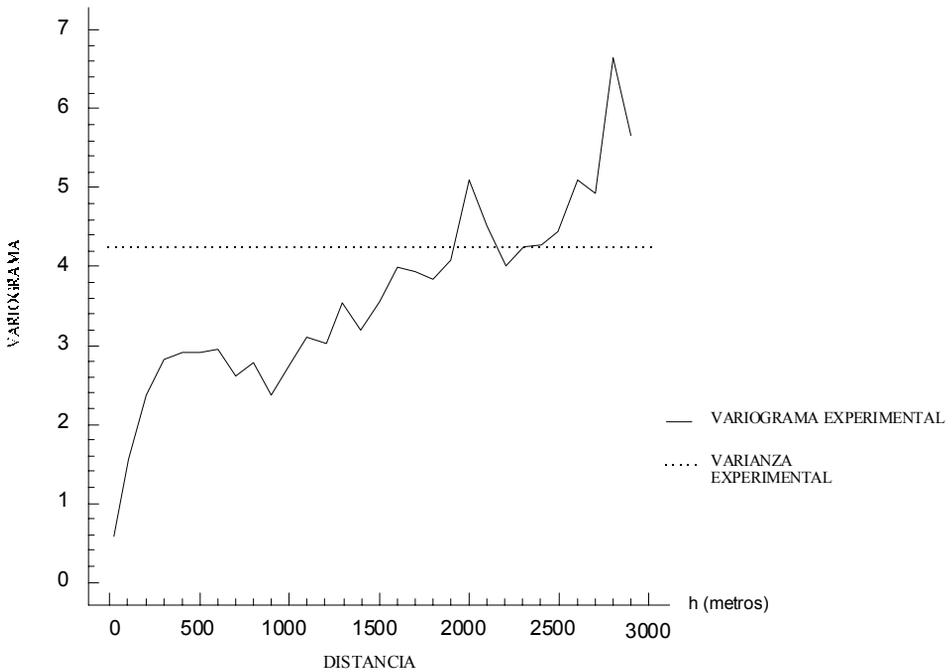


Fig. 3: Variograma de la calidad global de la vivienda.

similar. Por el contrario, la similitud en la calidad global va disminuyendo a medida que aumenta la distancia que separa las viviendas entre sí (es decir, los valores del variograma aumentan conforme lo hace h). La presencia de autocorrelación espacial justifica la aplicación del estimador espacial de Krigeaje.

La calidad global de la vivienda es una variable con media no estacionaria, es decir, que presenta deriva, como se deduce del crecimiento del variograma por encima de la varianza experimental de los datos, lo cual justifica la aplicación de la modalidad del KRI. El modelo de regresión polinómica de orden 2 es el que consigue la estacionariedad del variograma de los residuos MCO, luego se trata de un caso de deriva cuadrática (véase la Figura 4). Ello indica que la tendencia a gran escala de la calidad global de la vivienda presenta un máximo, y, a medida que nos alejamos de éste, los valores van disminuyendo. Los residuos MCO ya no adolecen del problema de la deriva puesto que su variograma es estacionario, pero siguen presentando autocorrelación espacial a una escala de variabilidad menor. Ello se observa en la forma del variograma, que va creciendo conforme la distancia entre las viviendas es mayor.

En el proceso de estimación espacial se van a utilizar los residuos MCGE, cuya estimación es eficiente. Tras dos iteraciones aplicando MCGE⁵, el variograma residual converge a una forma estable, coincidiendo prácticamente los dos variogramas, razón por la cual sólo se ha representado el obtenido en la primera iteración (Figura 4). También son prácticamente coincidentes las estimaciones de los coeficientes de los modelos de regresión MCGE de la primera y segunda iteración (las diferencias entre ellos son inferiores al 1'5%). Por tanto, sólo es necesaria una iteración para conseguir la estabilización del variograma residual y de los coeficientes del polinomio de deriva.

A la vista de la forma del variograma experimental, el modelo ajustado en la primera iteración MCGE ha sido el esférico, con los siguientes parámetros: inexistencia de efecto pepita: $C_0=0$; meseta: $C=2'696$; alcance: $a=267'238$ metros (véase la Figura 4). De la inexistencia de efecto pepita se deduce que en el origen (es decir, para viviendas infinitamente próximas) la calidad global tiene un comportamiento bastante regular, con pocas distorsiones locales. El alcance representa la distancia que delimita el radio de influencia de los factores microlocalizativos que afectan a la calidad global de la vivienda de esta ciudad. A partir de esa distancia (267'238 metros) se supone que la variable tiene un comportamiento aleatorio, al haberse elimi-

5. En cada iteración, al variograma experimental medio de los residuos se le ajusta un modelo de variograma teórico. A partir de cada modelo se obtiene una estimación de V , que es utilizada en la siguiente iteración para obtener unos nuevos residuos. Evidentemente, para llevar a cabo la primera iteración por MCGE, es necesario partir del modelo de variograma ajustado a los residuos MCO, que proporciona la estimación de V que será utilizada en la primera iteración MCGE.

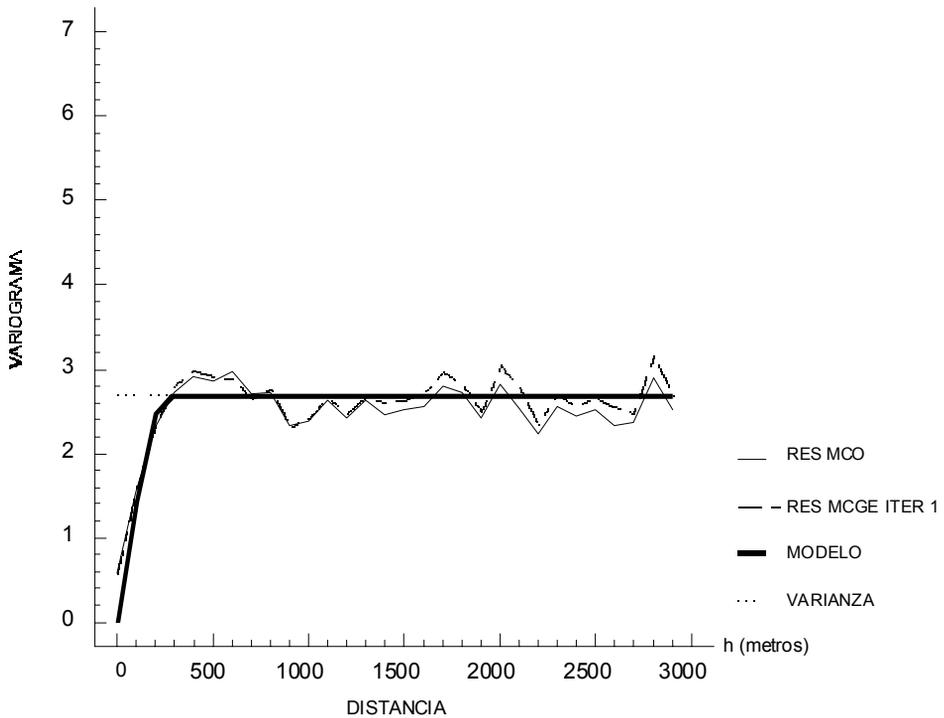


Fig. 4: Variogramas de los residuos MCO y MCGE.

nado previamente la influencia de la variabilidad espacial a gran escala, mediante el filtrado de la deriva.

El modelo de regresión ajustado a la calidad global de la vivienda (CGV) en la primera iteración MCGE ha sido:

$$\begin{aligned}
 \hat{CGV} = & 3'627743 + 0'002 x + 0'002518 y - 2'406 \cdot 10^{-7} x^2 - 5'854 \cdot 10^{-7} y^2 + 1'92 \cdot 10^{-8} xy \\
 & (1'15) \quad (2'13) \quad (1'30) \quad (-2'56) \quad (-1'88) \quad (0'12)
 \end{aligned}$$

El coeficiente de determinación es $R^2=0'72$. En cuanto a la significación de las variables que recogen la deriva, los valores de los estadísticos t de Student (entre paréntesis) deben ser tomados con precaución, debido a que la presencia de autocorrelación espacial en los residuos resta validez a los contrastes sobre los coeficientes. Aun así, se observa que las variables más significativas son la coordenada x y la x^2 . De ello se deduce que la dirección más importante en la tendencia a gran escala espacial de la calidad global de la vivienda en la ciudad es la noroeste-sureste. Esta dirección de la deriva recorre longitudinalmente la ciudad de Granada (que

tiene una forma rectangular muy alargada), y es ésta también la dirección de las calles más importantes de la ciudad.

3.4. Estimación espacial de la calidad global de la vivienda

Las observaciones vienen dadas en el soporte de viviendas puntuales, pero se desea estimar el valor medio de la calidad global de la vivienda sobre los bloques, por lo que es preciso realizar un cambio de soporte. A partir de los residuos MCGE de las viviendas de la muestra se puede realizar la estimación de los residuos en cualquier lugar del plano en el que se esté interesado; en nuestro caso, se lleva a cabo la estimación espacial de los residuos sobre los bloques, mediante el método de KRI por bloques. A continuación, tal como indica la ecuación (18), a estas estimaciones espaciales de los residuos se les suma el valor que toma el modelo de regresión polinómica de la deriva en el punto central de cada bloque, obteniendo así la estimación del valor medio de la calidad global de la vivienda en cada bloque. De esta forma, a partir de la información puntual de las viviendas de la muestra, se infiere al conjunto de viviendas contenidas en cada uno de los bloques considerados, por lo que se presume que cada bloque constituye un área homogénea en cuanto a la calidad global de las viviendas que contiene. Por tanto, la estimación final de la calidad global de la vivienda es el resultado de un proceso en el que se tiene en cuenta su variabilidad a gran escala espacial, por medio de la deriva, y su variabilidad a una escala espacial menor, por medio del Krigeaje de los residuos.

En este trabajo se muestran los resultados obtenidos en la estimación de la calidad global de la vivienda en los 93 bloques de 400×400 m (160.000 m² de superficie) en los que se ha dividido la ciudad de Granada. Para hacer la estimación en un bloque se han utilizado las 24 viviendas más próximas a su punto central. La calidad global no viene medida en unidades monetarias, por lo que el valor asignado a cada bloque no tiene significado en sí mismo, sino que éste lo adquiere al ponerlo en relación con los valores de los demás bloques.

El rango de la variable objetivo (calidad global de la vivienda estimada mediante KRI por bloques) se ha dividido en los cuatro tramos delimitados por los cuartiles, de tal forma que cada tramo contiene, aproximadamente, el mismo número de bloques y, por tanto, cada tramo ocupa la misma extensión en la ciudad. Posteriormente, se asigna un mismo tipo de sombreado a todos los bloques pertenecientes a un tramo. Las viviendas contenidas en bloques del mismo sombreado se pueden considerar similares en cuanto a su calidad global, pudiendo estar dichos bloques situados de forma contigua en el plano o no. Por el contrario, las viviendas situadas en bloques de distinto sombreado se consideran diferentes en cuanto a su calidad global, aunque dichos bloques estén contiguos en el plano. A continuación, se procede a la

agrupación de aquellos bloques que sean contiguos y que tengan igual sombreado, obteniéndose la zonificación que se recoge en la Figura 5. De esta manera, la ciudad queda dividida en cuatro "barrios", formados por la unión de todas aquellas zonas cuyas viviendas tengan calidades similares, aunque estas zonas no se encuentren contiguas en el plano. Debe subrayarse que se trata, por tanto, de un concepto de barrio diferente al tradicional, que está marcado por la sola idea de la contigüidad.

Los barrios así obtenidos han sido numerados en orden creciente respecto de la calidad global de sus viviendas, por lo que el barrio 1 (el de sombreado más tenue) corresponde a aquellas zonas de la ciudad en las que el valor estimado de la calidad global de sus viviendas es menor o igual al primer cuartil, es decir, el barrio de menor calidad, mientras que el barrio 4 (el de sombreado más oscuro) es el de mayor calidad global de la vivienda y sus bloques toman valores por encima del tercer cuartil.

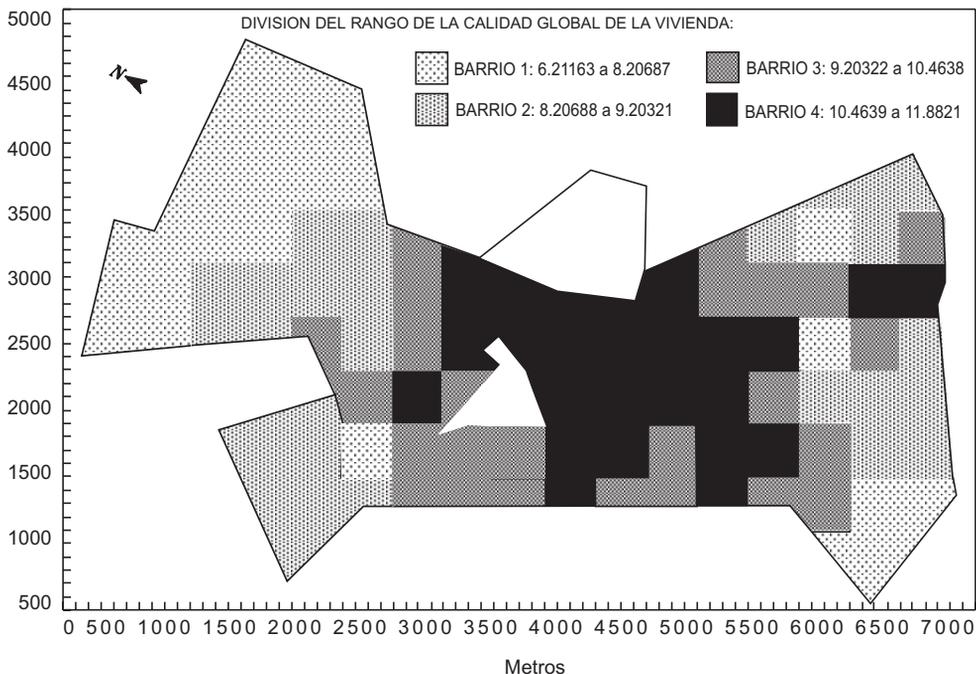


Fig. 5: Zonificación de la ciudad en función de la calidad global de la vivienda.

3.5. Comentarios sobre la zonificación

La zonificación obtenida es el resultado de la división de la ciudad en barrios homogéneos en cuanto a la calidad global de las viviendas, a partir de la información suministrada por las viviendas que componen la muestra. La zonificación permite

observar la distribución de la calidad global de la vivienda sobre el espacio urbano y delimitar las zonas cuyas viviendas tienen mayores o menores calidades. Los factores que explican la distribución espacial de la variable tienen una doble naturaleza, que también se encuentra en la propia definición de la calidad global: por un lado, influyen las características más ligadas a la localización y, por otro lado, las características constructivas de la vivienda. Este conjunto de variables influye positivamente en unas zonas y negativamente en otras, haciendo sentir sus efectos en la calidad global, que es un resumen ponderado de la influencia de todas ellas.

Así, se pone de manifiesto que el método de zonificación se basa en un criterio mixto, como se dijo al comienzo, pues tiene en cuenta tanto la localización relativa de las viviendas como la calidad global (localizativa y constructiva) de las mismas. También el propio método se puede calificar como mixto, pues combina la metodología multivariante con la de estimación espacial.

En la distribución geográfica de los barrios se observa que la parte central de la ciudad está ocupada por el barrio de mayor calidad (barrio 4). Éste se halla flanqueado por el de calidad media-alta (barrio 3). El barrio 3 es una especie de colchón o zona de transición hacia las zonas incluidas dentro del barrio de calidad media-baja (barrio 2). Estos dos últimos barrios presentan entrelazamientos, sobre todo en el sudeste y sur de la capital, por lo que aquí se aprecia mayor diversidad de calidades de la vivienda. El barrio 1, el de menor calidad global de la vivienda, aparece polarizado en dos extremos: en la periferia sur y, sobre todo, en la periferia norte. Por tanto, el potencial comprador de una vivienda de calidad similar a la vivienda media del barrio 1 ó 2, que podrían identificarse con las viviendas sociales, ha de restringir su búsqueda a las localizaciones más periféricas.

Posteriormente, se ha procedido a la clasificación de las 298 viviendas muestrales en función del barrio al que pertenecen. Se ha determinado que 60 viviendas pertenecen al barrio 1, 33 al 2, 74 al 3 y 131 al 4. El barrio de calidad global alta (barrio 4), que, al igual que los demás barrios, ocupa una cuarta parte de la extensión de la ciudad, contiene casi el 45% de las viviendas de la muestra, y unido al barrio 3, de calidad media-alta, acumulan casi el 70% de las mismas. De ello puede deducirse que en el momento en que se tomaron los datos, el mercado inmobiliario estaba dominado por las viviendas de calidad global alta o media-alta.

4.1. Aplicación del ACPL

La aplicación del ACPL y de los contrastes multivariantes tiene como objetivo comprobar el grado de discriminación que se ha alcanzado entre los barrios delimitados en la zonificación. Para ello, la muestra de viviendas ha sido dividida en cuatro grupos, que se corresponden con cada uno de los cuatro barrios obtenidos. Tras

realizar el ACPL se observa que la primera variable canónica (definida como la combinación lineal de variables que logra la mayor heterogeneidad o separación entre los barrios) recoge el 88'70% del total de variabilidad entre los barrios, por lo que centraremos la atención en ella (además, entre las dos primeras, generadoras del plano canónico, recogen el 97'73% del total de la variabilidad). Del análisis de las correlaciones se deduce que las características de la vivienda que tienen mayor peso en la interpretación de la primera variable canónica son, por este orden: distancia a los dos CCN y calidad de zona, y, con una influencia algo menor, el resto de las variables referidas a las calidades de las viviendas. Así, el ACPL pone nuevamente de relieve que el criterio de zonificación puede calificarse como mixto, pues tiene en cuenta tanto el aspecto geográfico de la localización espacial de la vivienda como la calidad global de la misma.

En la Figura 6 se muestra la representación canónica de las regiones de confianza asociadas a las viviendas medias de cada uno de los cuatro barrios. No se produce ningún solapamiento entre las regiones de confianza, lo cual es una prueba de que el criterio mixto de zonificación consigue un alto grado de discriminación.

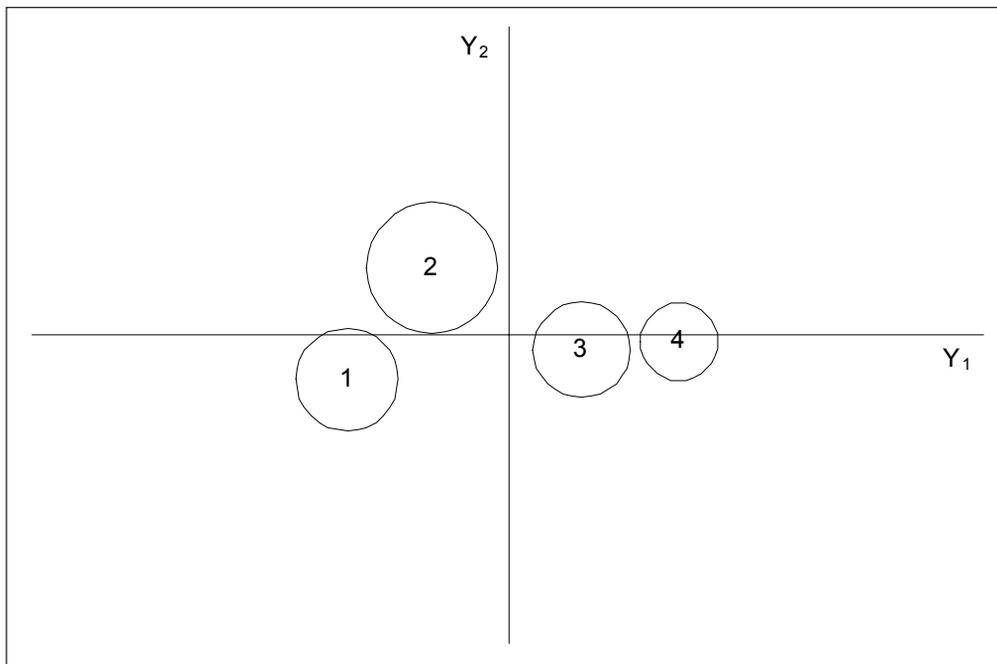


Fig. 6: Regiones de confianza de los barrios. Y_1 = primera variable canónica;
 Y_2 = segunda variable canónica.

4.2. Aplicación de los contrastes multivariantes

Se han aplicado los contrastes multivariantes de valores medios (acompañados de los de desviaciones) sobre las viviendas que componen la muestra del mercado inmobiliario, dividida en los cuatro barrios. La información que se ha introducido en los contrastes no son las variables originales, sino las componentes principales. Esto es, se van a contrastar los valores que toman las componentes 1, 2, 3, etc. en las viviendas de un determinado barrio frente a los valores que toman estas componentes en las viviendas de otro barrio (sobre las ventajas de utilizar las componentes, en lugar de las variables originales, véase Cano Guervós, Chica Olmo, Hermoso Gutiérrez, 1997).

En los contrastes sobre los vectores de medias de los barrios se pretende verificar si se sigue manteniendo la diferenciación entre ellos, aun cuando se vaya introduciendo información adicional (no redundante) a la de la primera componente principal, es decir, información que no se haya tenido en cuenta durante el proceso de zonificación. Para ello, se ha aplicado el contraste T^2 de Hotelling a todas las posibles parejas de barrios, introduciendo escalonadamente desde la primera hasta la sexta componente principal, con lo cual se llega al 84'04% de la cantidad de información suministrada por las 13 características estudiadas en las viviendas. En todas las comparaciones se ha observado el mismo resultado: con niveles de confianza superiores al 99% se rechaza la hipótesis de igualdad de comportamientos medios para cualquier pareja de barrios y para cualquier cantidad de información introducida en el contraste, y, por ende, se acepta la existencia de diferencias significativas entre las viviendas de los distintos barrios⁶. En consecuencia, se reafirma la conclusión a la que se había llegado con el ACPL: la zonificación delimita unas agrupaciones de viviendas, que hemos denominado barrios, cuyos perfiles se diferencian nítidamente unos de otros en lo que respecta a las características de sus viviendas.

5. Conclusiones

En este trabajo se desarrolla teórica y prácticamente una metodología para zonificar una ciudad. La metodología se basa en la conexión entre el ACP y la TVR, mediante el análisis de la estructura de autocorrelación y la posterior estimación espacial de la p.c.p. de las características de las viviendas. El procedimiento de zonificación conlle-

6. Si se aceptara la hipótesis de igualdad entre dos barrios, se procedería a la realización de comparaciones que incluyeran mayor número de barrios y mayor número de componentes principales, para lo cual puede utilizarse el contraste de la razón de verosimilitudes. Por otro lado, aplicados los contrastes de Levene y Van Valen, se observa bastante homogeneidad en las variabilidades, lo cual da mayor fuerza a las conclusiones extraídas de los contrastes sobre las medias.

va la regionalización de la p.c.p., puesto que se parte de soportes puntuales (viviendas) pero la estimación espacial se realiza sobre bloques. En la estimación se utiliza el KRI por bloques, y se tiene en cuenta la variabilidad a pequeña y gran escala espacial. La zonificación se basa en un criterio mixto, pues mezcla el punto de vista geográfico (considera la localización de las viviendas), con el enfoque multivariante (considera las características que más diferencian a las viviendas entre sí).

Se verifica el grado de diferenciación logrado en la zonificación, para lo cual se propone la utilización del ACPL y los contrastes multivariantes.

Se pueden señalar varias virtudes de la zonificación obtenida mediante la metodología propuesta:

a) Se obtiene una zonificación sobre bases urbanístico-económicas objetivas.

b) Se puede llevar a cabo el estudio evolutivo en el tiempo y en el espacio de la variable analizada, mediante la interpretación y comparación de las sucesivas zonificaciones obtenidas. Junto con la evolución de la variable, también es interesante analizar la estructura espacial de la variable que recoja el incremento de la misma entre dos momentos consecutivos (véase Cano Guervós, Chica Olmo, Hermoso Gutiérrez, 1994).

c) Se obtienen distintas zonificaciones, más o menos pormenorizadas, en función de que el tamaño de los bloques utilizados en el Krigeaje sea más o menos pequeño.

d) Si la información muestral, en lugar de estar tomada sobre viviendas puntuales, correspondiera a bloques, el procedimiento de zonificación sería similar al descrito, sin más que asignar el valor del bloque al centro del mismo.

e) Por razones de sencillez, el rango de la variable estimada ha sido dividido en cuatro secciones, determinadas por los cuartiles, lo que ha dado lugar a cuatro zonas. El uso de más percentiles daría lugar a una zonificación más detallada. No obstante, una mejora del método podría consistir en la utilización de algoritmos que condujeran a una partición óptima de la variable.

f) Dependiendo de cuál sea la variable en función de la que se realiza la división, se pueden obtener distintas zonificaciones.

g) El método permite realizar estimaciones incluso en zonas donde no hay observaciones muestrales, aunque, lógicamente, en estas zonas los errores de estimación serán mayores.

h) Además de utilizar la metodología para conocer la estructura urbana y obtener una zonificación de la ciudad, es aplicable cuando se requiere una valoración media objetiva de un conjunto de viviendas, incluidas en una determinada zona, mediante la asignación de un valor medio de la variable analizada a toda la superficie de la zona. Éste puede ser utilizado como valor referencia, a partir del cual podría particularizarse para cada una de las viviendas ubicadas en la zona.

La aplicación de esta metodología sobre la ciudad de Granada conduce a la división de la misma en barrios, en función de la calidad global (localizativa y construc-

tiva) de las viviendas, de tal forma que se puede observar cómo se distribuye dicha variable sobre el espacio urbano.

Bibliografía

- ANDERSON, T. W. (1984): *An introduction to multivariate statistical analysis*. John Wiley and Sons. New York.
- ANSELIN, L. (1988): *Spatial Econometrics: methods and models*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.
- CANO GUERVÓS, R. A. (1999): *Aproximación al valor de la vivienda. Aplicación a la ciudad de Granada*. Biblioteca de Económicas y Empresariales. Editorial Universidad de Granada.
- CANO GUERVÓS, R. A.; CHICA OLMO, J. M.; HERMOSO GUTIÉRREZ, J. A. (1994): *Estudio de la variación del valor de la vivienda tasada en el período 1989-1992 en la ciudad de Granada*. Estudios de Economía Aplicada. Actas de la VIII Reunión de ASEPELT-España, vol. IV. Departament d'Economia i Empresa, Universitat de les Illes Balears. Palma de Mallorca.
- CANO GUERVÓS, R. A.; CHICA OLMO, J. M.; HERMOSO GUTIÉRREZ, J. A. (1997): *Use of multivariate techniques for the grouping together of districts. Application in the city of Granada*. VECTOR, vol. 14, núm. 2.
- CRESSIE, N. (1991): *Statistics for spatial data*. John Wiley and Sons. New York.
- CUADRAS AVELLANO, C. M. (1991): *Métodos de análisis multivariante*. PPU. Barcelona.
- 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*. Urban Studies, vol. 32, núm. 8.
- CHICA OLMO, M. (1987): *Análisis geoestadístico en el estudio de la explotación de los recursos minerales*. Tesis doctoral. Universidad de Granada.
- CHRISTENSEN, R. (1987): *Plane answers to complex questions. The theory of linear models*. Springer-Verlag. New York.
- DUBIN, R. A. (1992): *Spatial autocorrelation and neighborhood quality*. Regional Science and Urban Economics, núm. 22.
- DUBIN, R. A. y SUNG, C. H. (1987): *Spatial variation in the price of housing: rent gradients in non-monocentric cities*. Urban Studies, núm. 24.
- HANHAM, R., HOHN, M. y BOHLAND, J. (1984): *Kriging spatial data: application to the distribution of elderly in the U. S.* Modeling and Simulation, núm. 15.

- JOURNEL, A. G. y HUIJBREGTS, CH. J. (1991): *Mining Geostatistics*. Academic Press. London.
- LEBART, L., MORINEAU, A. y FENELON, J. P. (1985): *Tratamiento estadístico de datos*. Marcombo-Boixareu Editores. Barcelona.
- LEVENE, H. (1960): *Robust test for equality of variance*. Contributions to Probability and Statistics (I. Olkin, S. G. Ghurye, W. Hoeffding, W. G. Madow y H. B. Mann eds.). Stanford University Press. California.
- MATHERON, G. (1965): *Les variables regionalisées et leur estimation*. Masson. Paris.
- 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.
- MÍGUEZ, F. (1984): *Introducción a la teoría de la variable regionalizada*. Madrid.
- NEUMAN, S. P. y JACOBSON, E. A. (1984): *Analysis of non-intrinsic spatial variability by residual Kriging with application to regional groundwater levels*. Mathematical Geology, núm. 16.
- RIPLEY, B. D. (1981): *Spatial Statistics*. John Wiley and Sons. New York.
- SCHULTZ, B. (1983): *On Levene's test and other statistics of variation*. Evolutionary Theory, núm. 6.
- SRIVASTAVA, M. S. y CARTER, E. M. (1983): *An introduction to applied multivariate statistics*. North Holland. New York.
- UPTON, G. J. G. y FINGLETON, B. (1990): *Spatial data analysis by example*. John Wiley and Sons. New York.
- VAN VALEN, L. (1978): *The statistics of variation*. Evolutionary Theory, núm. 4.