

## Desagregación poblacional a partir de datos catastrales

R.T. Mora-García<sup>1</sup>, P. Marti-Ciriquian<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Edificación y Urbanismo, Universidad de Alicante. Ctra. de San Vicente, s/n, 03690 San Vicente del Raspeig (Alicante).

rtmg@ua.es, pablo.marti@ua.es

**RESUMEN:** En los procesos de planificación urbana es necesario disponer de datos precisos sobre la distribución de la población en el territorio. La única fuente disponible sobre cómo se distribuye la población en el territorio a escala inframunicipal es la suministrada por el Instituto Nacional de Estadística, siendo las secciones censales las unidades espaciales más pequeñas. En muchas ocasiones esta escala es demasiado grande para conocer, con precisión, cómo se distribuye la población en el territorio y, concretamente, en el entorno urbano. Se propone desarrollar una metodología para desagregar los datos poblacionales a la escala de edificio, de tal manera que se disponga de información más precisa sobre la distribución espacial de la población. La distribución poblacional se realiza distribuyendo los habitantes según dos criterios: en función del número de viviendas y proporcionalmente a la superficie construida dedicada a uso residencial. Este método mejora los existentes ya que discrimina las zonas habitadas y no habitadas, y considera la existencia de distintas clases de suelos y tipos de usos edificados. Además, mejora considerablemente la precisión de la desagregación al tener en cuenta las distintas densidades edificadas dentro de cada zona y mantener la integridad de los datos originales. A partir de los resultados obtenidos, se realiza una comparación entre los dos criterios de desagregación para proponer cuál podría ser el más adecuado en función de la disponibilidad de datos.

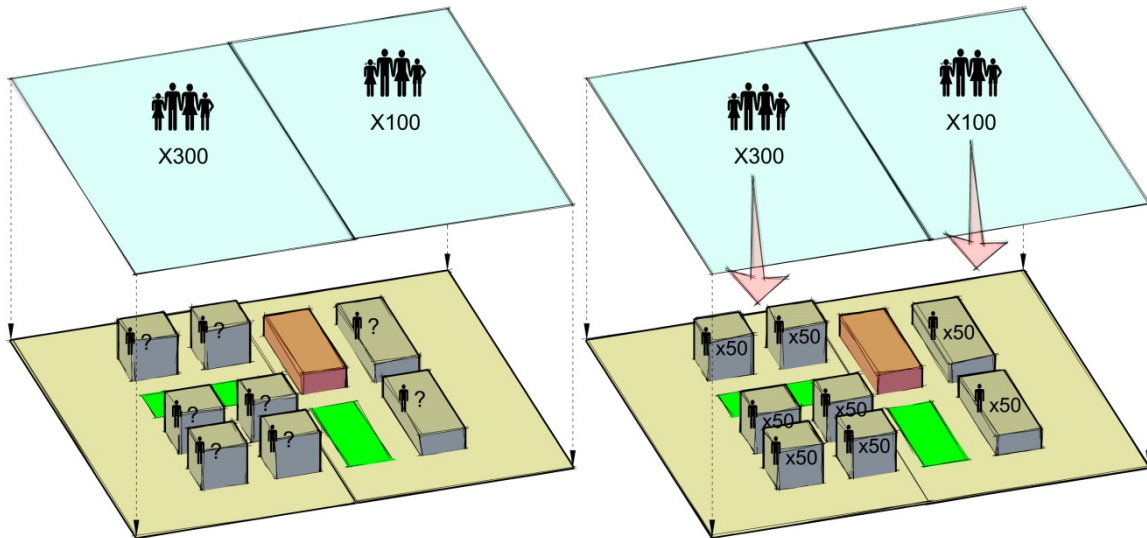
**Palabras-clave:** Método de estimación de población, Desagregación poblacional, Población INE, Catastro.

### 1. INTRODUCCIÓN

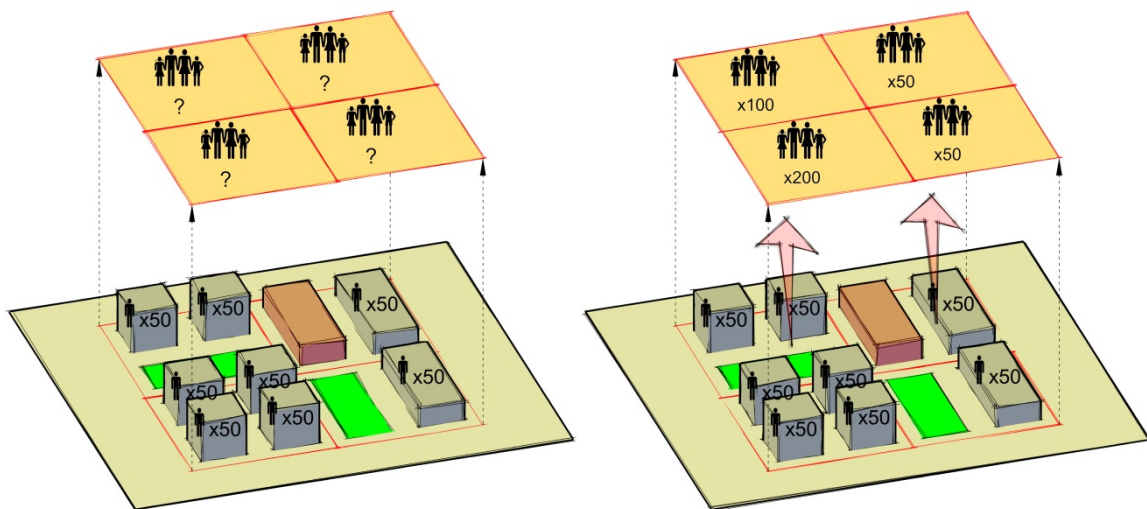
En la actualidad existe una gran necesidad de conocer con detalle cómo se distribuye la población en los entornos urbanos, ya que aporta información relevante para la toma de decisiones en los procesos de planificación y de gestión municipal. Uno de los principales problemas radica en que los datos poblacionales se facilitan con un nivel de agregación demasiado grande para su utilización en estudios de detalle a nivel municipal. Las secciones censales son unidades espaciales con distintos tamaños, que varían de forma y posición con el paso del tiempo, que pueden contener varias clases de suelo (urbano, urbanizable y no urbanizable) y en distintas proporciones, etc. Todo ello provoca que sea muy difícil utilizar las secciones censales como unidades espaciales en estudios urbanos, ya que se comparan unidades espaciales de tamaños y formas diferentes (*Modifiable Area Urban Problem*). Existen diversos métodos de desagregación espacial de la información poblacional, pero no llegan a resolver adecuadamente el problema ya que tienen en consideración unos supuestos de simplificación que impiden la obtención de modelados adecuados con la distribución de la población.

En este artículo se propone desarrollar una metodología para desagregar los datos poblacionales a la escala de edificio, distribuyendo los habitantes según dos criterios: en función del número de viviendas y proporcionalmente a la superficie construida dedicada a uso residencial. No existen métodos de desagregación totalmente exactos, siendo en todo caso aproximaciones a la realidad y que siempre establecen una suposición inicial para simplificar el problema. Es obvio que no es del todo exacto el hecho de desagregar a la población proporcionalmente al número de viviendas o a la superficie construida de uso residencial de los edificios, ya que pueden existir viviendas vacías o de segunda residencia, que los individuos estén empadronados y no residan en dicho lugar, etc. Además, el reparto por franjas de edad o por nacionalidad tampoco es homogéneo en la realidad. Todos estos aspectos son difíciles de tener en cuenta e imposibles de subsanar, a menos que se disponga de una base de datos georreferenciada con la ubicación exacta de los habitantes, algo difícil de obtener por el secreto estadístico.

La necesidad de esta desagregación poblacional radica en que es necesario distribuir los habitantes a una escala más pequeña que las secciones censales, para poder reagruparlas en unas nuevas unidades espaciales que se utilicen para el estudio urbano, reduciendo los posibles efectos del Problema de la Unidad Espacial Modificable (Openshaw, 1984). En la Figura 1 (izquierda) se muestra una simplificación de un entorno urbano con unos datos poblacionales por secciones censales, donde se quiere conocer una aproximación de la distribución poblacional. A la derecha de la Figura 1 se muestra el proceso de desagregación (*downscaling* o *top-down approach*) considerando que todos los bloques residenciales tienen el mismo número de viviendas o superficie construida residencial. En la Figura 2 se plantea el proceso inverso, cómo a partir de datos desagregados se vuelven a agregar (*upscaling* o *bottom-up approach*) en unidades espaciales que sean comparables con tamaño y forma iguales.



**Figura 1.** Esquema de desagregación desde secciones censales a edificios. Fuente: (Mora-García).



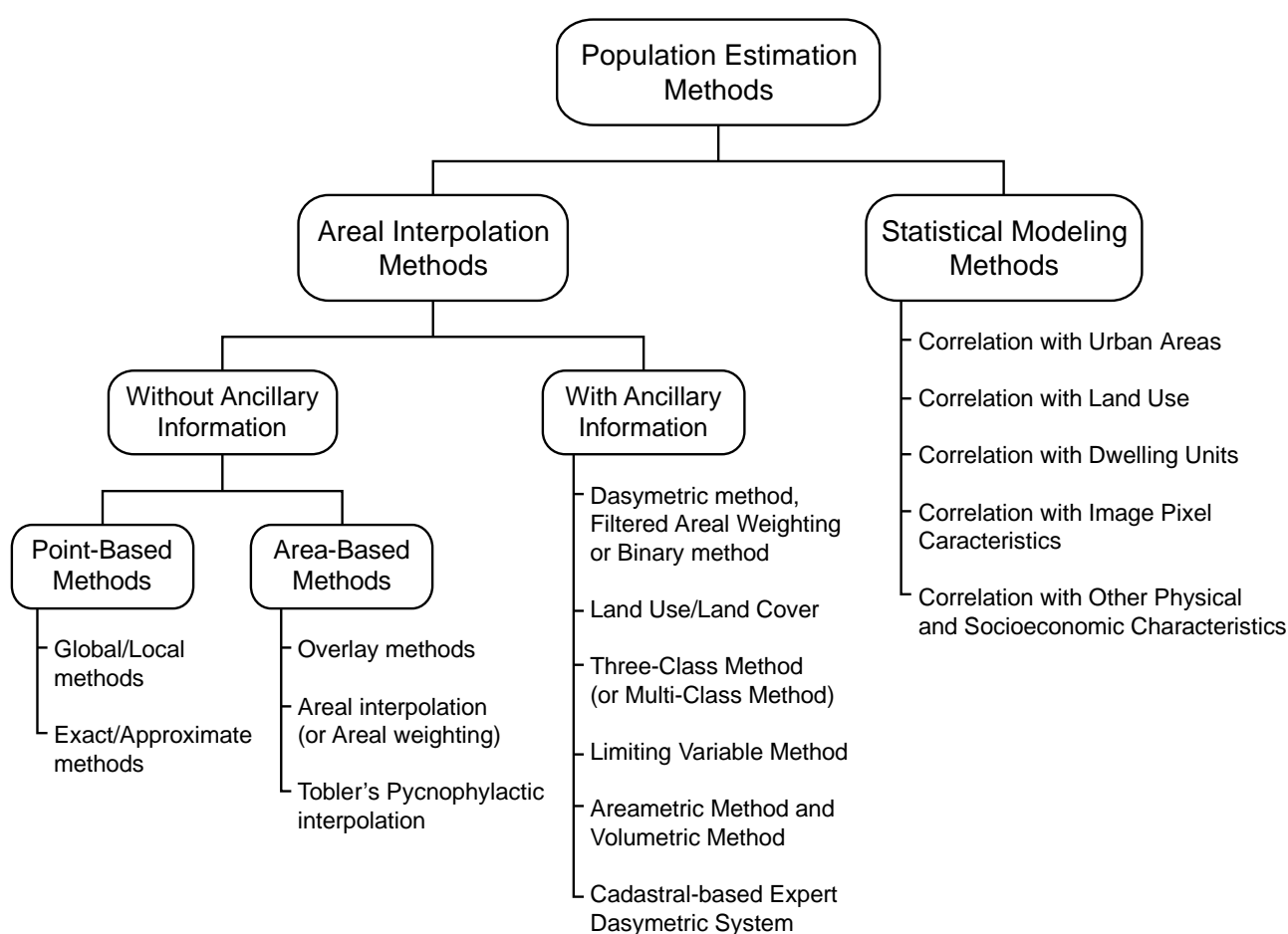
**Figura 2.** Esquema de agregación desde edificios a rejilla. Fuente: (Mora-García).

Mediante la metodología que se describe en este apartado se pretende dar respuesta al problema de la desagregación poblacional, resolviendo debilidades existentes en otros procedimientos y mejorando la aproximación de los resultados de la desagregación. Cabe indicar que este método de desagregación mantiene la integridad de los datos originales, es decir, que la suma de la población de las unidades espaciales originales se mantiene en la transformación a unas nuevas unidades espaciales de destino (Tobler, 1979; Lam, 1983, p. 139; Wu et al., 2005, p. 82).

### 1.1. Métodos para la estimación poblacional

Los métodos de interpolación espacial permiten, a partir de un conjunto de valores conocidos (ya sea estos de tipo punto o área), predecir nuevos valores en aquellas localizaciones donde no se tienen datos (Lam, 1983, p. 129; Burrough et al., 1998, p. 98; Li y Heap, 2008, p. 1). Existe una multitud de métodos para la estimación poblacional, muchos de ellos basados en métodos de interpolación espacial, una posible clasificación se muestra en la Figura 3, elaborada a partir de Wu et al. (2005), Maantay et al. (2007) y Lam (1983).

Wu et al. (2005) proponen dos grandes grupos: los métodos de interpolación zonal y los métodos de modelación estadística. Los primeros están diseñados principalmente para transformar un conjunto de datos espaciales iniciales en un nuevo conjunto de datos de destino (Wu et al., 2005, p. 81; Lam, 1983, p. 138). Estos primeros métodos pueden agruparse a su vez en otros dos subtipos, en función de si se utiliza información auxiliar o no. Los segundos, los métodos de modelación estadística, pretenden establecer relaciones entre la población y otras variables con la intención de estimar la población existente en una o en varias zonas a partir de dichas variables (Wu et al., 2005, p. 87).



**Figura 3.** Métodos de desagregación poblacional. Fuente: elaboración propia a partir de (Wu et al., 2005; Maantay et al., 2007; Lam, 1983).

Un método muy utilizado en la literatura por su simplicidad es el *Areal interpolation* o *Areal weighting*, que se basa en transferir la información (demográfica, socioeconómica o de otro tipo) desde unas zonas de origen a otras de destino de manera proporcional a su área. El principal problema de este método es que supone una distribución homogénea dentro de cada zona de origen, una situación que no ocurre necesariamente en la realidad. (Wu et al., 2005, p. 83; Maantay et al., 2007, pp. 79-80).

En el grupo de métodos de interpolación zonal con información auxiliar se aglutinan diversas formas de estimar la distribución de la población, y representan la evolución del método anterior. Dentro de esta clasificación está el método Dasimétrico binario o simple (*Dasymetric method*), también conocido como *Filtered Areal Weighting* o *Binary method*. Éste método utiliza información auxiliar, como la cobertura o el

uso del suelo, para excluir del análisis las zonas no habitadas; clasificando zonas urbanas y no urbanas, o a un mayor nivel de detalle identificando bosques, parques, zonas con agua, cementerios, zonas industriales, etc. Mediante el mismo procedimiento que el método de interpolación zonal se transfiere la información desde unas zonas de origen a las de destino, previamente filtradas, de manera proporcional a su área, asignando valores solo a aquellas zonas habitables. Este método también supone una distribución homogénea dentro de las zonas habitadas, por lo que no tiene en cuenta las posibles diferencias de densidades edificadas (viviendas unifamiliares, adosadas, multifamiliares,...). (Wu et al., 2005, pp. 84-85; Maantay et al., 2007, p. 80).

Lwin y Murayama (2009) proponen dos métodos de desagregación poblacional denominados *Areametric and Volumetric methods*. El primero no requiere ninguna información de plantas edificadas, ya que utiliza únicamente la huella de los edificios para el reparto de la población. El segundo utiliza el volumen de la construcción para la desagregación poblacional, pudiéndose calcular a través del número de plantas, de la altura media del edificio o con el volumen total edificado. Lwin y Murayama (2011) desarrollan un procedimiento para calcular este parámetro a través de técnicas como el LIDAR (*Laser Imaging Detection and Ranging*). En cualquier caso, los autores recomiendan identificar los tipos de usos construidos (característicos) por edificio, para identificar aquellos usos residenciales de otros comerciales, industriales o dotacionales. Estos métodos asumen que la población se distribuye de forma proporcional al tamaño superficial de la huella de los edificios (*Areametric method*), o al volumen edificado (*Volumetric method*). El problema recae en que el primer método no tiene en cuenta las distintas densidades edificadas al utilizar únicamente las huellas edificadas, y en el segundo no es posible identificar aquellos edificios con usos mixtos.

Gálvez-Salinas et al. (2013) proponen un método que intenta mejorar los anteriores, utilizando el techo edificable residencial como criterio de reparto poblacional. El método asume que existe una relación directamente proporcional entre la población y el techo edificable residencial. Utiliza datos demográficos del INE, información sobre los usos del suelo y datos de la cartografía catastral, pero además es necesario realizar una toma de datos de campo. El método de Gálvez-Salinas et al. (2013) aporta un nuevo enfoque para la desagregación poblacional, pero adolece de varios problemas:

- Es un procedimiento laborioso de toma de datos, que requiere el cálculo de la altura de cada construcción del edificio (obtenida de la capa CONSTRU de la cartografía catastral) y delimitar las plantas bajas destinadas a usos distintos del residencial.
- Pueden cometerse errores de estimación en el cálculo del techo edificable residencial ya que no se disponen de datos que permitan identificar otros usos dentro de cada edificio, como el de oficinas.
- No tiene en cuenta la diversidad de tamaños de viviendas, donde una vivienda de 300 m<sup>2</sup> construidos podría tener tres veces más habitantes que una de 100 m<sup>2</sup>.

Maantay et al. (2007) desarrollan un método dasimétrico denominado *Cadastral-based Expert Dasymetric System* (CEDS), donde utilizan datos del censo junto con datos catastrales para crear una imagen más precisa de la distribución de la población. El CEDS fue diseñado para desagregar los datos poblacionales desde los bloques censales (con menor escala que la sección censal) de Nueva York hasta el nivel de lote de impuestos, el equivalente a bien inmueble en la terminología del Catastro español. La técnica utiliza el número de unidades residenciales (viviendas) y la superficie residencial (no especifica si útil o construida) como criterios para el reparto de la población, considerando que donde hay más viviendas habrá más habitantes. Se indica que encontraron muchos casos de datos faltantes donde no disponían de valores de superficie residencial, por lo que crearon para esos casos una alternativa cuantificando toda la superficie construida en residencial y comercial.

Para estimar la precisión del método CEDS se procedió a un análisis a partir del cual se desagregaba la población desde las secciones censales a los lotes de impuestos según el número de unidades residenciales y superficie residencial, volviéndose a agregar al nivel de bloque censal, para posteriormente calcular las diferencias entre los valores estimados y los reales en cada bloque censal.

El método que se propone en este estudio se basa en el CEDS (Maantay et al., 2007), pero se extiende a suelo tanto urbano como rústico, mejorando así los resultados. Se plantea así porque existen delimitaciones espaciales de secciones censales que abarcan parte de suelo urbano y parte en rústico, lo que generaría discrepancias importantes en caso de no considerarse las viviendas en suelo rústico. Además, mejora el método desarrollado por Gálvez-Salinas et al. (2013) ya que se automatiza la obtención de datos más reales extraídos directamente de los datos Catastrales, utilizados para el pago del Impuesto de Bienes Inmuebles, como son la obtención del número de viviendas y de los metros construidos en uso residencial.

Además, este método supera algunas de las limitaciones de los métodos descritos anteriormente.

Discrimina las zonas habitadas y no habitadas, identifica las zonas de suelo urbano, considera las distintas intensidades edificadas de cada zona a nivel de edificio y permite detectar zonas no edificadas como parques, polígonos industriales o comerciales, etc.

El método propuesto no esté exento de problemas, ya que asume una distribución de la población proporcional al número de viviendas o a la superficie construida residencial, no tiene en consideración si las viviendas están vacías o son de segunda residencia, y está sujeto a posibles errores a consecuencia de una posible desactualización de los datos catastrales.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

Para la desagregación poblacional se han utilizado las geometrías de las secciones censales a las que se les han asociado los datos del número de habitantes del Padrón Municipal Continuo, ya que es una fuente de información más actualizada que el Censo de 2011. Para la ubicación espacial de las parcelas construidas se ha utilizado la cartografía catastral, asociándoles los datos alfanuméricos que permiten identificar aquellas parcelas catastrales que tienen viviendas y/o superficie construida dedicada a uso residencial.

A partir de estos datos desagregados por parcelas, con las secciones censales y los datos poblacionales, se hace un análisis espacial que cuantifica por sección censal el número de viviendas y la superficie construida de uso residencial. Mediante un análisis de tipo intersección espacial se asocian los datos de las secciones censales a las parcelas catastrales, de esta manera cada parcela catastral almacena la información de cuántas viviendas y superficie residencial hay en la sección censal donde se ubica cada parcela catastral.

El reparto de habitantes se hace proporcionalmente al número de viviendas y a la superficie construida de uso residencial de los edificios sobre los totales de cada sección censal, ya sea suelo de naturaleza urbana o rústica, a efectos catastrales. De esta manera se calcula, por cada parcela catastral, el número de habitantes estimado que podría albergar. Un esquema de la metodología se detalla en la Figura 4.

En todo momento se considera la desagregación poblacional por parcela catastral, eso conlleva que se utilizan en los análisis todas las parcelas catastradas. El número de habitantes será igual a cero en los casos de encontrar una parcela no edificada, lo mismo ocurrirá cuando una construcción no contenga viviendas o superficie residencial.

Las fórmulas utilizadas para el reparto de habitantes por parcela se detallan a continuación, la ecuación (1) cuando se emplea el número de viviendas y la ecuación (2) cuando es la superficie construida residencial:

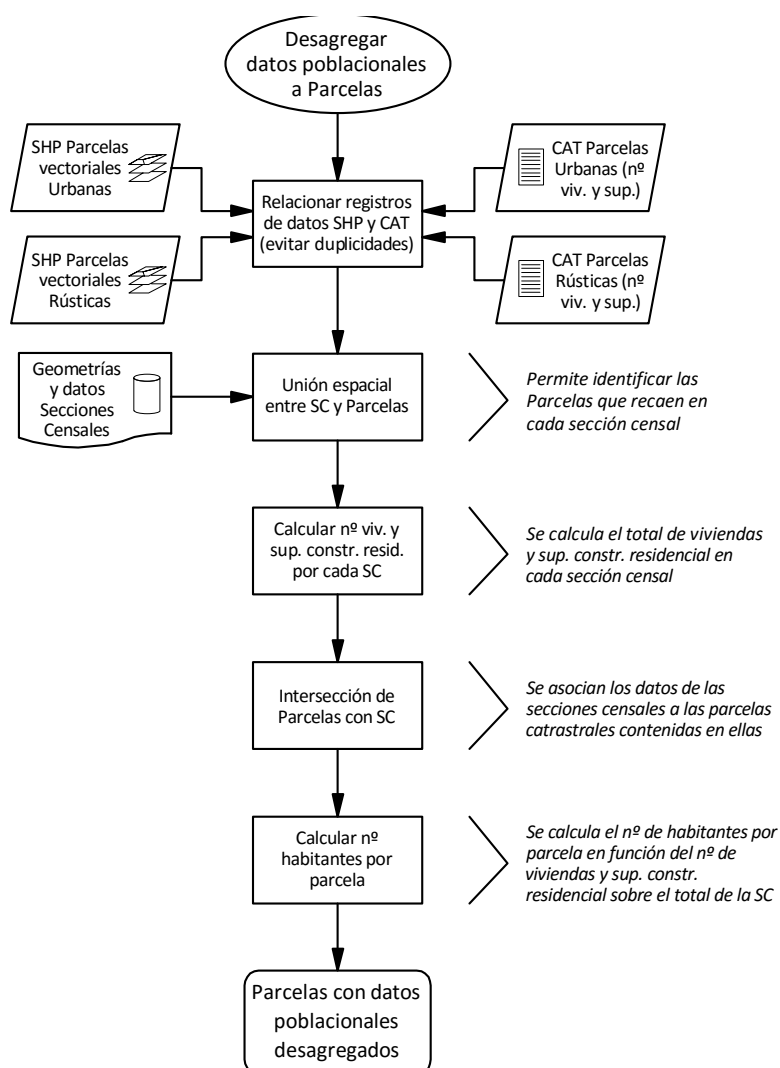
$$NHab_{\text{parcela}_viv} = \frac{NViv_{\text{parcela}} \cdot NHab_{sc}}{\sum NViv_{sc}} \quad (1)$$

donde  $NHab_{\text{parcela}_viv}$  = número de habitantes en la parcela catastral según el criterio del número de viviendas;  $NViv_{\text{parcela}}$  = número de viviendas en la parcela catastral;  $NHab_{sc}$  = número de habitantes en la sección censal;  $\sum NViv_{sc}$  = total de viviendas en la sección censal.

$$NHab_{\text{parcela}_res} = \frac{SCRes_{\text{parcela}} \cdot NHab_{sc}}{\sum SCRes_{sc}} \quad (2)$$

donde  $NHab_{\text{parcela}_res}$  = número de habitantes en la parcela catastral según el criterio de la sup. constr. residencial;  $SCRes_{\text{parcela}}$  = superficie construida residencial en la parcela catastral;  $NHab_{sc}$  = número de habitantes en la sección censal;  $\sum SCRes_{sc}$  = total de la superficie construida residencial en la sección censal.

A partir de los datos poblacionales desagregados por los dos criterios, se procede a comparar y analizar los resultados con el objeto de determinar cuál sería el más adecuado utilizar. Para ello se estudiarán los coeficientes de correlación entre variables por sección censal y se valorarán las discrepancias entre modelos mediante un mapa de diferencias.



**Figura 4.** Esquema de la metodología para la desagregación de datos poblacionales. Fuente: elaboración propia. Notas: SHP archivo shapefile catastral, CAT archivo catastral con datos alfanuméricos, SC sección/es censal/es.

## 2.1. Descripción de las fuentes de información

Las geometrías de las secciones censales se han digitalizado a partir del servicio WMS publicado en CartoCiudad (<http://www.cartociudad.es/visor/>), y el número de habitantes por sección censal ha sido extraído del Padrón Municipal Continuo (datos a fecha 01/01/2013) del Instituto Nacional de Estadística. Estos datos han sido relacionados mediante el código identificativo de cada sección censal (código provincia y municipio + código distrito + código sección).

Para la representación espacial del entorno urbano se ha utilizado la cartografía catastral de naturaleza urbana y rústica, sin historia, descargada en junio de 2014 (datos publicados el 23/05/2014) desde la Sede Electrónica del Catastro SEC (<http://www.sedecatastro.gob.es/>). Los datos alfanuméricos en formato CAT corresponden a la misma entrega de junio de 2014 y contiene 27.361 registros de parcelas catastrales en el municipio de Elche. Para extraer del archivo CAT el número de viviendas y la superficie construida de uso residencial por parcela catastral ha sido necesario relacionar los distintos registros tipo 11, 14 y 15 (finca, construcción y bien inmueble respectivamente) del archivo CAT. Concretamente el número de viviendas por parcela catastral ha sido obtenido a partir del registro tipo 15, realizando ciertas comprobaciones con el registro tipo 14. El total de superficie construida de uso residencial por parcela catastral se ha obtenido a partir del registro tipo 14. Todos estos datos han sido resumidos en el registro tipo 11 que corresponde a cada parcela catastral o finca.

Toda la información espacial y alfanumérica ha sido editada mediante ArcGIS 10, y los análisis estadísticos mediante el SPSS 21.

## 2.2. Ámbito de estudio

Como ámbito de estudio se ha elegido el municipio de Elche en la provincia de Alicante, cuenta con una extensión de 32.651,8 hectáreas de las que el 11,8% corresponde a suelo urbano o urbanizable. La población empadronada a 01/01/2013 era de 230.224 habitantes, y según los datos catastrales se han contabilizado 109.826 viviendas en todo el término municipal.

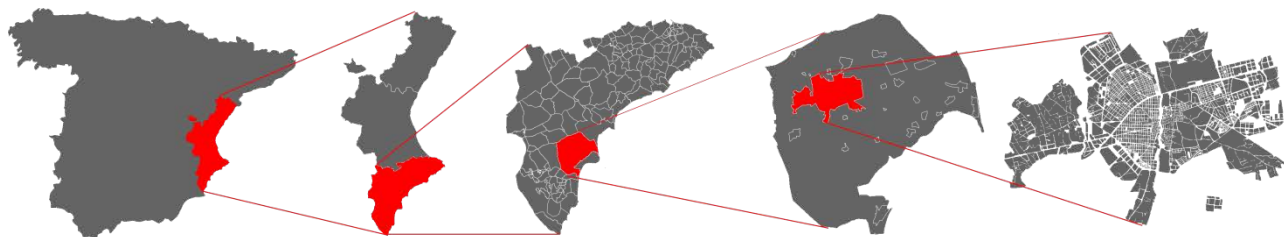


Figura 5. Localización de la zona de estudio.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para poder representar las variables objeto de estudio, se ha decidido utilizar mapas de densidad obtenidos a partir de técnicas de suavizado espacial (*Spatial smoothing*). Estas técnicas permiten visualizar patrones y destacar tendencias espaciales, y su finalidad es reducir la variabilidad espacial de unos datos discretos originales (normalmente puntos) transformándolos en un mapa de densidad continuo (de tipo imagen o *raster*) (Wang, 2014, p. 47).

En la Figura 6 se muestran los mapas de densidad de las variables Número de viviendas y Sup. construida residencial generados mediante una función *kernel* a partir de los valores por edificio extraídos del Catastro. Se ha utilizado una función *kernel* de tipo bponderado (*biweight*), un ancho de banda de 400 m de radio y una resolución del *raster* de 50 m/píxel.

Puede observarse una gran similitud entre los patrones espaciales de los dos mapas, con ligeras variaciones en la intensidad de colores debido a las distintas unidades de medida utilizadas (número de viviendas frente a metros cuadrados construidos). Se muestra claramente el núcleo urbano principal, así como algunas pequeñas agrupaciones dispersas que corresponden a las pedanías del municipio. La mayor concentración de viviendas se localiza en la zona oeste del río, ya que en la zona este predominan los huertos de palmeras.

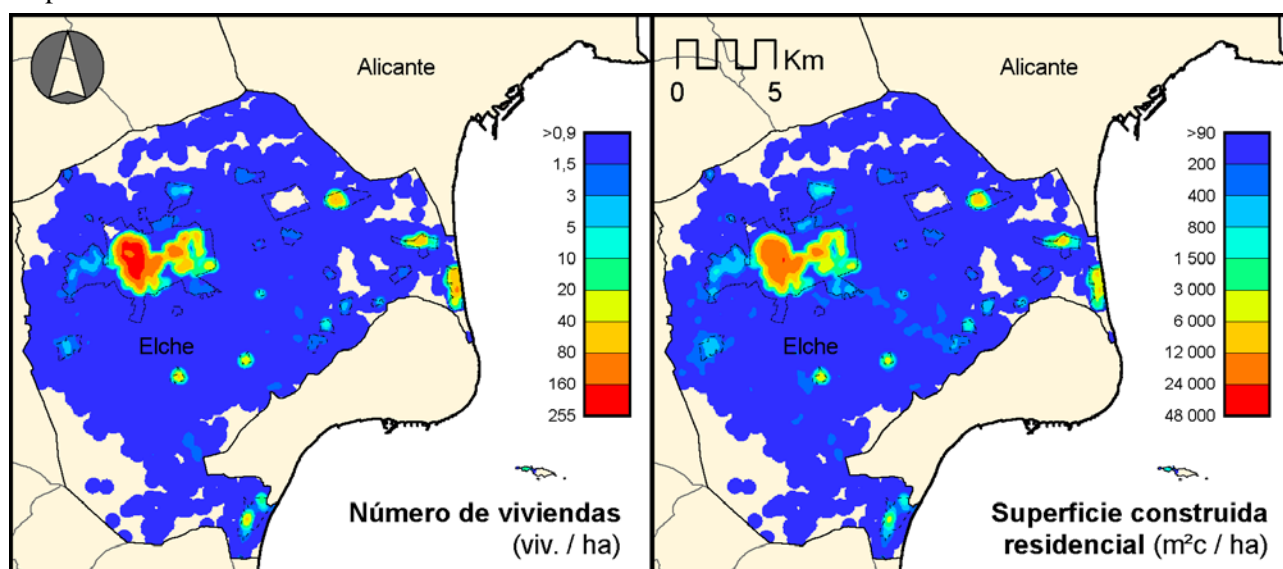


Figura 6. Mapas de densidad del número de viviendas (izq.) y superficie construida residencial (der.).

Fuente: elaboración propia a partir de datos de la SEC.

A partir de los datos georreferenciados de las parcelas catastrales, y utilizando la metodología descrita en el apartado 2. Material y métodos, se procede a desagregar los datos poblacionales de las secciones censales a las parcelas catastrales. En este procedimiento se calculan unos datos intermedios que corresponden al



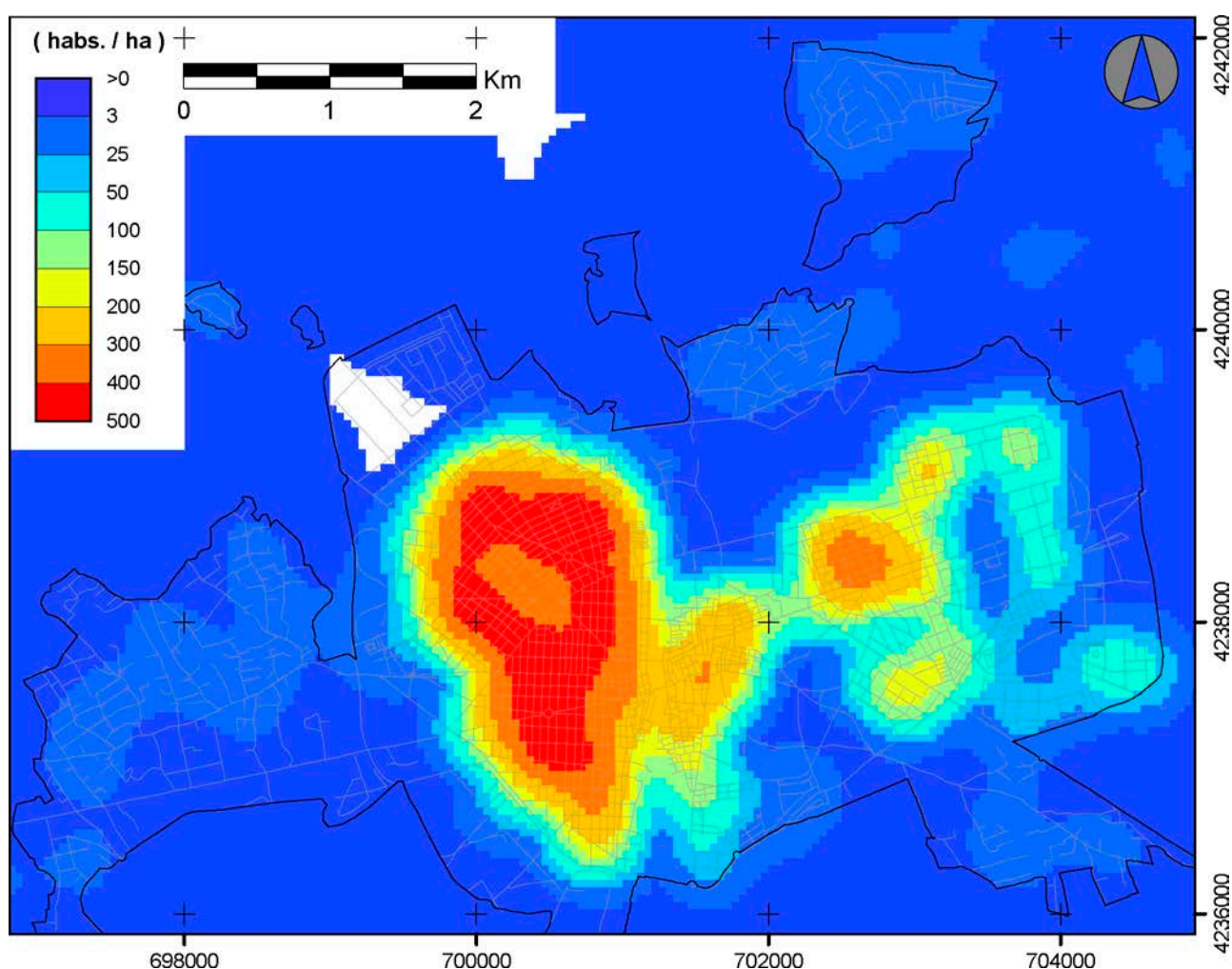
número total de viviendas y la sup. const. residencial por sección censal (véase Figura 4 para más detalle).

A partir de esos datos intermedios se realiza un estudio de los coeficientes de correlación (*Rho de Spearman*) entre las variables intervinientes con valores agregados por sección censal. Las correlaciones entre la variable Población y el Número de viviendas es de  $rs = 0,879$ , y con la Sup. construida residencial  $rs = 0,744$ , son correlaciones altas y positivas. Al calcular el coeficiente de determinación  $R_s^2$ , se obtiene que la variable Número de viviendas predice cerca del 77% de la variabilidad de la Población, y la Sup. const. residencial predice casi el 55% de la variabilidad de Población. Como era de esperar, la variable Número de viviendas está altamente correlacionada con la Superficie construida residencial ( $rs = 0,881$ ).

**Tabla 1.** Matriz de coeficientes de correlación en las variables por secciones censales. Fuente: elaboración propia. Nota: significación estadística \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$  (bilateral), coeficiente de correlación Rho de Spearman,  $N = 172$  secciones censales.

| VARIABLES               | Población Padrón | Núm. viviendas | Sup. const. residencial |
|-------------------------|------------------|----------------|-------------------------|
| Población Padrón        | 1                | 0,879**        | 0,744**                 |
| Núm. viviendas          | 0,879**          | 1              | 0,881**                 |
| Sup. const. residencial | 0,744**          | 0,881**        | 1                       |

Solo se muestra el resultado de la desagregación utilizando el criterio del número de viviendas, ya que se generan mapas prácticamente iguales a causa de la clasificación por rangos de población (Figura 7).



**Figura 7.** Mapa de densidad poblacional según el criterio del número de viviendas. Fuente: elaboración propia.

A partir de los datos poblacionales desagregados por los dos criterios, utilizando el número de viviendas y la sup. constr. residencial, es posible generar un mapa de densidad de las diferencias entre los dos modelos



(Figura 8). Se toma como referencia el criterio del número de viviendas y se comparan los resultados obtenidos con el criterio por sup. construida residencial (diferencias). De esta manera los valores positivos indican que el modelo por viviendas estima más habitantes que el de superficie, y los valores negativos significan que el modelo por superficie estima más habitantes que el de viviendas.

Las mayores diferencias entre modelos se producen cuando en una misma sección censal coexisten viviendas de distintas tipologías predominando una de ellas frente a las otras (multifamiliares y unifamiliares/adosados), o cuando existen grandes cantidades de viviendas con superficies muy dispares entre ellas. En cualquier caso, las diferencias entre los dos modelos se estiman en un máximo de 14 habitantes por hectárea, ya sean en exceso o defecto.

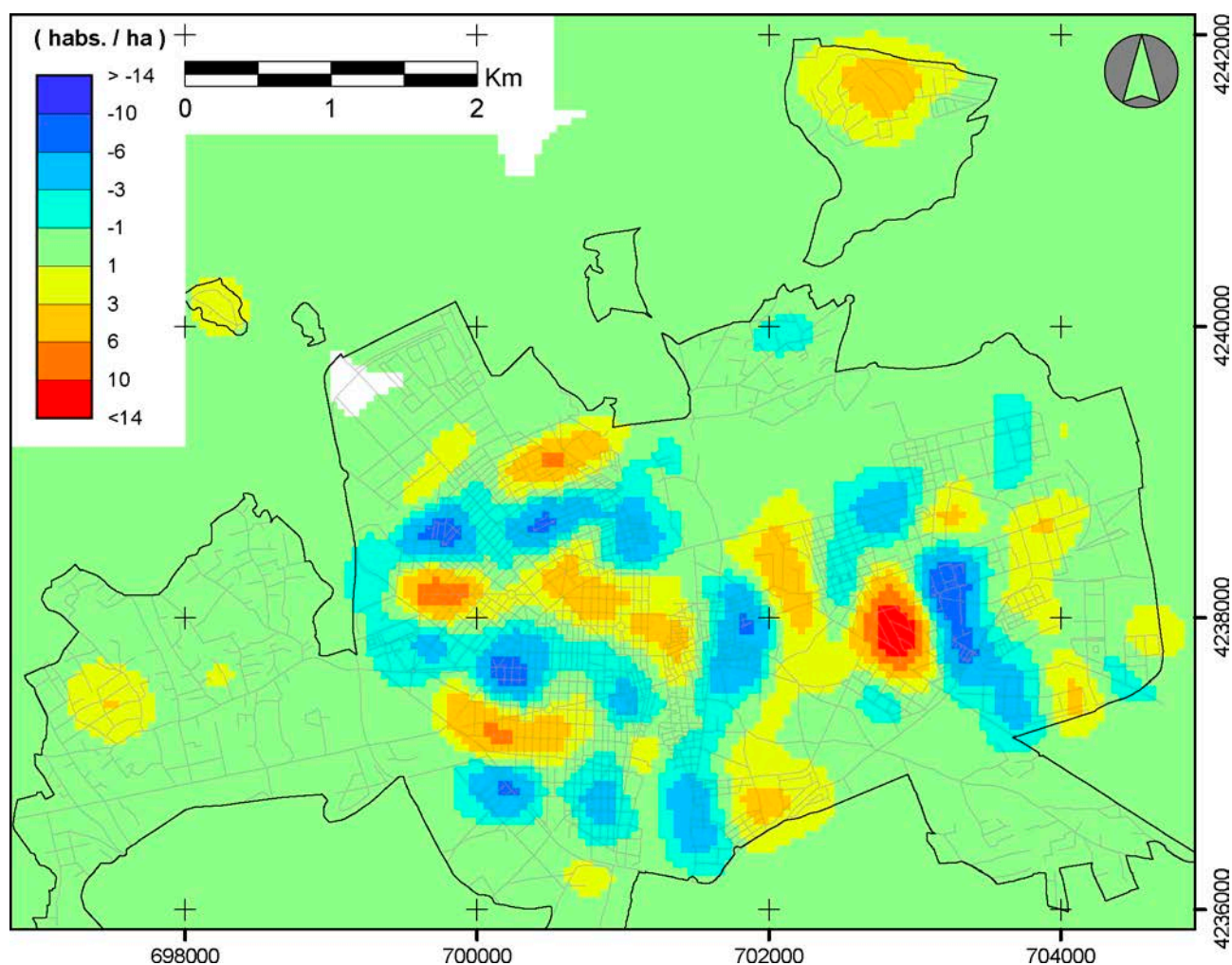


Figura 8. Mapa de densidad de diferencia entre modelos. Fuente: elaboración propia.

#### 4. CONCLUSIONES

Se ha evidenciado que los dos criterios, número de viviendas o superficie construida residencial, son perfectamente válidos para estimar la distribución poblacional, ya que son variables altamente correlacionadas con la población. Las correlaciones entre la Población y el Número de viviendas es más alta que con la Sup. construida residencial, pero no hay diferencia significativa entre ellos.

Los mapas de densidad generan patrones espaciales con un alto grado de similitud, por lo que, a efectos formales, sería indistinto utilizar el número de viviendas o la superficie construida residencial. En ambos casos, el método de desagregación propuesto en esta comunicación discrimina las zonas habitadas y no habitadas, identifica las zonas de suelo urbano, tiene en consideración las distintas intensidades edificadas de cada zona a nivel de edificio y permite detectar zonas no edificadas como parques, polígonos industriales o comerciales, etc.

La facilidad técnica de cuantificar el número de viviendas es mayor que la superficie construida

residencial, por lo que parece lógico escoger el modelo más sencillo de reproducir. Aunque no representan grandes dificultades técnicas el extraer esta información de la Sede Electrónica del Catastro, no resulta una tarea inmediata familiarizarse con la estructura de datos alfanumérica catastral.

En cualquier caso, otros estudios también proponen utilizar la superficie construida sobre rasante o incluso el volumen edificado como criterio de desagregación poblacional (Lwin y Murayama, 2009, 2011). En estos casos será necesario identificar aquellas construcciones con usos predominantes distintos al residencial para realizar una estimación más precisa de la distribución poblacional.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- Burrough, P.A.; McDonnell, R.A. y Lloyd, C.D. (1998): *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford: Oxford University Press. 333 p. ISBN 978-0-19-874284-5.
- Gálvez-Salinas, J.A.; Fischer, J. y Valenzuela-Montes, L.M. (2013): Metodología para la desagregación espacial de la información demográfica, en ámbitos urbanos, mediante la elaboración de unidades espaciales modificables. *GeoFocus*, Vol. 13 (nº1), pp. 337-366.
- Lam, N.S.N. (1983): Spatial Interpolation Methods: A Review. *The American Cartographer*, Vol. 10 (nº2), pp. 129-149. doi: 10.1559/152304083783914958.
- Li, J. y Heap, A.D. (2008): *A review of spatial interpolation methods for environmental scientists*. Canberra: Geoscience Australia. 154 p. ISBN 978-1-921498-30-5.
- Lwin, K. y Murayama, Y. (2009): A GIS Approach to Estimation of Building Population for Micro-spatial Analysis. *Transactions in GIS*, Vol. 13 (nº4), pp. 401-414. doi: 10.1111/j.1467-9671.2009.01171.x.
- Lwin, K. y Murayama, Y. (2011): Estimation of Building Population from LIDAR Derived Digital Volume Model. En Murayama, Y. y Thapa, R.B. (Eds.), *Spatial Analysis and Modeling in Geographical Transformation Process* (Vol. 100, pp. 87-98): Springer Netherlands.
- Maantay, J.A.; Maroko, A.R. y Herrmann, C. (2007): Mapping Population Distribution in the Urban Environment: The Cadastral-based Expert Dasymetric System (CEDS). *Cartography and Geographic Information Science*, Vol. 34 (nº2), pp. 77-102. doi: 10.1559/152304007781002190.
- Openshaw, S. (1984): Ecological fallacies and the analysis of areal census data. *Environment and Planning A*, Vol. 16 (nº1), pp. 17-31. doi: 10.1068/a160017.
- Tobler, W.R. (1979): Smooth Pycnophylactic Interpolation for Geographical Regions. *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 74 (nº367), pp. 519-530. doi: 10.2307/2286968.
- Wang, F. (2014): *Quantitative Methods and Socio-Economic Applications in GIS* (2ª ed.). Boca Ratón (Florida): CRC Press. 333 p. ISBN 978-1-4665-8473-0.
- Wu, S.S.; Qiu, X. y Wang, L. (2005): Population Estimation Methods in GIS and Remote Sensing: A Review. *GIScience & Remote Sensing*, Vol. 42 (nº1), pp. 80-96. doi: 10.2747/1548-1603.42.1.80.