

## UN MODELO DE DISTRIBUCIÓN DE POBLACIÓN PARA ESPAÑA

ISIDRO CANTARINO MARTÍ<sup>1</sup> y FRANCISCO GOERLICH GISBERT<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Politécnica de Valencia. España.

<sup>2</sup>Universidad de Valencia. España

[icantari@trr.upv.es](mailto:icantari@trr.upv.es); [Francisco.J.Goerlich@uv.es](mailto:Francisco.J.Goerlich@uv.es)

### RESUMEN

En este artículo se describe la aplicación de los datos sobre usos del suelo proporcionados por SIOSE junto con los datos de población (a nivel de Sección Censal para el año 2006), con el objetivo de elaborar de una rejilla de densidad de población de 1x1 km. En paralelo, se muestra el esfuerzo de la Agencia Europea de Medio Ambiente en obtener una rejilla de densidades de población para Europea, combinando CORINE Land Cover con los datos de población a nivel municipal, resolviendo alguno de los problemas ocasionados por la baja resolución de CORINE, los cuales son especialmente visibles en España. Los datos de población georreferenciados para la Comunidad de Madrid han permitido comparar los resultados de la rejilla obtenida mediante un proceso de desagregación espacial para el conjunto de España. Como resultado, se obtiene una importante mejora en el ajuste de esta rejilla sobre los datos basados en municipios y CORINE, aunque gran parte de ésta proviene del empleo de una cartografía de usos del suelo con mayor resolución, como es SIOSE, más que por la modelización estadística empleada para la desagregación de la población. Se incluye también una aplicación práctica de este modelo, definiendo un nuevo concepto de ciudad.

Palabras clave: CORINE Land Cover CLC, densidad de población, desagregación espacial, mapas dasimétricos, SIOSE.

### A POPULATION DISTRIBUTION MODEL FOR SPAIN

### ABSTRACT

This paper describes a high resolution land cover data set for Spain (SIOSE) and its application to downscaling population data (at census tract level for the year 2006), with the aim of

building a 1-km population density grid. The work parallels the effort of the European Environment Agency in building a population density grid for the whole of Europe, combining CORINE Land Cover with population data per commune, and solves many of the problems due to the low resolution of CORINE Land Cover, which are especially visible with Spanish data. An accuracy assessment is carried out from a geo-referenced population file for the region of Madrid. From this file we build-up a bottom-up grid that is compared to our top-down grid. We show a high improvement over what has been reported from commune data and CORINE Land Cover, but the improvements seem to come, in full, from the higher resolution data sets and not from the statistical modelling in the downscaling exercise. This highlights the importance of providing the research community with more detailed land cover data sets, as well as finer population data. Also included a practical application of this model, defining a new concept of city.

Key words: CORINE Land Cover, downscaling, dasymetric mapping, population density, SIOSE.

## 1. Introducción

El interés por representar en un mapa la distribución de la población se remonta al propio desarrollo de la cartografía (Reher, 2006). El mapa de densidades más antiguo del que tenemos noticias en España se remonta a los datos demográficos del censo de 1860, y representa, en un mapa de coropletas, la densidad de población por partidos judiciales. En él se observan ya los rasgos fundamentales de la actual distribución de la población, con su elevada concentración en el litoral y la «isla» de Madrid.

En la actual organización administrativa del Estado Español, los municipios constituyen las unidades administrativas menores en las que se divide el territorio nacional y que tienen asignados lindes precisos sobre los que se extienden sus competencias. Por esta razón, y también por cuestiones de disponibilidad estadística, los trabajos que estudian la localización de la población para áreas geográficas amplias suelen hacerlo, en el mejor de los casos, descendiendo al nivel municipal (Zoido y Arroyo, 2004; De Cos y Reques, 2005; Goerlich y Mas, 2008).

Ahora bien, desde el punto de vista geográfico-estadístico, la división del territorio es relevante para un tema particular si las áreas que constituyen la partición son homogéneas, o cumplen una determinada función, para el problema que deseamos investigar (Vidal, Gallego y Kayadjanian, 2001). No hay una partición geográfica uniformemente mejor para todas las situaciones, sin embargo la captación de estadísticas demográficas y socioeconómicas parte de áreas administrativas predefinidas, organizadas según una estructura jerárquica, y no relacionadas directamente con los problemas que se pretende analizar, sino más bien con la estructura de toma de decisiones política.

En este sentido es bien conocido que los municipios españoles presentan un grado considerable de heterogeneidad; su estructura ha sido determinada por razones históricas y sus delimitaciones no responden necesariamente a criterios relacionados con la distribución de la población sobre el

territorio, sino más bien a criterios de conveniencia administrativa y voluntad política (Capdevila i Subirana, 2009). De esta forma, un examen detallado de la distribución de la población sobre el territorio exige, por una parte, descender más allá del nivel de agregación municipal, y por otra, superar de alguna forma el rígido marco de los lindes administrativos.

La mejor forma de obtener la distribución espacial de la población es conocer su localización exacta con arreglo a un determinado criterio, por ejemplo residencia, para después agregarla sobre una malla o *grid* compuesta por celdas de tamaño constante. Esta es la llamada aproximación *bottom-up* ("de abajo arriba"), de la que se dispone un ejemplo próximo: el método de los "*donées carroyées*" del *Institute National de la Statistique et des Etudes Economiques* (INSEE) francés. Basado en la información fiscal geolocalizada, la población se distribuye en una malla estandarizada de diferente tamaño (1km y 200m). El grado de exactitud puede llegar a ser tal que en ocasiones ha entrado en conflicto con los principios de confidencialidad de la información suministrada.

Sin embargo, este modelo solo es posible aplicarlo en algunos países, por lo general es preciso utilizar métodos de desagregación espacial (o *downscaling*) mediante información auxiliar y técnicas estadísticas. Esta aproximación se conoce como *top-down* ("de arriba abajo"), comúnmente apoyada en cartografía de ocupación del suelo y límites de tipo administrativo.

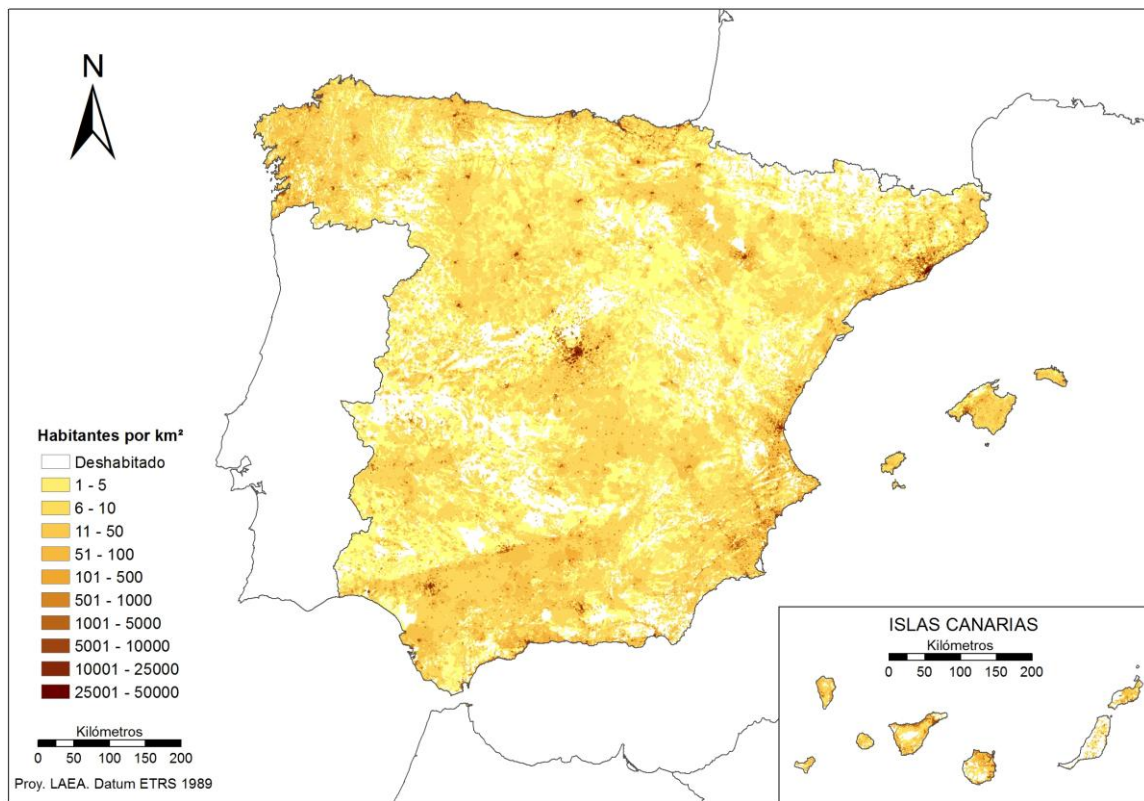
La aproximación *top-down* para la elaboración de cartografía de densidades de población se asimila a las llamadas técnicas dasimétricas en demografía. En efecto, un mapa dasimétrico no es más que un mapa de densidad de población repartido en unidades administrativas (en definitiva, un mapa de coropletas) pero cuyo reparto es mejorado por la inclusión de otra información complementaria, como son los tipos de usos del suelo.

En Europa, el empleo del CORINE Land Cover (CLC) ha permitido desarrollar una rejilla de población para el conjunto de los países integrantes de la Unión, partiendo de los datos de población municipales; trabajo impulsado por la Oficina Estadística de la Unión Europea (EUROSTAT, *Statistical Office of the European Communities*) a través del Centro Común de Investigación de la UE (*Joint Research Centre, JRC*) y en colaboración con la Agencia Europea de Medio Ambiente (*European Environment Agency, EEA*), con una metodología descrita por Gallego y Peedell [GAL01]. El resultado ha sido una cartografía conjunta de los países europeos con una resolución de 1 km<sup>2</sup>, descargable desde la página *web* de la EEA.

<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/population-density-disaggregated-with-corine-land-cover-2000-2>.

Sin embargo, los resultados del trabajo de la EEA para nuestro país se alejan bastante de una distribución realista, debido tanto a la baja resolución de CLC como a la diseminación de nuestra población rural. En este mapa se puede calcular que la población aparece dispersa sobre el 85% de las celdas de la rejilla, lo cual es poco representativo especialmente en el centro y sur de la geografía española. Aquí el método *top-down* tropieza con las 25 ha de resolución de CLC que lleva aparejada que muchos municipios españoles no presenten área urbana específica donde asignar la población.

En la figura 1 se muestra un detalle del mapa de la EEA generado por el JRC, y en la que aparece también zonas de provincias limítrofes. Se observa que la población se extiende difusamente por una gran parte del territorio, existiendo pocas zonas deshabitadas.



**Figura 1. Grid de densidad de población de 1km<sup>2</sup> EEA. 2001.**

Fuente: Información original: *Joint Research Center – Eurostat – European Environment Agency.*

Población: Censo 2001 - Instituto Nacional de Estadística.

Agregación a una resolución de 1Km<sup>2</sup>: *European Forum for Geostatistics* y elaboración propia.

La aparición de una nueva cartografía de usos del suelo en nuestro país, como es el Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España (SIOSE), abre nuevas posibilidades para la aplicación de la metodología *top-down*, y supone el punto de partida del trabajo que se presenta.

## 2. Metodología

Existe un amplio rango de posibilidades para realizar este *downscaling* o desagregación espacial. En este sentido, en un clásico artículo de Eicher y Brewer (2001) se tratan tres métodos básicos, los cuales están basados en las técnicas dasimétricas anteriormente descritas, y son:

1. El método binario, seguramente el más aplicado y conocido, utiliza la superficie artificial o urbana para distribuir la población dentro de los límites administrativos escogidos.
2. El método de las tres clases, que añade a la anterior información de artificial/urbana otros tipos de ocupación del suelo susceptible de albergar población (zonas agrícolas, etc.), y que en definitiva pueden ser más clases
3. El método de la variable límite, en el cual inicialmente se asigna la misma densidad a todas las clases dentro de cada unidad administrativa. Esta densidad es modificada por aplicación de diferentes umbrales para cada clase de cobertura, redistribuyendo posteriormente el exceso de población entre las otras clases

Según este estudio, el que mejor resultados obtiene es el último método, que ha sido revisado posteriormente por Gallego (2009) y utilizado para la elaboración del actual mapa de la EEA. En la línea de las conclusiones alcanzadas por Gallego (2010), y por tanto, asumiendo sus importantes limitaciones, estos métodos ofrecen significativas mejoras en el reparto de población y su relación con el medio ambiente. Evidentemente, el *downscaling* dista mucho de ser perfecto y, en general, la población atribuida a las clases no urbanas está sobreestimada. Sin olvidar que los ajustes estadísticos tienen una capacidad de mejora bastante limitada.

En conclusión, y de acuerdo con lo señalado por Martin, Tate y Langford (2000), parece más importante la elección de unos datos de entrada de calidad, como la cartografía de usos del suelo, que la elección del algoritmo de *downscaling*. Así, en este trabajo, la mejora de la distribución espacial de la población está fundamentalmente basada en el empleo de la cartografía SIOSE para usos del suelo, por lo que a su mejor resolución se refiere.

## 3. Fuentes de datos

Los dos sistemas de información de usos del suelo existentes para el conjunto del territorio español son CORINE Land Cover y SIOSE. Ambos son bien diferentes, aunque el factor más determinante es la escala de representación. Las principales diferencias se detallan en la tabla 1.

**Tabla 1. Diferencias entre CLC y SIOSE**

	<b>CORINE Land Cover</b>	<b>SIOSE</b>
ESCALA	1: 100.000	1: 25.000
SUPERFICIE. MÍNIMA CARTOGRAFIABLE	25 ha	1 ha zonas urbanas 2 ha zonas agrícolas
PRECISIÓN	100 m	15 m.
SUPERF. CUBIERTA	Toda Europa > 4 10 <sup>6</sup> km <sup>2</sup>	Toda España 0,5 10 <sup>6</sup> km <sup>2</sup>
MODELO DATOS	Jerárquico 3 niveles y 44 clases a nivel 3	Orientado a objetos 40 clases simples 46 clases compuestas predefinidas

Fuente: Elaboración propia.

La consecuencia de la baja resolución de CLC es contundente. Una importante cantidad de municipios españoles, concretamente el 57%, no disponen de área urbana considerada por CLC, al ser menor que esas 25 ha de superficie mínima cartografiada. El resultado para los métodos de *downscaling*, que necesitan esta área urbana para el reparto de la población municipal, es que se acaba asignando esta población en zonas agrícolas, o incluso forestales.

Este problema puede ser parcialmente mitigado utilizando una versión modificada de CLC, en la que se incorpora información sobre "soil sealing", es decir, sobre la cantidad de suelo "impermeabilizado" o artificial, información de la que dispone la EEA (Kopecky, 2009). Su aplicación está actualmente en fase de desarrollo (Batista, 2011).

La cartografía SIOSE, en cambio, ofrece una resolución de 1 ha para las áreas urbanas, lo que supone una importante mejora sobre CLC. Desarrollada bajo la organización del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y con la colaboración de las Comunidades Autónomas, se dispone de la versión 2005, descargable directamente desde su *web*.

Otro rasgo diferencial es que su modelo de datos es del tipo orientado a objetos, es decir, no asigna una etiqueta específica a un polígono determinado como en el caso de CLC, sino que describe su contenido, en una desagregación porcentual de cada uno de los tipos de ocupación del suelo que lo integra, completando el 100%. Las coberturas que integran un polígono pueden ser simples o, mucho más habitual, compuestas, quedando identificado detalladamente un polígono en una etiqueta compleja que contiene todas las coberturas denominada "rótulo SIOSE". De esta forma, combinando las clases simples y compuestas se pueden alcanzar hasta 820 formas distintas de cobertura, contra las 44 que ofrece CLC. Además, algunas de estas coberturas reciben una información adicional

mediante un índice de dos letras minúsculas denominado "atributo", indicando tipología u otras características concretas de la cobertura afectada.

En cuanto a los datos de población señalar que se han obtenido de las secciones censales, entidades de ámbito menor que los términos municipales y para las que se dispone de su distribución perimetral vectorizada. Estas entidades se definen fundamentalmente por la población que engloban, pues no deben sobrepasar los 2.000 habitantes. Pero, al igual que los términos municipales, la población está repartida uniformemente dentro de estos recintos, sin ningún tipo de distribución específica o más de detalle.

En definitiva, los 35.000 registros que presentan estas secciones censales, que superan ampliamente a la distribución municipal - tan sólo con 8.000 -, justifican plenamente su utilización. Esta mejora de información queda relegada a las grandes y medianas ciudades, puesto que el 72% de los municipios disponen de una única sección censal. Dichos datos (secciones censales y población) han sido facilitados por el Instituto Nacional de Estadística (INE) para el año 2006.

La rejilla utilizada para ubicar la población proviene de la web del Foro Europeo de Geostatística (*European Forum for Geostatistics, EFGS*), idéntica a la distribuida por la EEA y conforme a los estándares de la Infraestructura de Datos Espaciales en Europa (*Infrastructure for Spatial Information in Europe, INSPIRE*). Su paso de malla es de  $1\text{km}^2$ , y se representa en proyección *Lambert Equal Azimutal Area (LAEA)*, datum ETRS89.

#### 4. Desarrollo del trabajo

El primer paso consiste en determinar las coberturas susceptibles de albergar población residente y seleccionarlas, manteniendo los distintos tipos de edificación (o clases) como identificador exclusivo del polígono, pues son los que más afectan a la densidad de población. Estos tipos de edificación quedan definidos en SIOSE por los atributos anteriormente comentados, y los considerados como residencial son edificios aislados (*ea*), edificios entre medianeras (*em*), viviendas unifamiliares adosadas (*vd*) y viviendas unifamiliares aisladas (*va*). Las coberturas definidas como "Artificial Urbano" en SIOSE, es decir, UCS (Urbano casco), UDS (Urbano discontinuo) y UEN (Urbano ensanche), sólo se han tenido en cuenta para seleccionar coberturas que pueden disponer de atributos de tipo residencial y así poder discriminar de coberturas, p.e., de carácter agrícola o industrial.

La intersección de estas entidades con las secciones censales ya comienza a limitar la distribución de la población a los polígonos que contienen edificación de tipo residencial. Puede acontecer que en alguna de estas intersecciones se encuentre una única cobertura o clase (la llamada "clase pura"), entidad que juega un papel clave en el *downscaling*. En efecto, en estos casos la distribución de la población es exacta, y permite modelizar estadísticamente estas clases puras para utilizarlas en la distribución de la población en el resto de clases.

Dado un conjunto de clases o coberturas del suelo,  $c$ , con densidades diferenciadas dentro de una sección censal,  $m$ , su población total,  $P^m$ , se puede calcular como:

$$P^m = \sum_c P_c^m = \sum_c d_c^m \times S_c^m \quad \text{Eq. (1)}$$

donde  $P_c^m$  es la población de la cobertura  $c$  en la sección censal  $m$ ,  $d_c^m$  representa su densidad y  $S_c^m$  es su superficie.

Para las clases puras  $c = 1$ , y no hay problema de distribución; para el resto  $c > 1$ . Como el valor de  $S_c^m$  es conocido, debemos estimar los valores para  $d_c^m$  mediante diferentes procedimientos. Además, el algoritmo debe incluir la restricción de volumen (Tobler, 1979), es decir,  $P^m = \sum_c P_c^m$ .

El procedimiento más simple es asumir que  $d_c^m$  es constante para cada  $c$ , hasta un factor de proporcionalidad,

$$d_c^m = \theta_c \times \lambda^m \quad \text{Eq. (2)}$$

donde  $\theta_c$  depende solo de su clase (el tipo de edificación), y puede ser inferido de la información de las clases puras para cada  $c$ . La solución más lógica para  $\theta_c$  sería la densidad por clase. Estas densidades pueden ser aplicadas al resto de secciones censales para estimar su población, dado  $S_c^m$ . Como esta población, estimada a nivel de sección censal, no coincidirá con la población conocida, el factor  $\lambda^m$  permite asegurar que se cumpla la restricción picnofiláctica. Sustituyendo la Eq. (2) en la Eq.(1)

$$\begin{aligned} P^m &= \sum_c \theta_c \times \lambda^m \times S_c^m = \lambda^m \times \sum_c \theta_c \times S_c^m \\ \Rightarrow \lambda^m &= \frac{P^m}{\sum_c \theta_c \times S_c^m} \end{aligned} \quad \text{Eq. (3)}$$

Lo que es equivalente a una redistribución proporcional de la discrepancia inicial para un  $\theta_c$  dado.

De esta manera, comenzando por unos umbrales iniciales que coinciden con las densidades de las clases puras, se finaliza con las siguientes densidades:

$$d_c^m = \theta_c \times \frac{P^m}{\sum_c \theta_c \times S_c^m}. \text{ Por supuesto, una vez se ha estimado para todas las secciones}$$

censales y clases,  $P_c^m$ , es posible iterar el proceso hasta la convergencia.

El proceso es idéntico si se estratifican los municipios por alguna característica, como por ejemplo su tamaño poblacional. Un modelo de análisis de varianza (ANOVA) justifica esta



“estratificación”, mostrando diferencias significativas entre las diferencias de densidades por clase y estrato. Este es básicamente el método CLC-iterativo inicialmente escogido por Gallego y Peedel (2001) y descrito posteriormente en Gallego (2010), convenientemente adaptado a la estructura de nuestros datos.

Los métodos anteriores presentan la peculiaridad de que la relación entre densidades de población de dos clases es constante para todas las secciones censales pertenecientes al mismo estrato. Una relajación de esta restricción puede lograrse reformulando la ecuación (2) como:

$$d_c^m = \theta_c^m \times \lambda^m \quad \text{Eq. (4)}$$

donde  $\lambda^m$  tiene la misma función que antes, y  $\theta_c^m$  es un umbral de distribución por sección censal y clase, obtenido al modelizar densidades para las secciones censales de clase pura.

Dado que  $S_c^m$  es la superficie neta de edificación, debe existir una cierta relación entre las densidades al nivel de sección censal por clase y la densidad al nivel de término municipal, puesto que en este caso la heterogeneidad en el tamaño no influye. Empleando logaritmos, la correlación simple varía desde 0.68 para edificios aislados hasta 0.91 en viviendas adosadas. Esto sugiere estimar una relación doble logarítmica para las secciones censales puras de la forma

$$\log d_c^m = \alpha + \beta \log d^n + u \quad \text{Eq. (5)}$$

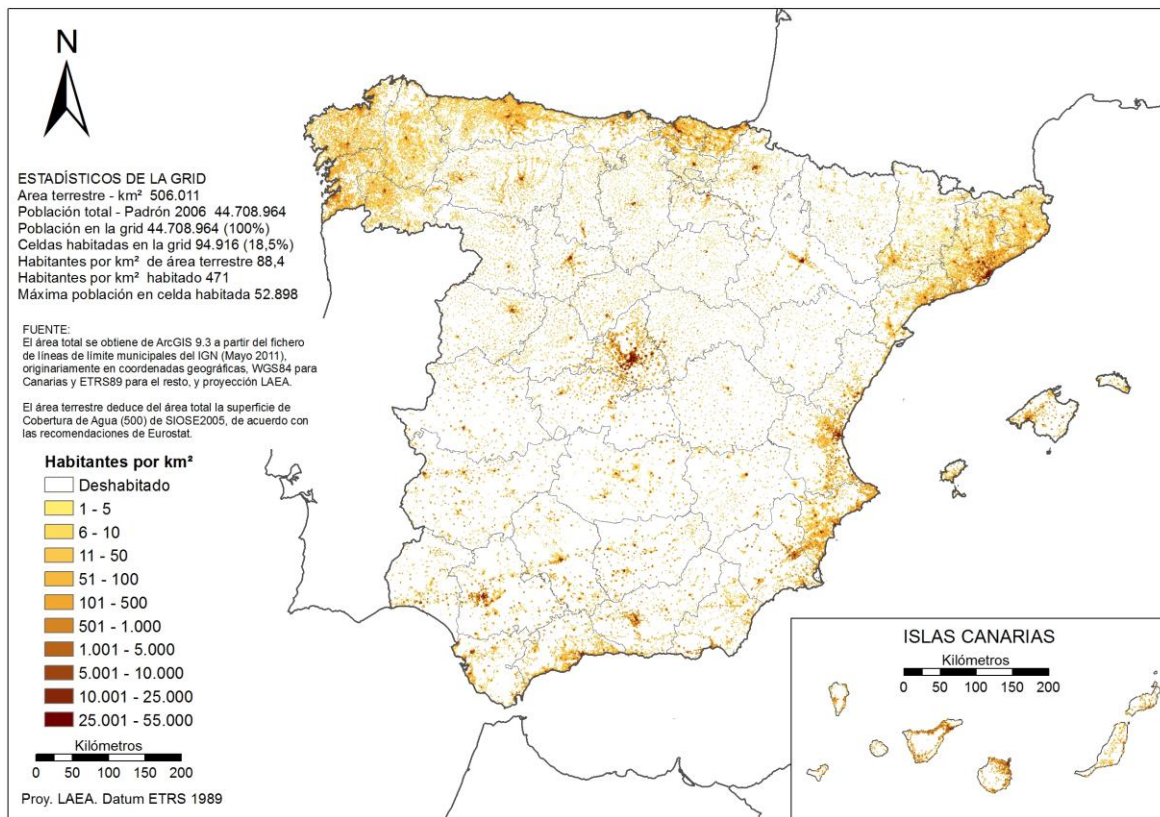
donde  $d^n$  es la densidad municipal sobre superficie neta edificada,  $d^n = \frac{P^n}{S^n}$ . Este modelo se estima para cada clase por separado y su proyección para las secciones censales no puras es empleada como una estimación de  $\theta_c^m$  en (4). Estos umbrales de distribución varían a nivel municipal por clase, y entonces la densidad municipal funciona como una variable continua de estratificación.

Para introducir variabilidad en los umbrales de redistribución a nivel de sección censal, se puede recurrir a aumentar la Eq.(5) con variables a este nivel geográfico,  $x^m$ :

$$\log d_c^m = \alpha + \beta \log d^n + \gamma'x^m + u \quad \text{Eq. (6)}$$

Una vez finalizado el proceso de cálculo, y obtenida la distribución vectorial de la población, se convierte a formato raster. Para ello, se reparte la población en la citada rejilla de 1x1 km y proyección LAEA, ponderándola en virtud de la superficie del polígono que ocupa y que intersecta con la rejilla.

La representación gráfica del mapa resultante para España se muestra en la figura 2. La simple comparación con la figura 1 ilustra perfectamente la distribución más precisa de la población en este segundo mapa.



**Figura 2. Grid de densidad de población de 1km<sup>2</sup>. 2006.**

Fuente: Padrón Municipal: Instituto Nacional de Estadística; SIOSE: Instituto Geográfico Nacional y elaboración propia.

De acuerdo con nuestros cálculos, la superficie habitada se reduce a prácticamente el 20% del total, mientras que la densidad media para el conjunto nacional es de unos 93 hab/km<sup>2</sup>, la densidad por km<sup>2</sup> habitado es notablemente más alta, con 495 habitantes. La figura 2 ofrece una representación más realista de la distribución de la población que otras obtenidas mediante el mapa de coropletas al nivel de municipio, o incluso de sección censal.

## 5. Validación

Los resultados obtenidos se han podido validar mediante una distribución poblacional georreferenciada a nivel de coordenada de residencia ("bottom-up") de la Comunidad de Madrid, facilitada por el Instituto de Estadística de dicha comunidad. Según estos datos, con un total de

6.458,684 habitantes empadronados, el 98,8% de la población se encuentra georreferenciada (6.378,775 hab.).

En primer lugar, se estudió la coincidencia de la población georreferenciada con los polígonos considerados como residencial en función del tipo de cobertura y atributo por SIOSE y seleccionados para el *downscaling*. El resultado es muy satisfactorio, pues el 97,8% de esa población se ubica dentro de dichos polígonos

Ya en el ámbito de la validación, se ha utilizado una variante del índice de discrepancia calculado por Gallego (2009, 2010), que originalmente es:

$$\Delta = \sum_j |P_j - P_j^{ref}| \quad \text{Eq. (7)}$$

donde  $j$  es el índice de las celdas de la rejilla, y el superíndice  $ref$  se refiere a la rejilla de referencia. El valor de  $\Delta$  varía desde 0, coincidencia perfecta, y el doble de la población, cuando la discrepancia es total.

Sin embargo, dada la dependencia de la Eq. (7) con el tamaño de la población, es preferible normalizarla a  $[0, 1]$  intervalo que es independiente de la población. Así pues, utilizaremos el índice relativo de discrepancia:

$$\delta = \frac{\Delta}{2 \cdot \sum_j P_j} = \frac{\sum_j |P_j - P_j^{ref}|}{2 \cdot \sum_j P_j} \quad \text{Eq. (8)}$$

de forma que  $100 \times \delta$  nos indicará el porcentaje de población ubicada incorrectamente.

La tabla 2 muestra  $100 \times \delta$  para una serie de métodos. En los mapas de coropletas a nivel municipal, los resultados obtenidos son comparables con los datos que ofrece Gallego para otros países europeos, con índices del orden del 70%. Si es al nivel de secciones censales, las discrepancias son mucho menores, del orden del 12%. Estos resultados son suficientemente elocuentes para ilustrar la mejora que supone trabajar con datos más desagregados, aunque sin todavía incluir la información de usos del suelo.

**Tabla 2. Índice de discrepancia normalizado,  $100 \times \delta$ , sobre la rejilla *bottom-up* de la Comunidad de Madrid**

MÉTODO	ÍNDICE
Municipios (coropletas)	69.02
Secciones censales (coropletas)	12.03
Dasimétrico binario: superficie de polígonos	5.35
Dasimétrico binario: superficie neta edificada	4.61
Densidad simple por clase	3.99
Densidad simple por clase y estrato	4.40
Regresión densidad doble log Eq.(5)	4.48
Regresión densidad doble log con variabilidad de sección censal Eq. (6)	4.41

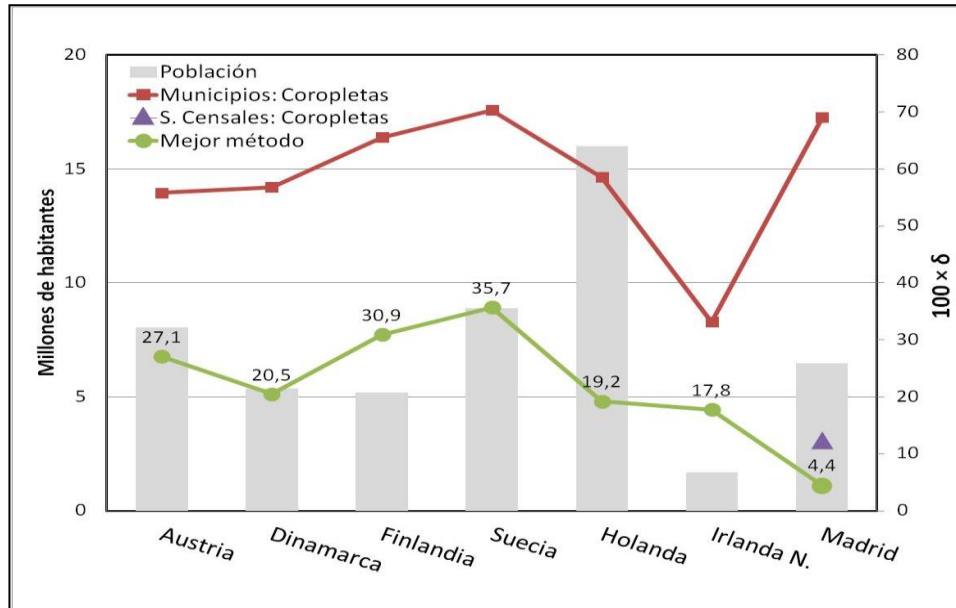
(Método elegido)

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos del INE, IEM, IGN y SIOSE 2005.

Las dos siguientes filas de la tabla ya incorporan la información de coberturas del suelo, empleando los métodos dasimétricos binarios (Langford, 1994, 2007). En el primer método, la población es asignada por superficie ponderada según el área del polígono, lo que reduce el error de discrepancia más de la mitad. En el segundo, las áreas ponderadas se obtienen de la superficie neta edificada dentro de los polígonos SIOSE, lo que reduce todavía más dicho error. En este último caso, las discrepancias son menores que el 5%, lo que supone una muy importante mejora sobre los países europeos ensayados por Gallego. Se puede interpretar que la ganancia de este primer método dasimétrico sobre los mapas de coropletas se debe a la información facilitada por el modelo jerárquico CLC de usos del suelo; y la reducción observada entre ambos métodos dasimétricos se debe al empleo del modelo orientado a objetos de SIOSE, para una resolución dada. Como consecuencia, parece clara la mejora que supone el incremento de resolución de la cartografía de usos del suelo cuando se utilice como información auxiliar en la desagregación de la población.

Basado en esto, todas las mejoras obtenidas por la modelización estadística de las densidades parecen marginales, puesto que la mejora según los diferentes métodos es bastante pequeña. De hecho, y tal como se observa, el menor índice de discrepancia corresponde al método más simple: extrapolación de densidades por clase a partir de las secciones censales puras. Sin embargo, dadas las especiales características del método, se opta finalmente por la *grid* obtenida a partir de la ecuación (6), ilustrada en la figura 2.

La figura 3 resume gráficamente la información numérica que aparece en el ya citado artículo de Gallego (2010) y la que se detalla en la tabla 2, adaptada a los valores del índice de discrepancia normalizado  $100 \times \delta$ . La población total queda expresada en este gráfico mediante barras verticales.



**Figura 3. Comparación de errores entre rejillas *bottom-up*.**

Fuente: Elaboración propia.

En esta figura se ilustra el mejor valor obtenido para el índice de discrepancia de todos los métodos aplicados por Gallego para algunos países europeos. Se puede observar en ella la notable mejora de la rejilla de la Comunidad de Madrid respecto al resto.

Es preciso recalcar, empero, que la comunidad madrileña no es una región típica, al estar fuertemente urbanizada, con unas altas densidad y concentración de la población. De hecho, debido a que el 67% de la población reside en secciones censales puras, el problema de la redistribución sólo afecta al 33% de la población. Esto explica el buen comportamiento de los métodos dasimétricos binarios en el caso de Madrid, mientras que limita el potencial de ganancia de la modelización estadística.<sup>1</sup>

La conclusión general de este ejercicio de validación queda así bien patente, según ya se indicaba en un artículo mencionado (Martín, 2010). La calidad y resolución de la información de base es mucho más importante que la elección del algoritmo de *downscaling*. Esta conclusión hay que aplicarla no solamente a la información sobre usos del suelo, sino también a los datos demográficos.

## 6. Una aplicación del modelo: redefinir ciudades

Una localización precisa de la población es clave para muchos planteamientos prácticos de interés social. Entre ellos, se puede presentar como una primera aplicación la posibilidad de definir el concepto de ciudad sin requerir límites administrativos, y basándose sólo en la distribución de la población. Con este objetivo, se parte de las propuestas metodológicas de la Oficina Estadística de la Unión Europea *Eurostat* (2012a) y la *DG-Regio* (Poelman, 2011) sobre cómo medir los procesos de urbanización a partir de la identificación de conglomerados y centros urbanos (*urban clusters* y *urban centers*).

De esta forma definimos como ciudad: el municipio, o conjunto de municipios contiguos, que tengan un determinado volumen de población perteneciente a un **centro urbano**. Esta definición remite a la de **centro urbano**: *aglomeración de población determinada por su densidad a partir de un umbral y un volumen mínimo de población, y ello de forma independiente a las unidades administrativas (términos municipales) sobre las que se asienta la aglomeración*.

La propuesta definida por *Eurostat* está armonizada en torno a tres conceptos fundamentales:

- **Celdas de población rural o áreas rurales:** Celdas fuera de las aglomeraciones urbanas. Obsérvese que estas celdas pueden estar habitadas o no.
- **Aglomeraciones urbanas (*urban clusters*):** Aglomeraciones de celdas contiguas, incluyendo las diagonales, con una densidad mínima de 300 habitantes por km<sup>2</sup>, y un umbral mínimo de población de 5.000 habitantes.
- **Centros urbanos o aglomeraciones urbanas de alta densidad (*urban centers* o *high density clusters*):** Aglomeraciones de celdas contiguas, excluyendo las diagonales pero rellenando los huecos y suavizando los contornos, con una densidad mínima de 1.500 habitantes por km<sup>2</sup>, y un umbral mínimo de población de 50.000 habitantes.

Nuestra redefinición de las ciudades parte de estos centros urbanos construidos a partir de aglomeraciones de celdas de alta densidad. Y, lógicamente, como dato de partida para estos cálculos, el modelo de población que se detalla en este artículo.

Sin embargo, si lo que se pretende es estudiar el grado de urbanización de las unidades administrativas de un país, para asociar el concepto de ciudad al poder político y administrativo de carácter local, necesitamos un criterio que transforme la información de la *grid*. Se han utilizado para ello los criterios actualmente empleados por *Eurostat* (2012a) en la determinación del grado de urbanización a nivel municipal:

- **Municipio rural o con baja densidad de población**, si al menos el 50% de la población municipal vive en celdas rurales.
- **Municipio urbano pequeño (*town*) o con densidad intermedia de población**, si menos del 50% de la población vive en celdas rurales y menos del 50% de la población vive en centros urbanos.
- **Municipio urbano (*city*) o densamente poblado**, si al menos el 50% de la población vive en centros urbanos o aglomeraciones urbanas de alta densidad.

A partir de la determinación de los municipios urbanos o densamente poblados utilizando el criterio anterior ya es posible definir **ciudad** directamente como *un municipio urbano, o conjunto de municipios urbanos contiguos*. De esta forma, es posible que una ciudad esté constituida por un solo municipio o por varios, siempre y cuando todos ellos tengan al menos el 50% de su población residiendo en el centro urbano identificado a partir de la *grid* de población y sean contiguos.

Planteado el proceso en los términos anteriores, en primer lugar se determinan las aglomeraciones urbanas de alta densidad mediante operaciones SIG sobre el modelo raster de población. Básicamente, consiste en seleccionar las celdas con una densidad de al menos 1.500 habitantes por km<sup>2</sup> y examinar las relaciones de vecindad entre ellas excluyendo las diagonales, es decir la vecindad se define solo respecto a las celdas superior e inferior y las situadas a la derecha y a la izquierda, de forma que las celdas vecinas que cumplan el criterio de densidad son agrupadas. La exclusión de las diagonales permite la determinación de un mayor número de centros urbanos.

A continuación se rellenan los huecos que han quedado dentro de la aglomeración y se procede al suavizado de los bordes mediante la aplicación de un filtro de mayoría que consiste en añadir a la agrupación cualquier celda que esté rodeada por 5 o más celdas conectadas del *cluster* de las 8 posibles. Finalmente, se descartan las agrupaciones con menos de 50.000 habitantes (Eurostat, 2012a), y se les asigna un identificador a las restantes. Estas aglomeraciones son las representadas en la figura 4 mostrada más adelante.

Este proceso generó 105 centros urbanos o aglomeraciones de alta densidad, implicando a 2.463 celdas de la *grid*, repartidos entre 287 municipios que les dan soporte, y que albergan al 50,0% de la población total española: 22,3 millones de habitantes. Un análisis del tamaño de los centros urbanos por volumen de población se ofrece en la tabla 3.

Sin embargo, estos centros urbanos todavía no definen las ciudades, para ello es necesario pasar de los centros urbanos a los municipios que les dan soporte y aportan a los mismos un volumen importante de residentes. El siguiente paso, es pues, estudiar las relaciones entre los centros urbanos y la división administrativa del estado.

**Tabla 3. Distribución de los centros urbanos por tamaño de población**

Tamaños de centros urbanos	Número	%	Población	%
Más de 1 millón de habitantes	3	2,9%	7 049 820	31,5%
Entre 500 mil y el millón de habitantes	4	3,8%	2 568 711	11,5%
Entre los 250 y los 500 mil habitantes	13	12,4%	3 952 659	17,7%
Entre los 100 y los 250 mil habitantes	35	33,3%	5 300 660	23,7%
Menos de 100 mil habitantes	50	47,6%	3 477 040	15,6%
<b>Total general</b>	<b>105</b>	<b>100,0%</b>	<b>22 348 890</b>	<b>100,0%</b>

Fuente: Elaboración propia.

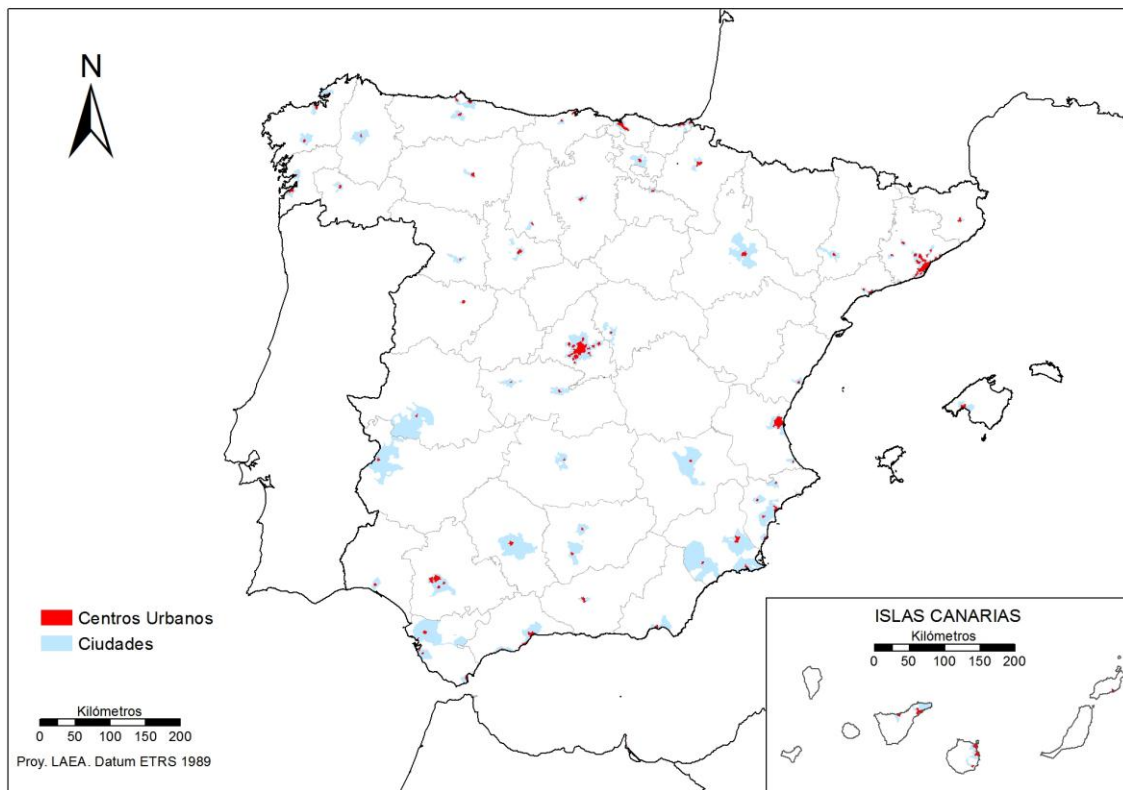
Este proceso permite asignar a cada uno de los 287 municipios la parte de su población que reside en dichos centros y aquella que reside fuera de ellos. El proceso de distribución de la población se realiza a nivel de celda, de forma que para las celdas interiores a un municipio la población se asigna automáticamente al centro urbano correspondiente o se clasifica como no perteneciente a un centro urbano. Inicialmente la población se distribuye entre las partes proporcionalmente al área de cada segmento tras la intersección, a continuación se aplica un proceso de ajuste bi-proporcional RAS de forma que la distribución final cumpla las restricciones de volumen en las dos dimensiones consideradas, a nivel de municipios, cuya población es conocida a partir del Padrón, y a nivel de centro urbano, cuya población es conocida a partir de la *grid* representada en la figura 2. Este proceso se realiza para cada centro urbano de forma que, para cada municipio conocemos, no sólo la población que vive en un centro urbano y fuera de él, sino la población de cada centro urbano presente en el municipio, en el caso de que haya más de uno, y por otra parte, para cada centro urbano conocemos la distribución de su población entre los diferentes municipios que le sirven de soporte, en el caso de que la aglomeración se extienda más allá de un municipio.

De acuerdo con los criterios de *Eurostat* (2012a) ya indicados, se obtienen 220 municipios urbanos densamente poblados. Finalmente se examinan las relaciones de vecindad entre ellos, y a partir de aquí se determinan las ciudades analizando la contigüidad de los mismos. Este proceso genera 70 ciudades "administrativas", en el sentido de estar constituidas por municipios o agrupaciones de los mismos; 40 de ellas están formadas por un solo municipio y el resto, 30, por más de uno.

Como resumen, la figura 4 muestra el conjunto de las 70 ciudades con sus 105 núcleos urbanos sobreimpuestos, y que representan los 220 municipios urbanos definidos con el criterio de *Eurostat*. Entre todos ellos engloban al 53,7% de la población española, 24,0 millones de habitantes. Esto incluye la totalidad de la población de los municipios, no sólo la que reside en los centros urbanos, sino también la que reside fuera de ellos.



La lista pormenorizada de estas 70 ciudades se detalla en la tabla 4. Como se puede observar, las ciudades más extensas son, en orden decreciente, Barcelona, que cubre 32 municipios, Valencia, con 31 municipios, y Madrid, con 16 municipios, y que sin embargo es la ciudad más poblada: 4,9 millones de residentes, que representan el 20,5% de toda la población que vive en las ciudades. Estas 3 ciudades, junto con Sevilla, que incorpora 11 municipios, son las únicas que superan el millón de habitantes.



**Figura 4. Ciudades y sus centros urbanos. 2006.**

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4. Ciudades, población y número de municipios implicados**

Nº de ciudad	Nombre de la ciudad	POBLACION				Nº de municipios
		de la ciudad	% sobre el total	del mayor municipio	% sobre la ciudad	
1	Madrid	4 930 681	20,5%	3 128 600	63,5%	16
2	Barcelona	3 660 309	15,2%	1 605 602	43,9%	32
3	Valencia	1 389 877	5,8%	805 304	57,9%	31
4	Sevilla	1 042 955	4,3%	704 414	67,5%	11
5	Bilbao	799 598	3,3%	354 145	44,3%	14
6	Málaga	733 511	3,1%	560 631	76,4%	4
7	Zaragoza	649 181	2,7%	649 181	100,0%	1
8	Murcia	625 605	2,6%	416 996	66,7%	2
9	Alicante/Alacant	589 169	2,5%	322 431	54,7%	3
10	Palmas de Gran Canaria (Las)	474 581	2,0%	377 056	79,5%	2
11	Palma de Mallorca	375 048	1,6%	375 048	100,0%	1
12	Gijón	373 797	1,6%	274 472	73,4%	3
13	Santa Cruz de Tenerife	365 309	1,5%	223 148	61,1%	2
14	Córdoba	322 867	1,3%	322 867	100,0%	1
15	Valladolid	319 943	1,3%	319 943	100,0%	1
16	Donostia-San Sebastián	319 600	1,3%	183 308	57,4%	6
17	Cádiz	296 469	1,2%	130 561	44,0%	3
18	Vigo	293 255	1,2%	293 255	100,0%	1
19	Pamplona/Iruña	289 353	1,2%	195 769	67,7%	11
20	Jerez de la Frontera	282 645	1,2%	199 544	70,6%	2
21	Coruña (A)	269 867	1,1%	243 320	90,2%	2
22	Granada	262 241	1,1%	237 929	90,7%	3
23	Badajoz	233 966	1,0%	143 748	61,4%	2
24	Tarragona	232 925	1,0%	131 158	56,3%	2
25	Vitoria-Gasteiz	227 568	0,9%	227 568	100,0%	1
26	Oviedo	214 883	0,9%	214 883	100,0%	1
27	Almería	185 309	0,8%	185 309	100,0%	1
28	Santander	182 926	0,8%	182 926	100,0%	1
29	Burgos	173 676	0,7%	173 676	100,0%	1

Nº de ciudad	Nombre de la ciudad	POBLACION				Nº de municipios
		de la ciudad	% sobre el total	del mayor municipio	% sobre la ciudad	
30	Castellón/Castelló	172 110	0,7%	172 110	100,0%	1
31	León	165 398	0,7%	136 985	82,8%	2
32	Albacete	161 508	0,7%	161 508	100,0%	1
33	Salamanca	159 754	0,7%	159 754	100,0%	1
34	Logroño	147 036	0,6%	147 036	100,0%	1
35	Huelva	145 763	0,6%	145 763	100,0%	1
36	Lleida	125 677	0,5%	125 677	100,0%	1
37	Marbella	125 519	0,5%	125 519	100,0%	1
38	Girona	121 972	0,5%	89 890	73,7%	3
39	Mataró	118 748	0,5%	118 748	100,0%	1
40	Jaén	116 769	0,5%	116 769	100,0%	1
41	Ourense	116 563	0,5%	108 137	92,8%	2
42	Algeciras	112 937	0,5%	112 937	100,0%	1
43	Ferrol	112 063	0,5%	76 399	68,2%	2
44	Santiago de Compostela	93 458	0,4%	93 458	100,0%	1
45	Lugo	93 450	0,4%	93 450	100,0%	1
46	Torreveja	92 034	0,4%	92 034	100,0%	1
47	Lorca	89 936	0,4%	89 936	100,0%	1
48	Elda	88 164	0,4%	55 138	62,5%	2
49	Talavera de la Reina	83 793	0,3%	83 793	100,0%	1
50	Palencia	82 263	0,3%	82 263	100,0%	1
51	Manresa	82 134	0,3%	71 772	87,4%	2
52	Gandía	80 315	0,3%	74 827	93,2%	4
53	Pontevedra	80 096	0,3%	80 096	100,0%	1
54	Toledo	77 601	0,3%	77 601	100,0%	1
55	Ceuta	75 861	0,3%	75 861	100,0%	1
56	Guadalajara	75 493	0,3%	75 493	100,0%	1
57	Premià de Mar	71 671	0,3%	27 860	38,9%	5
58	Ciudad Real	70 124	0,3%	70 124	100,0%	1
59	Benidorm	67 627	0,3%	67 627	100,0%	1
60	Realejos (Los)	67 331	0,3%	36 746	54,6%	2

Nº de ciudad	Nombre de la ciudad	POBLACION				Nº de municipios
		de la ciudad	% sobre el total	del mayor municipio	% sobre la ciudad	
61	Melilla	66 871	0,3%	66 871	100,0%	1
62	Zamora	66 135	0,3%	66 135	100,0%	1
63	Línea de la Concepción (La)	63 026	0,3%	63 026	100,0%	1
64	Vilanova i la Geltrú	62 826	0,3%	62 826	100,0%	1
65	Linares	61 452	0,3%	61 452	100,0%	1
66	Alcoy/Alcoi	60 590	0,3%	60 590	100,0%	1
67	Torrelavega	60 411	0,3%	56 143	92,9%	2
68	Igualada	58 571	0,2%	36 817	62,9%	3
69	Santa Lucía de Tirajana	57 211	0,2%	57 211	100,0%	1
70	Arrecife	55 203	0,2%	55 203	100,0%	1
<b>Total</b>		<b>24 002 578</b>	<b>100%</b>			<b>220</b>

Fuente: Elaboración propia.

## 7. Conclusiones y recomendaciones

En este artículo se presenta una *grid* de densidad de población para nuestro país a partir de la población de las secciones censales y un modelo de alta resolución de usos del suelo de estructura compleja como es SIOSE. Un breve ejercicio de validación muestra que estos resultados son altamente precisos, resaltando la importancia de la resolución y calidad de la información de partida. En efecto, a partir de cierto punto, la modelización estadística no mejora el ajuste. Además, la conclusión de Gallego (2010) confirma que, dado un conjunto de datos, la precisión de los diferentes métodos estadísticos cambia sólo moderadamente.

Las aplicaciones para este conjunto de datos son numerosas, especialmente en el análisis de las relaciones entre población y medio ambiente. Como ejemplo ilustrativo, en este artículo se ha incluido una de ellas, como es la definición de la ciudad administrativa. Otras, sin embargo, están actualmente en proceso de investigación. Cuestiones tales como la accesibilidad de los servicios públicos e infraestructuras, la definición de áreas rurales y urbanas (Eurostat, 2010), y la inter-relación entre ambos (Dijkstra, 2008), se acoplan bastante naturalmente según este sistema zonal, el cual es independiente de los límites administrativos. Claramente, más variables socio-demográficas, tales como sexo, edad o nacionalidad, podrían ser muy útiles. La incorporación de estas variables está en línea con estos métodos y con la información públicamente disponible.

Otra gama de aplicaciones se establecería alrededor de los estudios por daños a la población de los riesgos naturales e inducidos. Efectivamente, uno de los apartados de mayor alcance en este tipo de estudios es la valoración de afección a la población y la posible pérdida de vidas consiguiente. Así pues, la localización de los ámbitos de residencia resulta clave para la prevención y/o cuantificación de los daños producidos especialmente por episodios catastróficos, algunos de ellos de máxima actualidad, como terremotos, inundaciones o deslizamientos de ladera.

Como recomendación global en el ámbito europeo, los esfuerzos deben dirigirse especialmente a distribuir la población en unidades administrativas preferentemente menores que los municipios, como las secciones censales en España. Y, además, incrementar la resolución de la cartografía de ocupación del suelo, mejorando el CLC, como la más representativa en el conjunto europeo.

En lo que respecta a las conclusiones finales, se puede afirmar que la distribución de población realizada en este trabajo es suficientemente precisa y responde adecuadamente a los planteamientos inherentes a una ubicación realista de la población, todo ello a la espera que las distribuciones *bottom-up* se vayan generalizando. Además, cuando se produzca la actualización de SIOSE, será posible estudiar los cambios acontecidos en la distribución de la población.

En este sentido, cabe destacar que los datos obtenidos según este modelo y aquí presentados, han sido aportados a la ya citada *Eurostat*, para elaborar su cartografía demográfica correspondiente al año 2006. Su resultado más visible es el poster compilado para el conjunto de la Unión Europea dentro del proyecto GEOSTAT denominado "*GEOSTAT Population grid 2006*" (Eurostat, 2012b).

Hay que tener en cuenta, ya por último, que cuando los datos demográficos se encuentren ampliamente disponibles en los formatos anteriores, los métodos aquí expuestos podrán ser aplicados a los modelos de distribución dinámicos y continuos de población (Martin, 2010), incluso a la desagregación espacial de datos económicos (Nordhaus 2002, 2006, 2008), información para la que no existe todavía una posible georreferenciación *bottom-up*.

## Agradecimientos

Es justo destacar la ayudas recibidas por muchas personas de diferentes instituciones públicas y privadas, entre las que cabe señalar el Instituto Valenciano de Investigaciones Económicas (IVIE), el Instituto Nacional de Estadística, el Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid, el Instituto Geográfico Nacional (y *SIOSE*), y el *European Topic Centre (ETC)* de la Universitat Autònoma de Barcelona, así como a los asistentes a las Conferencias del *European Forum for Geostatistics* en Tallinn (Estonia), 2010 y Lisboa (Portugal), 2011.

Los autores agradecen el soporte financiero obtenido desde el programa de investigación promovido por la Fundación BBVA - IVIE. Francisco Goerlich agradece la ayuda financiera del proyecto del Ministerio de Ciencia y Tecnología ECO2011-23248.

## Referencias bibliográficas

Batista y Silva (2011): "The effect of ancillary data in population dasymetric mapping: A test case using the original and a modified version of CORINE Land Cover", presented at the *European Forum for Geostatistics 2011*, Lisbon (Portugal), 12-14 October. Disponible en [www.efgs.info/workshops/efgs-2011-lisboa-portugal](http://www.efgs.info/workshops/efgs-2011-lisboa-portugal).

Capdevila i Subirana, J. (2009): *Historia del deslinde de la frontera hispano-francesa. Del tratado de los Pirineos (1659) a los tratados de Bayona (1856-1868)*. Centro Nacional de Información Geográfica. Instituto Geográfico Nacional. Ministerio de Fomento. Disponible en [www.ign.es/ign/layout/In/libDigitalesPublicaciones.do](http://www.ign.es/ign/layout/In/libDigitalesPublicaciones.do).

De Cos Guerra, O. y Reques Velasco, P. (2005): "Los cambios en los patrones territoriales de la población española (1900-2001)", *Papeles de Economía Española*, 104, 167-192.

Dijkstra, L. & Poelman, H. (2008): "Remote rural regions: How proximity to a city influences the performance of rural regions", *Regional Focus*, 1. Brussels: DG-Regio.

Eicher, C. & Brewer, C. (2001): "Dasymetric mapping and areal interpolation: Implementation and evaluation", *Cartography and Geographic Information Science*, 28, 125-138.

EUROSTAT (1999): *Recommendations for a harmonized definition of calculation of surface area of territorial units. Methods and Nomenclature. . Theme 1*. Luxemburg: European Commission.

EUROSTAT (2010): *Eurostat regional yearbook 2010*. Luxemburg, Publication Office of the European Union, Eurostat, Cap. 15.

EUROSTAT (2012a): *The new degree of urbanization*. Luxemburgo: Comisión Europea, Eurostat. Disponible en [ec.europa.eu/eurostat/ramon/miscellaneous/index.cfm?TargetUrl=DSP\\_D](http://ec.europa.eu/eurostat/ramon/miscellaneous/index.cfm?TargetUrl=DSP_D)

EUROSTAT (2012b): *GEOSTAT Population grid 2006*. Disponible en: [epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/gisco\\_Geographical\\_information\\_maps/popups/referenc es/population\\_distribution\\_demography](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/gisco_Geographical_information_maps/popups/referenc es/population_distribution_demography)

Gallego, F. J. & Peedell S. (2001): "Using land cover to map population density", in *Towards agri-environmental indicators. Integrating statistical and administrative data with land cover information*. Topic report nº 6. pp. 94-105. Luxemburg: Eurostat. DG Agriculture. DG Environment. Joint Research Center. European Environment Agency.

Gallego, F.J. (2009): *Population density grid of EU-27+*. Version 5. Summary of the downscaling method. Methodological Documento disponible via EEA. Disponible en [www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/population-density-disaggregated-with-corine-land-cover-2000-2](http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/population-density-disaggregated-with-corine-land-cover-2000-2)

Gallego, F. J. (2010): "A population density grid of the European Union", *Population & Environment*, 31(6), July 2010, 460-473. Disponible en <http://www.springerlink.com/content/0199-0039/31/6/>

Goerlich, F. J. & Mas, M. (2008): "Empirical evidence of population concentration in Spain", *Population-E*, 63(4), 635-650.

INSPIRE (2010a): *D2.8.I.1 INSPIRE Specification on Coordinate Reference Systems – Guidelines. Version 3.1*. Brussels: INSPIRE Thematic Working Group Coordinate Reference Systems and Geographical Grid Systems (26 April). Disponible en [inspire.jrc.ec.europa.eu/index.cfm/pageid/2](http://inspire.jrc.ec.europa.eu/index.cfm/pageid/2).

INSPIRE (2010b): *D2.8.I.2 INSPIRE Specification on Geographical Grid Systems – Guidelines. Version 3.0.1*. Brussels: INSPIRE Thematic Working Group Coordinate Reference Systems and Geographical Grid Systems (26 April). Disponible en [inspire.jrc.ec.europa.eu/index.cfm/pageid/2](http://inspire.jrc.ec.europa.eu/index.cfm/pageid/2).

Institute National de la Statistique et des Etudes Economiques (INSEE). *Données carroyées de la population*. Disponible en [www.insee.fr/fr/themes/detail.asp?reg\\_id=0&ref\\_id=donnees-carroyees](http://www.insee.fr/fr/themes/detail.asp?reg_id=0&ref_id=donnees-carroyees)

Kopecky, M. & Kahabka, H. (2009): *2006 GMES Fast track service precursor on land monitoring. Updated delivery report. European Mosaic*. Copenhagen: EEA, 2009. Disponible en [www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eea-fast-track-service-precursor-on-land-monitoring-degree-of-soil-sealing-100m-1](http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eea-fast-track-service-precursor-on-land-monitoring-degree-of-soil-sealing-100m-1)

Langford, M. (2007): "Rapid facilitation of dasymetric-based population interpolation by means of raster pixel maps", *Computers, Environment and Urban Systems*, 31(1), January, 19-32.

Langford, M. & Unwin, D. J. (1994): "Generating and mapping population density surfaces within a geographical information system", *Cartographic Journal*, 31(1), 21-26.

Martin, D., Tate, N. J. & Langford, M. (2000): "Refining population surface models: Experiments with Northern Ireland Census data", *Transactions in GIS*, 3, 285-301.

Martin, D. (2010): "Progress report: 24-hour gridded population models", presented at the *European Forum for Geostatistics 2010*, Tallinn (Estonia), 5-7 October. Disponible en [www.efgs.info/workshops/efgs-2010-tallinn-estonia](http://www.efgs.info/workshops/efgs-2010-tallinn-estonia).

Mennis, J. (2003): "Generating surface models of population using dasymetric mapping", *Professional Geographer*, 55(1), 31-42.

Nordhaus, W. D. (2002): *Alternative approaches to spatial rescaling. Version 2.2.2*. Mimeo. New Haven (Connecticut): Yale University (28 February ). Disponible en [gecon.yale.edu/research-papers](http://gecon.yale.edu/research-papers).

Nordhaus, W. D. (2006): "Geography and macroeconomics: New data and new findings", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103(10), March , 3510-3517. Disponible en [gecon.yale.edu/research-papers](http://gecon.yale.edu/research-papers).

Nordhaus, W. D. (2008): "New metrics for environmental economics: Gridded economic data", *The Integrated Assessment Journal*, Bridging Sciences & Policy, 8(1), 73-84.

Poelman, H. (2011): "Population distribution grid uses in the context of regional and urban analysis at European scale", ponencia presentada en el *European Forum for Geostatistics 2011*, Lisboa, 12-14 de octubre. Disponible en [www.efgs.info/workshops/efgs-2011-lisboa-portugal](http://www.efgs.info/workshops/efgs-2011-lisboa-portugal).

Cantarino Marti, I., Goerlich Gisbert, F. (2013): “Un modelo de distribución de población para España”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-1, p. 246-269. ISSN: 1578-5157

---

Reher, D.S. (2006): “Perfiles regionales de la población española en tiempos históricos”, en Juan Antonio Fernández Cordón y Jesús Leal Maldonado (Eds.): *Análisis Territorial de la Demografía Española*. Fundación Fernando Abril Martorell. Patrocinado por la Fundación ICO, pp. 53-83.

SIOSE (2010): *Land Cover and Use Information System (SIOSE). Technical Document Version 2.0*. Madrid: National Geographic Institute (IGN), 29 January. Disponible en [inspire.jrc.ec.europa.eu/index.cfm/pageid/241/referenceid/32883](http://inspire.jrc.ec.europa.eu/index.cfm/pageid/241/referenceid/32883)

Tobler, W. R. (1979): “Smooth pycnophylactic interpolation for geographical regions”, *Journal of the American Statistical Association*, 74(367), September, 519-530.

Vidal, C.; Gallego, J. y Kayadjanian, M. (2001): “Geographical use of statistical data. Methodological overview”, in *Towards agri-environmental indicators. Integrating statistical and administrative data with land cover information*. Topic report nº 6. Eurostat. DG Agriculture. DG Environment. Joint Research Center. European Environment Agency, ch. 1, 11-24.

Villa, G. (2009): CLC-OO. *Data model. Application and examples*. 2nd EIONET OODM Working Group Meeting. Madrid: National Geographic Institute (IGN), 10-11 December. Disponible en [inspire.jrc.ec.europa.eu/index.cfm/pageid/241/referenceid/32916](http://inspire.jrc.ec.europa.eu/index.cfm/pageid/241/referenceid/32916)

Zoido Naranjo, F. y Arroyo Pérez, A. (2004): “La población de España”, en Arroyo Pérez, A. (Coor.): *Tendencias demográficas durante el siglo XX en España*. Universidad de Sevilla e Instituto Nacional de Estadística. (1 de febrero). Madrid. 17-75. Disponible en [www.ine.es/prodyser/pubweb/tend\\_demo\\_s20/tend\\_demo\\_s20.htm](http://www.ine.es/prodyser/pubweb/tend_demo_s20/tend_demo_s20.htm).

---

<sup>1</sup> Señalar que, tal como se ha observado anteriormente, el 2,8% de la población de Madrid está fuera de las coberturas consideradas en SIOSE como susceptibles de albergar población. Por tanto, los índices de discrepancia de la tabla 2 son realmente pequeños.