

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 (Artículos)*, n° 13, p. 337-366. ISSN: 1578-5157

METODOLOGÍA PARA LA DESAGREGACIÓN ESPACIAL DE LA INFORMACIÓN DEMOGRÁFICA, EN ÁMBITOS URBANOS, MEDIANTE LA ELABORACIÓN DE UNIDADES ESPACIALES MODIFICABLES

JOSÉ ALFONSO GÁLVEZ SALINAS^{1*}, JÖRG FISCHER^{2**} y LUIS MIGUEL VALENZUELA MONTES^{3*}

*Laboratorio de Planificación Ambiental. Departamento de Urbanística y Ordenación del Territorio. E.T.S. Ing. Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Granada Campus de Fuentenueva, s/n. 18071 Granada, España

**FFGeo Geógrafos S.L. Av. Constitución, 9 Bjdcha, 18001 Granada

¹josealfonsogs@ugr.es; ²jfischer@ffgeo.com; ³lvmontes@ugr.es

RESUMEN

La ineludible necesidad de ser cada vez más precisos en los procesos de planificación (urbana, territorial, del transporte, ambiental, etc.), especialmente en aquellos casos donde la población se ve afectada, conlleva innovar y mejorar los métodos y herramientas que permiten localizar espacialmente a las personas en los ámbitos urbanos.

El contenido del artículo propone un método de desagregación espacial de la información demográfica, para ámbitos urbanos, mediante la generación de *Unidades Espaciales Modificables*. Para ello, en un primer bloque, se hace un breve recorrido por los diferentes métodos de desagregación existentes, tratando de remarcar sus principales ventajas y deficiencias en relación con los nuevos que han ido apareciendo. En un segundo apartado, se desarrolla el marco teórico que sustenta la propuesta metodológica, describiendo los conceptos clave (techo edificable, uso pormenorizado, edificación,...), su incidencia y su enfoque sobre la misma. En el apartado tercero, se pormenoriza la metodología desarrollando paso a paso las etapas necesarias para conseguir una desagregación espacial de la información demográfica en unidades espaciales modificables. Por último, se realiza un análisis comparativo entre los resultados obtenidos de la aplicación de varios métodos de desagregación, con la intención de mostrar las principales ventajas e inconvenientes de la metodología que se propone, extrayendo, paralelamente, una serie de conclusiones acerca de su idoneidad.

Palabras clave: unidades espaciales modificables, desagregación espacial, información demográfica.

METHOD FOR SPATIAL DISSAGREGATION OF DEMOGRAPHIC INFORMATION IN URBAN SPACE BY MEANS OF MODIFIABLE AREAL UNITS

ABSTRACT

The pressing requirement to increase precision in planning processes (urban planning, regional planning, transport planning, environmental planning, etc.) leads to the need of innovating and improving new methods and tools in order to be able to determine more accurately spatial location of persons, especially where inhabitants may be affected.

Within this context, this paper proposes a disaggregation method of demographic information to be applied on urban scope by means of *Modifiable Areal Units*. First, we propose a brief reflection on current disaggregation methods that are used actually and their principal advantages and deficiencies in relation with the new ones. Second, we develop the theoretical framework that supports the method, describing the keys concepts (building height, detailed uses,...) and their influence and approach in that process. Third, we detail the development stage to the method step by step for getting a spatial disaggregating of demographic information by means of modifiable areal units. Finally, we undertake a behaviour comparative analysis of various methods with the aim of identifying the main advantages and disadvantages of the proposed method and deducing a serial of conclusions about its suitability.

Keywords: modifiable areal units, spatial disaggregation, demographic information.

1. Introducción

En el ámbito de la planificación (territorial, urbana, del transporte o ambiental) se hace imprescindible disponer de una información de calidad, en detalle y rigurosa, a partir de la cual poder elaborar los pertinentes análisis y evaluaciones, de forma que se obtengan unos resultados fiables y acordes con la realidad. Actualmente, este tipo de información está muy condicionada por la dimensión espacial, sobre todo en ámbitos urbanos, debido a la alta intensidad de actividades, diversidad de usos, densidades y, consecuentemente, al elevado número potencial de ciudadanos afectados. Por tanto, resulta especialmente relevante para temas ambientales como, por ejemplo, la contaminación acústica (Directiva 2002/49/CE), donde se precisa conocer con el mayor grado de exactitud posible la cantidad de personas sometidas a niveles de presión sonora superiores a los criterios normativos de calidad (Hinton, 2002), o también en estudios de demanda del transporte público, para determinar el número potencial de personas servidas (Moreno y Prieto, 2003; García-Palomares *et al.*, 2012).

Actualmente, la información demográfica disponible para el territorio español queda recogida en los censos y padrones de población del Instituto Nacional de Estadística (INE), así como en los distintos institutos y servicios autonómicos de estadística (Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía, Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid, etc.). Normalmente, su representación espacial suele variar entre la escala municipal y la correspondiente a la sección censal (figura 1), aunque, excepcionalmente, está disponible en otras de mayor detalle como ocurre

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 (Artículos)*, n° 13, p. 337-366. ISSN: 1578-5157

con el microseccionado de Madrid (Subero, 2009; Gutiérrez *et al.*, 2002). Sin embargo, estas desagregaciones, en la mayoría de los casos, no resultan totalmente satisfactorias para ciertas demandas (académicas, profesionales, administrativas e incluso sociales), precisándose desarrollar nuevos métodos y procedimientos con los que suplir las principales deficiencias detectadas, fundamentalmente derivadas de la distorsión espacial, debido a que (Moreno y Martínez, 2005):

- Cubren la totalidad del territorio, lo que ocasiona que extensas áreas despobladas o con escasos habitantes se agreguen e incluyan junto a zonas urbanas consolidadas.
- Disponen de una sectorización que se basa, en muchos casos, en cuestiones históricas o consideraciones puramente administrativas.
- Incluyen áreas urbanas con usos no residenciales, lo que altera la correcta georreferenciación de las personas.
- Las cifras de población se asignan estadísticamente al conjunto del área de la sección correspondiente.
- Y por último, atendiendo a la actual categorización de la información demográfica se puede apreciar que esta responde meramente a una justificación instrumental organizada para dar servicio a la gestión de las convocatorias electorales, condicionando mucho su aplicación para otros fines.

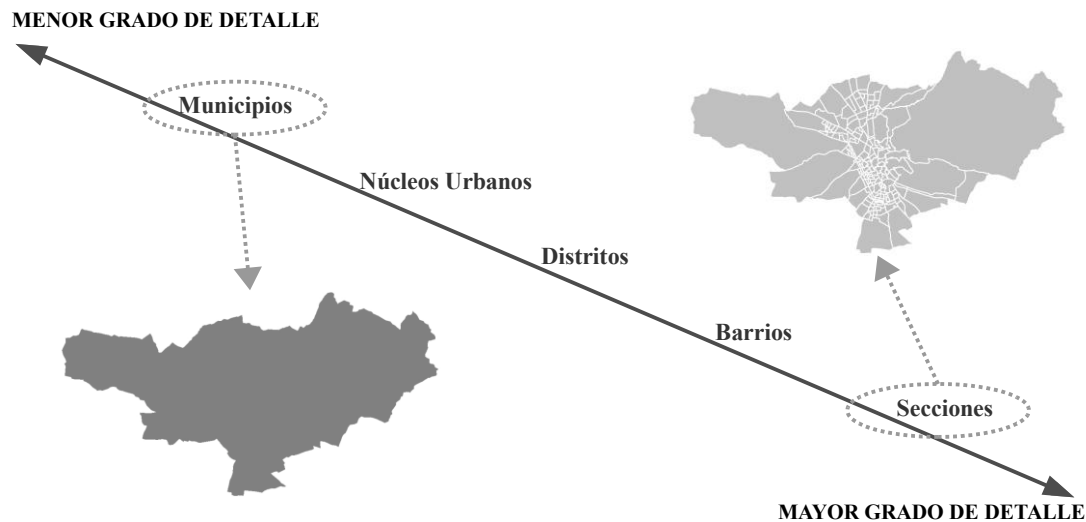


Figura 1. Grados de detalle de las distintas desagregaciones de la información demográfica.

Fuente: Elaboración propia.

Como consecuencia de todas las deficiencias anteriores, surge la necesidad de ir más allá de la simple representación espacial por unidades preestablecidas (Langford *et al.*, 1994), como son las secciones censales o divisiones similares, y tratar de elaborar *Unidades Espaciales Modificables*ⁱ (Openshaw, 1984; Moreno y Martínez, 2005) que permitan adaptar la información a las condiciones y necesidades que cada caso de estudio demande. En este sentido, muchos autores vienen proponiendo, desde hace tiempo, técnicas y métodos de desagregación espacial a partir de los datos

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 (Artículos)*, n° 13, p. 337-366. ISSN: 1578-5157

disponibles en las secciones censales, distritos, barrios (Bracken and Martin, 1989; Martin, 1989; Maantay *et al.*, 2007). Además, establecen nuevos criterios y pautas con los que determinar y precisar a qué actividad, lugar y tiempo corresponde exactamente dicha información.

Por otro lado, haciendo un breve recorrido por la bibliografía especializada es posible identificar algunas de las metodologías que han tratado de dar respuesta de alguna manera a las deficiencias señaladas anteriormente. De forma genérica se pueden distinguir entre metodologías de agregación y metodologías de desagregaciónⁱⁱ. Según Goerlich y Cantarino (2012) la agregación consiste en "resumir datos de origen a una unidad mayor, normalmente mediante un proceso aditivo". Mientras que la desagregación la describen como una transferencia "de datos de una zona de origen a diversas zonas de destino, cuando estas constituyen una partición de la primera". Es en este último proceso donde se centra el presente trabajo de investigación y para el cual se van a describir algunos de los principales métodos existentes hasta el momento.

Tomando como referencia los trabajos de Goerlich y Cantarino (2012), Maantay *et al.* (2007) y Riebel (2007), es posible hacer un breve recorrido por algunos de estos métodos. El primer grupo es el conocido como *Areal Interpolation o Areal Weighting* cuya lógica se basa en desagregar la información (demográfica o socioeconómica) entre las diferentes zonas de estudio de manera proporcional a su área figura 2). Es decir, se trata de realizar un reparto estadístico homogéneo por unidad de superficie tomadaⁱⁱⁱ (Langford *et al.*, 1994; Eicher and Brewer, 2001; Holt *et al.*, 2004). En este método se arrastra un grave error al considerar que la densidad de la variable es homogénea, cuestión que rara vez ocurre así para variables demográficas o socioeconómicas.

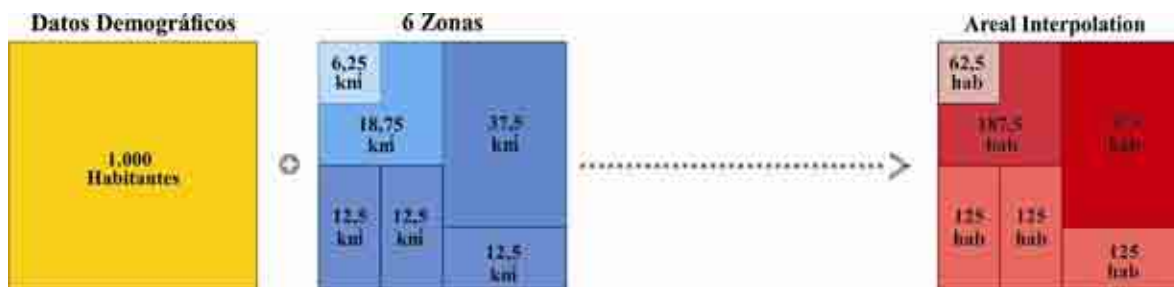


Figura 2. Lógica del método Areal Interpolation o Areal Weighting.

Fuente: Elaboración propia.

Otro grupo de métodos de desagregación se diferencian por incorporar un filtro o una máscara (*mask*) mediante la cual excluir las zonas donde no corresponde asignar información. En primer lugar, hay que detenerse en el método *Filtered Areal Weighting (Binary Method)*, donde al igual que en *Areal Interpolation o Areal Weighting*, se descompone la información demográfica en función de la unidad de superficie tomada, aunque previamente se descartan para el reparto todos los ámbitos que no corresponden (Flowerdew and Green, 1989; Goodchild and Lam, 1980; Holt *et al.*, 2004). Por ejemplo, en un ejercicio donde se quiera asignar población y existan ámbitos urbanos y no urbanos, se deberán excluir estos últimos de la desagregación de la información aplicando un filtro o una máscara, en este caso se corresponde con los usos del suelo (figura 3). De nuevo, en este método se vuelve a considerar homogénea la densidad de la variable que se está desagregando, al

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 (Artículos)*, n° 13, p. 337-366. ISSN: 1578-5157

realizar un reparto por unidad de superficie dada, y, consecuentemente, obteniendo también resultados que se alejan de la realidad.

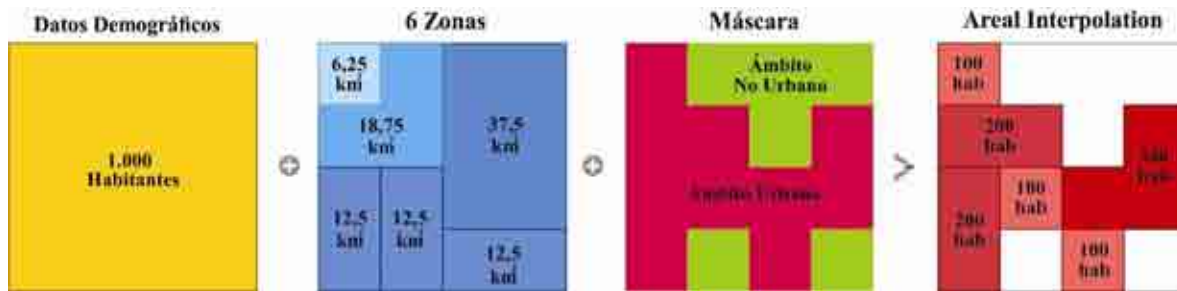


Figura 3. Lógica del método Filtered Areal Weighting (Binary Method).

Fuente: Elaboración propia.

Otro método, donde se va un paso más allá del *Filtered Areal Weighting*, es *Land use/Land cover as ancillary data*. Esta metodología se distingue por aplicar, previamente a la desagregación, varios filtros (máscaras) para determinar con mayor precisión las áreas donde hay que asignar la información. A este respecto, se trata de un ejercicio que obliga a disponer de más información auxiliar (clasificación del suelo, usos del suelo, etc.) que en el caso anterior (*Areal Interpolation* o *Areal Weighting*). Tratando de ejemplificarlo, se puede tomar, de nuevo, un área con ámbitos urbanos y no urbanos, en los cuales se aplicaría primero un filtro para determinar las zonas urbanas y, posteriormente, otro para identificar los ámbitos residenciales de los no residenciales (industrial, equipamientos, espacios libres, viarios, etc.). De esta forma, la desagregación de la información se realizaría exclusivamente para ámbitos urbanos y residenciales (Martín, 1989; Bracken and Martin, 1989; Bielecka, 2005; Poulsen and Kennedy, 2004) donde existe una elevada certeza de que ahí se localiza la población. Sin embargo, al igual que los métodos descritos anteriormente, tampoco diferencia densidades dentro de las áreas donde se realiza el reparto de la información.

Es en el método *Cadastral-based Expert Dasymetric System (CEDS)* donde sí se plantea abordar el problema de las densidades dentro de las áreas seleccionadas para la desagregación de la información. La lógica de esta metodología es similar a la anterior (*Land use/Land cover as ancillary data*), aunque incorporando nueva información auxiliar como es el número de viviendas (hogares) en cada ámbito o para cada uno de los edificios existentes en dicho espacio. De esta manera, la desagregación de la información se lleva a cabo en función de la densidad de hogares (figura 4). Pero el problema reside en que esta información (número de hogares), al menos en el ámbito español, no suele estar siempre disponible y, en algunos casos, puede vulnerar el secreto estadístico. Además, no presenta una solución totalmente satisfactoria en relación con las deficiencias de sectorización alternativa y de categorización instrumental (tabla 1).

A pesar del amplio abanico de propuestas existentes, todas siguen adoleciendo de diferentes desajustes e incertidumbres en sus resultados finales, provocando que sea poco preciso y fiable su uso en determinados estudios (como por ejemplo, la determinación de la población servida por una parada de transporte público o la población afectada por algún tipo de contaminación atmosférica).

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 (Artículos)*, n° 13, p. 337-366. ISSN: 1578-5157

Además, siguen sin suplir algunas de las principales deficiencias (tabla 1) identificadas por Moreno y Martínez (2005), descritas al principio de este apartado.



Figura 4. Comparativa visual de los resultados del método CEMS para la población total y por densidad frente a la densidad de población en las coropletas tradicionales usadas en los censos de población.

Fuente: traducido de Maantay *et al.* (2007), página 92.

Tabla 1. Principales deficiencias de la desagregación espacial de la información por métodos.

	Exclusión de áreas despobladas	Sectorización alternativa	Exclusión de usos no residenciales	Asignación estadística	Categorización instrumental
Areal Interpolation/Areal Weighting	-	-	-	-	-
Filtered Areal Weighting	●	-	●	-	-
Land Use/Land Cover as ancillary data	●	-	●	○	-
CEMS	●	○	●	●	-

● Suple la deficiencia

○ Suple parcialmente la deficiencia

- No suple la deficiencia

Fuente: Elaboración propia a partir de Moreno y Martínez (2005).

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 (Artículos)*, n° 13, p. 337-366. ISSN: 1578-5157

Otro aspecto importante en la desagregación de la información demográfica, del cual carecen los métodos anteriores, es la referencia sobre la *actividad-lugar-tiempo* que se está empleando en la desagregación espacial. Normalmente, suele responder a la tríada: “*descanso-domicilio-noche*”, ya que es complejo obtener información sobre la ubicación de las personas para otras actividades, lugares y tiempos, distinto a los señalados anteriormente.

Finalmente, derivado de la utilidad y necesidad de ser más precisos en el estudio de los problemas de planificación que afectan a las personas en los ámbitos urbanos, junto con el gran potencial, como herramienta de trabajo, que presentan los Sistemas de Información Geográfica (en adelante SIG), surge la posibilidad de investigar y desarrollar o mejorar las metodologías de desagregación de la información demográfica y socioeconómica. A este parecer, la intención de esta investigación es aportar nuevo conocimiento para poder generar *Unidades Espaciales Modificables* con suficiente flexibilidad para suplir el mayor número de deficiencias (tabla 1) e incertidumbres detectadas en los actuales métodos y con capacidad suficiente para adaptarse a las particularidades que cada situación de estudio requiera. En este sentido, y tras la presentación de la metodología se realiza un análisis comparativo, con algunos de los métodos descritos anteriormente, donde se pone de manifiesto las principales ventajas e inconvenientes de la misma.

2. Hipótesis y objetivos

2.1. Hipótesis

La metodología que se propone en este trabajo sigue una lógica similar al cálculo del microseccionado^{iv} realizado para la comunidad de Madrid (García, 2003) y del modelo *CEDS* (Maantay *et al.*, 2007). Se trata de un proceso de cruzado de fuentes cartográficas (catastro urbano y usos pormenorizados) con información demográfica, fundamentalmente proveniente de las secciones censales, a partir de la cual realizar la desagregación y asignación de la población (o cualquier otra variable demográfica o socioeconómica) para cada una de las *Unidades Espaciales Modificables* (4. Metodología). Esta forma de proceder obliga a aceptar que la relación entre *población* y *techo edificable residencial (edificabilidad)* es directamente proporcional. Por tanto, cabría esperar un mayor número de personas donde se localizan los mayores volúmenes residenciales edificados (figuras 5 y 6).

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 (Artículos)*, n° 13, p. 337-366. ISSN: 1578-5157



Figura 5. Ámbito urbano de Granada con diferentes densidades residenciales.

Fuente: www.Goolzom.com

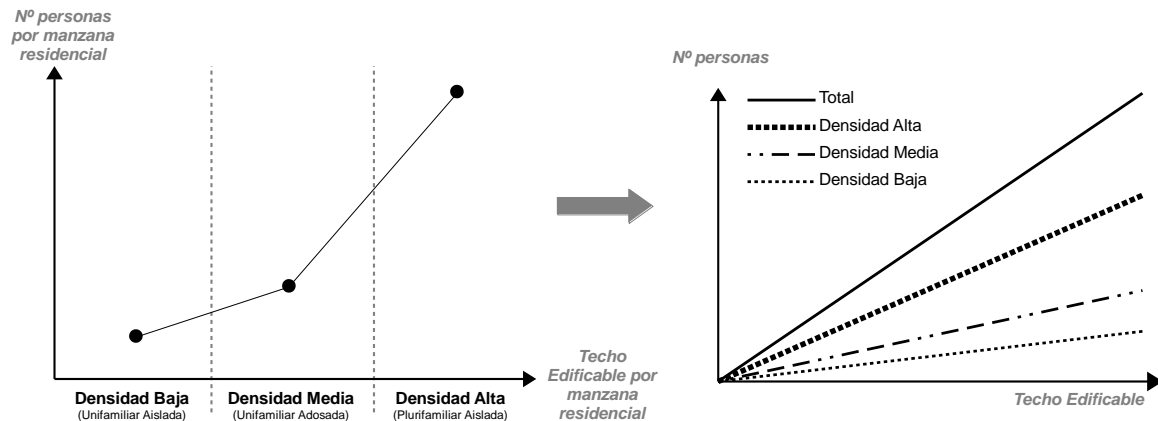


Figura 6. Modelo/hipótesis: tipologías edificatorias y techo edificable en relación con el número de personas.

Fuente: Elaboración propia.

2.2. Objetivos

El objetivo principal es proponer un método de desagregación espacial de la información demográfica basado en la generación de *Unidades Espaciales Modificables según edificabilidades residenciales (UEMED-R)*, y cuyas características generales son:

- Reducir al máximo las deficiencias detectadas (tabla 1).
- Utilizar datos simples y de libre acceso.
- Flexibilidad en la escala de los resultados para adaptarse a las necesidades que exija cada situación.
- Posibilitar nuevas desagregaciones espaciales.

Para dar respuesta a todo lo anterior, en un primer apartado, se da a conocer el marco conceptual que sustenta la propuesta (3. *Marco Conceptual*). En un segundo apartado, se describe

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 (Artículos)*, n° 13, p. 337-366. ISSN: 1578-5157

detalladamente cada una de las etapas que componen la metodología, así como las herramientas necesarias para su consecución (4. *Metodología para la elaboración de unidades espaciales modificables según edificabilidades residenciales «UEMED-R»*). Y por último, se comparan los resultados obtenidos con el UEMED-R con otros métodos para mostrar sus principales ventajas e inconvenientes (5. *Unidades Espaciales Modificables por Edificación (EUMED-R) frente a los métodos Areal Interpolation (AI) y Land Use/Land Cover as ancillary data (LU)*).

3. Marco conceptual

Los conceptos empleados en la fundamentación teórica de esta investigación son *techo edificado residencial (o edificabilidad residencial)*, *uso pormenorizado*, *edificación* y *coeficiente de desagregación poblacional por edificación (CoDPE)*, siendo cada uno definido y contextualizado a continuación.

Al hablar en términos generales de **Techo Edificado o Edificabilidad** se está haciendo alusión a la “*intensidad edificatoria, superficie edificada o edificable de cualquier uso*” (Sánchez-Casas, 2004). Por tanto, se podría simplificar diciendo que no es más que la cuantificación del número de metros cuadrados construidos en un determinado ámbito, reduciéndose exclusivamente, en este trabajo, a usos residenciales (edificabilidad residencial). Es importante entender que la desagregación de la información demográfica, al ser considerada función de la edificabilidad residencial (2.1. Hipótesis), va a mostrar dónde se ubica la población en ámbitos residenciales (lugar) para las horas de descanso de las personas (actividad) durante el periodo nocturno (tiempo).

El **uso pormenorizado** se refiere a la calificación o, en otras palabras, el “*destino específico que se otorga a zonas delimitadas del suelo por el planeamiento, cuando no afecta a la estructura general y orgánica del planeamiento general y son ejecutables sin necesidad de ulterior desarrollo normativo*” (Yañez, 1997). Esta información suele estar recogida en los Planes Generales de Ordenación Urbanística (PGOU) o figuras similares (figura 7).



Figura 7. Detalle del Plano de Calificación y Ordenación Física del PGOU de Granada.

Fuente: Ayuntamiento de Granada.

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 (Artículos)*, n° 13, p. 337-366. ISSN: 1578-5157

Tal y como se ha avanzado anteriormente, la desagregación de la información se establece a partir del valor de edificabilidad residencial, con lo cual habrá que tener en cuenta que la unidad de mayor detalle para el cálculo va a ser la que ofrezca la cartografía catastral empleada. A esta unidad se le ha denominado **edificación** y se corresponde con cada uno de los módulos o volúmenes que constituyen un edificio (figura 8).

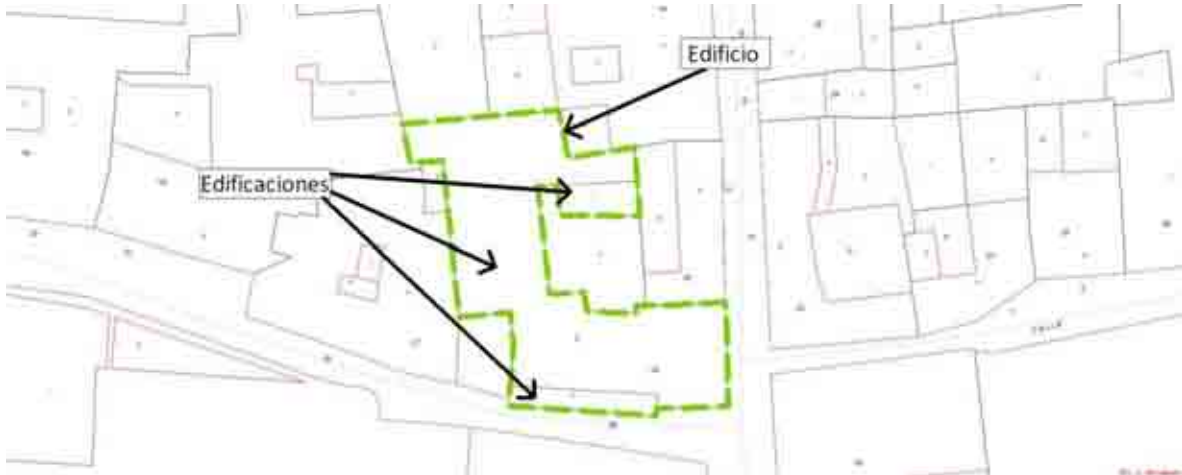


Figura 8. Representación de edificio y edificación en la cartografía catastral.

Fuente: Elaboración propia a partir del servicio WMS de la Dirección General del Catastro (2013).

Por último, el **Coefficiente de Desagregación Poblacional por Edificación (CoDPE)**, es el resultado de dividir el techo edificado de cada edificación residencial entre el sumatorio del techo edificado residencial del ámbito al que pertenece (distrito, barrio, sección, etc.). A partir de este valor se generarán las Unidades Espaciales Modificables y se desagregará la información demográfica.

4. Metodología para la elaboración de Unidades Espaciales Modificables según Edificabilidades Residenciales (UEMED-R)

Toda la fundamentación descrita en el apartado anterior es la que conforma el soporte teórico para armar la presente propuesta metodológica. El objetivo, como ya se avanzó, es proponer una serie de herramientas y técnicas, agrupadas por etapas, que permitan desagregar la información demográfica en *Unidades Espaciales Modificables*. Estas fases se corresponden con la siguiente secuencia (figura 9):

- 1) Recopilación de información
- 2) Procesamiento y cálculo del CoDPE
- 3) Resultados: Unidades Espaciales Modificables

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 (Artículos)*, n° 13, p. 337-366. ISSN: 1578-5157

En la fase de recopilación de información se incluyen labores de obtención de datos (información demográfica, cartografía catastral, usos pormenorizados, etc.) necesarios para el desarrollo de las sucesivas etapas. En la fase de procesamiento y cálculo del CoDPE, en primer lugar, se trata la información recopilada y, posteriormente, se realizan los cálculos necesarios para la obtención del coeficiente. Finalmente, se obtienen las *Unidades Espaciales Modificables*, mostrando las diferentes posibilidades de agregación (numérica y espacial) y el sistema de validación de la información, comúnmente conocido como *principio de interpolación picnofiláctica uniforme* (Tobler, 1979), que permitirá constatar la fiabilidad de los resultados obtenidos.

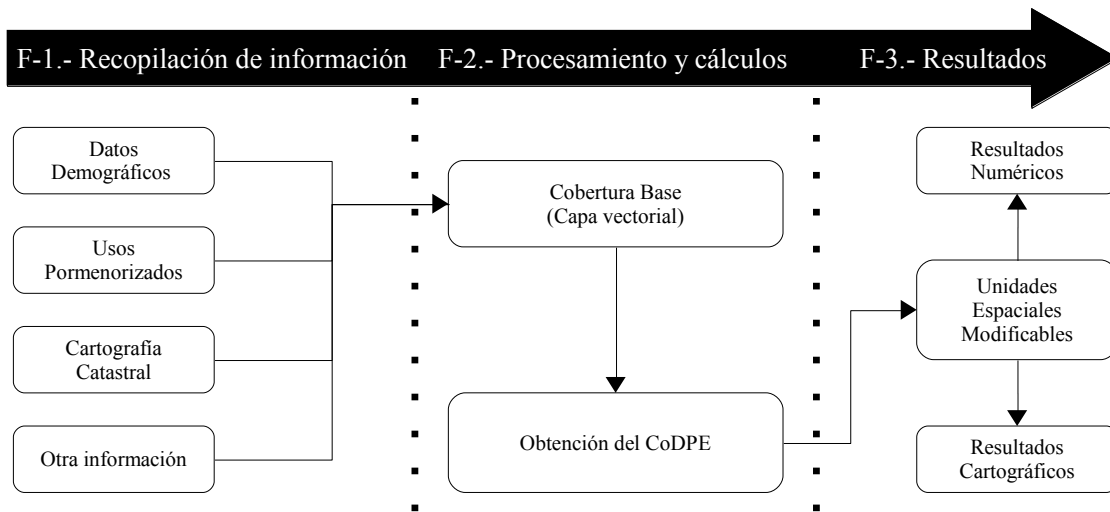


Figura 9. Esquema metodológico.
Fuente: Elaboración propia.

4.1. Recopilación de información

La obtención de la información requerida para poder desarrollar los cálculos debe seguir un proceso minucioso y riguroso, como consecuencia de la especificidad de esta. Por tanto, es necesario tener en cuenta y dar cumplimiento a dos criterios que van a garantizar su validez:

- **Coetánea.** Cruzar información de varias fuentes (INE^v, PGOU^{vi}, Dirección General del Catastro,...) precisa cotejar que, todas las que van a ser utilizadas en los cálculos, pertenezcan o estén vigentes para el mismo periodo temporal. Es decir, si la información demográfica disponible es del año 2012, la información cartográfica (catastro, usos del suelo, etc.) deberá corresponder con la realidad o ser válida para ese mismo año. El objetivo es evitar imprecisiones, especialmente las derivadas de combinar datos demográficos con una base catastral obsoleta donde no se recogen los nuevos desarrollos.
- **Escala pertinente.** La fuente de información demográfica a emplear deberá corresponder, siempre que sea posible, a los ámbitos de mayor detalle. Normalmente esta suele ser la

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 (Artículos)*, n° 13, p. 337-366. ISSN: 1578-5157

sección censal, salvo excepciones como el microseccionado realizado para la ciudad de Madrid.

Conocidos los criterios a cumplir por la información recopilada, es posible describir cada una de las 4 categorías de información establecidas: *datos demográficos*, *usos del suelo*, *cartografía catastral* y *otra información* (figura 9).

Dentro de **datos demográficos** se agrupa la información referente al número total de personas para cada uno de los ámbitos (distritos, barrios, secciones) que componen la zona de estudio (figura 10).

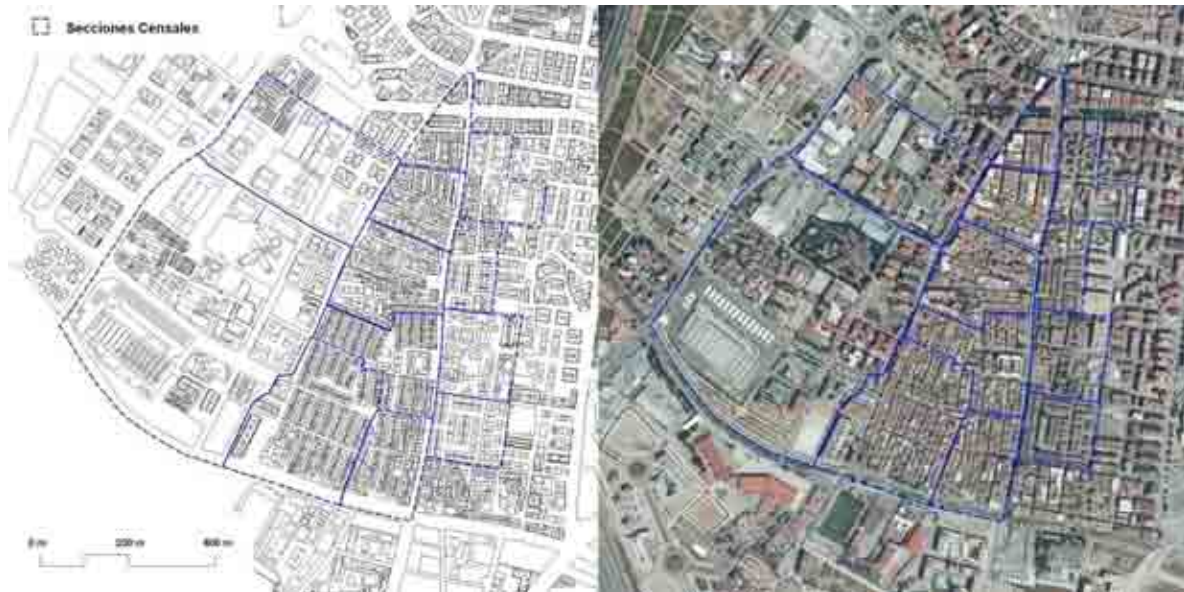


Figura 10. Secciones censales del ámbito de estudio sobre cartografía catastral y sobre ortofoto. Granada, Barrio del Zaidín.

Fuente: Elaboración propia a partir de los distritos y secciones censales del INE (2006).

La información referente a los **usos del suelo**, al igual que con los datos demográficos, deberá obtenerse aquella que posea el mayor grado de detalle. Normalmente corresponde con los usos pormenorizados, detallados y disponibles en la cartografía y normativa urbanística de los Planes Generales de Ordenación Urbanística (PGOU) u otras figuras similares (figura 7). Otro aspecto importante es la tipología edificatoria, de manera que se diferencien sectores con viviendas unifamiliares de plurifamiliares, con el objetivo de determinar si el uso de la primera planta o planta baja^{vii}, especialmente en edificios plurifamiliares, está ocupado por otro distinto al residencial (figura 11).

La **cartografía catastral** es el elemento más importante, ya que va a conformar la base sobre la cual se va a procesar la información y a desarrollar los cálculos (figura 10). En el territorio español se puede obtener de la Dirección General del Catastro, concretamente en su oficina

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 (Artículos)*, n° 13, p. 337-366. ISSN: 1578-5157

virtual^{viii}. Hay que remarcar que los elementos necesarios son los correspondientes con las edificaciones existentes en el ámbito de estudio y su base de datos asociada, de la cual se obtendrá el número de plantas que posee cada una.

Por último, dentro del apartado relativo a **otra información** se incluyen las ortofotos del ámbito, datos sobre el estado de las edificaciones (ruina, deshabitada, en construcción, existencia de oficinas, etc.), así como cualquier otra que ayude a mejorar la precisión de los resultados.

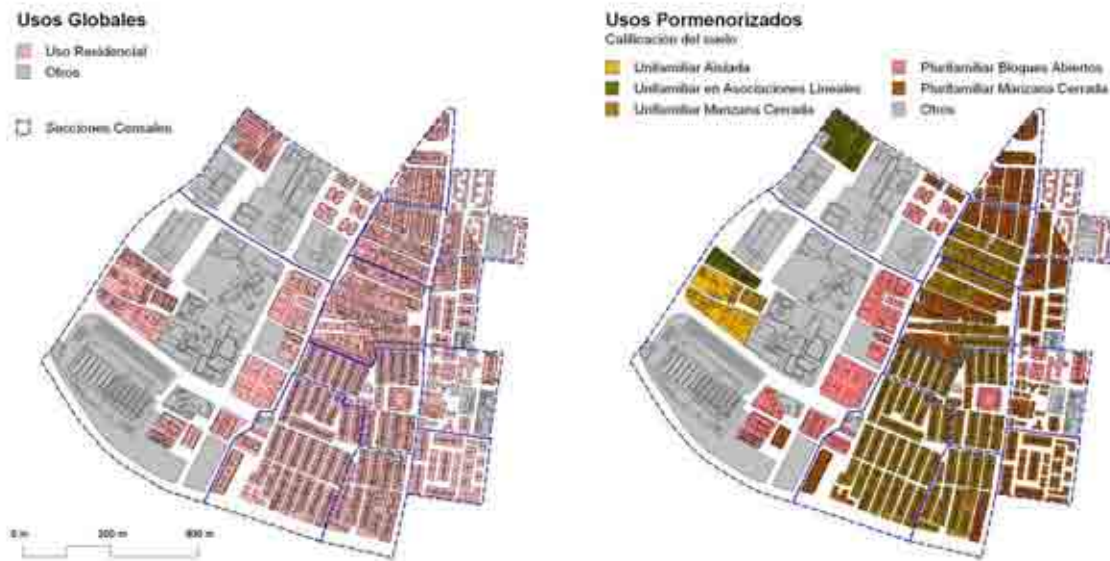


Figura 11. Usos Globales y Usos Pormenorizados del ámbito de ensayo seleccionado.

Fuente: Elaboración propia a partir de los Planos de Calificación y Ordenación Física del PGOU de Granada. Ayuntamiento de Granada.

4.2. Procesamiento y cálculo del CoDPE

En la segunda etapa metodológica hay que diferenciar tres sub-etapas: 1.-Procesamiento, 2.-Cálculo del CoDPE y 3.-Desagregación de la información demográfica. En la primera, los esfuerzos van dirigidos a incorporar toda la información en la Cobertura Base, la cual conformará la capa vectorial donde se procesará, por medio de una aplicación SIG^{ix}, toda la información previamente recopilada. Por su parte, en el cálculo, se efectuarán las operaciones necesarias, también por medio de la aplicación SIG, para obtener el *Coefficiente de Desagregación Poblacional por Edificación* (CoDPE) a partir del cual generar las *Unidades Espaciales Modificables*. Finalmente, tras obtener el CoDPE, solo queda desagregar espacialmente la información demográfica (o socioeconómica).

4.2.1. Procesamiento

El trabajo de procesamiento consiste en incorporar y adaptar, mediante la ayuda de diferentes herramientas que ofrecen las aplicaciones SIG, la información recopilada en la Cobertura

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 (Artículos)*, n° 13, p. 337-366. ISSN: 1578-5157

Base. De esta forma, en la base de datos asociada se generará, haciendo uso de las herramientas para la gestión de bases de datos y para cada elemento (*edificación*), un identificador (*Id*), el código del ámbito (*Cod_s*) al que pertenecen (distrito, barrio, sección, etc.), el número de plantas según el catastro (*Npc*), el uso pormenorizado (*Uso*) y la población total (*Pob_s*) del ámbito al que pertenece (Apéndice 1, columnas: *Id, Cod_s, Npc, Uso, Pob_s*).

4.2.2. Obtención del CoDPE

Una vez incorporada toda la información en la base de datos de la capa vectorial (Cobertura Base), el siguiente paso es iniciar los cálculos que van a permitir obtener el valor del *Coefficiente de Desagregación Poblacional por Edificación (CoDPE)*. Al ser la fase más compleja del método y con la intención de facilitar una mejor comprensión de la misma, se ha articulado en tres pasos:

1. Cálculo de superficies residenciales en planta (*Spf*) y recálculo del número de plantas (*Np2*).
2. Cálculo del techo edificado por edificación y por ámbito.
3. Cálculo del valor del Coeficiente de Desagregación Poblacional por Edificación (CoDPE).

1.-Cálculo de superficies residenciales en planta (*Spf*) y recálculo del número de plantas (*Np2*)

De acuerdo con la lógica del proceso, el primer cálculo necesario es la obtención de la superficie para todas las edificaciones con uso residencial (Apéndice 1, columna *Spf*). Para ello será necesario realizar una *selección por atributos* de las edificaciones residenciales y calcular su superficie por medio de la herramienta *calculadora de geometría*.

Por otra parte, la información referida al número de plantas, en la cartografía catastral, viene dada como carácter y codificada tal y como se muestra en la columna *Npc* del Apéndice 1. En este caso, habrá que procesar la información y establecer el valor numérico correspondiente (columna *Np1* del Apéndice 1).

Finalmente, en algunas situaciones, según la correspondiente ordenanza edificatoria que rija, se establecen usos diferentes al residencial en la primera planta o planta baja, principalmente en edificios plurifamiliares. Este hecho obliga a realizar un ajuste en el número de plantas de las edificaciones, eliminando del cómputo todas las que posean una ocupación distinta a la residencial (Figura 12). En este caso, se recomienda, para identificar las edificaciones afectadas por esta situación, hacer uso de la normativa urbanística y de trabajo de campo que puede ser sustituido por el uso de la herramienta *Street view* de Google maps (figuras 13 y 14).

La corrección de esta información en la base de datos de la cobertura base se hace recurriendo a la *calculadora de campo*^x, existente en las aplicaciones SIG, y suprimiendo una planta, o las que correspondan, en todas las edificaciones afectadas por esta circunstancia (figura 12 y Columna *Np2* del Apéndice 1).

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 (Artículos)*, n° 13, p. 337-366. ISSN: 1578-5157

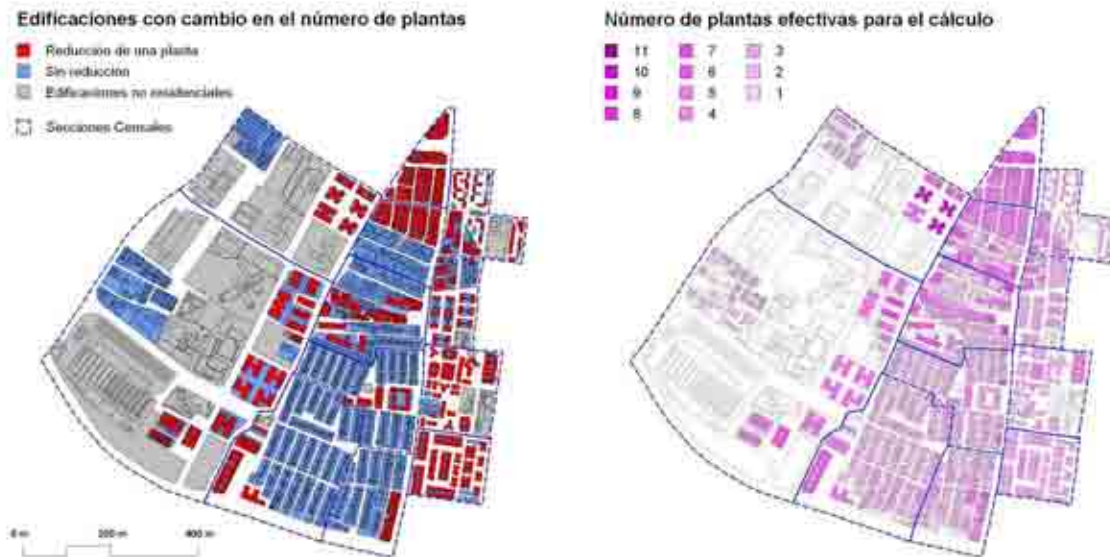


Figura 12. Recálculo del número de plantas de las edificaciones ($Np2$).

Fuente: Elaboración propia a partir de la Dirección General del Catastro y el PGOU de Granada.



Figura 13. Ámbito donde se elimina una planta del cómputo para la realización de los cálculos. Calle Santa Clara, Granada.

Fuente: Street View, Google maps.



Figura 14. Ámbito donde no se elimina una planta del cómputo para la realización de los cálculos. Calle Tudela, Granada.

Fuente: Street View, Google maps.

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 (Artículos)*, n° 13, p. 337-366. ISSN: 1578-5157

2.-Cálculo del techo edificado por edificación y por ámbito

Recalculado el número de plantas de cada edificación residencial ($Np2$), habrá que obtener el *techo edificado o la edificabilidad residencial* ($Edf-r$) para cada una. Este valor es el resultante de la superficie de cada edificación (Spf), con uso residencial, por el número de plantas ($Np2$) recalculado (Apéndice 1). En la aplicación SIG, de nuevo haciendo uso de la *calculadora de campos*^{xi}, el cálculo se podrá realizar utilizando la siguiente expresión:

$$Edf - r = (Spf * Np2)$$

Por último, es necesario obtener el techo edificado (o edificabilidad) de uso residencial total ($EdfA-r$) de cada uno de los ámbitos (distritos, barrios o secciones) que se han tomado como referentes y que poseen la información demográfica que se va a desagregar. Es decir, si el ámbito seleccionado corresponde a secciones censales, habrá que calcular el techo edificado residencial total existente dentro de cada uno de ellos (Columna $EdfA$ del Apéndice 1). Esta tarea se podrá llevar a cabo mediante la herramienta de *Extracción por polígono* contenida en los paquetes de *Análisis Espacial*^{xii} de las aplicaciones SIG.

$$EdfA - r = \sum_A Edf - r$$

3.-Cálculo del Coeficiente de Desagregación Poblacional por Edificación (CoDPE)

El CoDPE es el resultado del cociente entre el techo edificado de cada edificación residencial ($Edf-r$) y el techo edificado total del ámbito ($EdfA-r$) al que pertenece. Por tanto, para cada edificación se debe obtener un valor propio de CoDPE que será el que permita, posteriormente, desagregar y asignar un número de personas para cada una (Columna $CoDPE$ del Apéndice 1).

$$CoDPE = \frac{Edf - r}{EdfA - r}$$

4.2.3. Desagregación de la información demográfica.

Finalmente, la desagregación de la información por edificación (Pob_e), en este caso demográfica pero podría ser cualquier otra variable socioeconómica que proceda, se consigue multiplicando cada valor de CoDPE por la población del ámbito de referencia (Pob_s), tal y como puede comprobarse en el Apéndice 1.

$$Pob_e = (CoDPE) * (Pob_s)$$

4.3. Resultados: *Unidades Espaciales Modificables* y validez de los resultados

La principal ventaja que presenta esta metodología es la posibilidad de crear *Unidades Espaciales Modificables* a partir de los elementos más básicos que permite la cartografía utilizada

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 (Artículos)*, n° 13, p. 337-366. ISSN: 1578-5157

(Base Cartográfica del Catastro) y que se han denominado edificaciones (3. Marco conceptual). A partir de estas unidades es posible generar nuevos agregados a nivel de edificios, parcelas, manzanas o cualquier otro que se precise (figura 15). En consecuencia, los resultados numéricos también variarán en función de la unidad espacial que se tome.



Figura 15. Ejemplos de posibles agregados para la representación de los datos.

Fuente: Elaboración propia a partir de la cartografía vectorial de la Dirección General del Catastro (2012) para la ciudad de Granada.

Finalmente, un aspecto importante, previo a la aplicación de los resultados, es contrastar su validez mediante la aplicación del *principio de interpolación picnofiláctica uniforme* (Tobler, 1979). Este principio establece que hay que conservar “la masa”, de manera que se compruebe que la interpolación ha desagregado la información de manera correcta. En esta metodología consiste en la realización de una serie de verificaciones^{xiii} con respecto a la edificabilidad total de la sección ($EdfA-r_A$), el valor del $CoDPE_A$ por ámbito y la población total de las edificaciones por ámbito (Pob_eA).

En primer lugar, el sumatorio de la edificabilidad de las edificaciones ($\sum Edf-r_A$) de cada ámbito (A: distrito, barrio, sección, etc.) tiene que dar el mismo valor que el utilizado ($EdfA-r$) para los cálculos en cada caso (Apéndice 2).

$$\sum Edf - r_A = EdfA - r$$

En segundo lugar, se comprobará que el sumatorio del valor del $CoDPE$ para cada ámbito (A) es igual a 1 (Apéndice 2).

$$\sum CoDPE_A = 1$$

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 (Artículos)*, n° 13, p. 337-366. ISSN: 1578-5157

Y por último, el sumatorio de la población por edificación ($\sum P_{ob_e_A}$), también para cada ámbito, deberá ser igual al número total de personas ($P_{ob_s_A}$) de cada ámbito en cuestión (Apéndice 2).

$$\sum P_{ob_e_A} = P_{ob_s_A}$$

La constatación de los tres parámetros anteriores garantizará que las operaciones realizadas han sido correctas y que los resultados obtenidos son válidos de acuerdo con la metodología que se propone.

5. Unidades Espaciales Modificables por Edificación (EUMED-R) frente a los métodos Areal Interpolation (AI) y Land Use/Land Cover as ancillary data (LU)

Para poder demostrar cuáles son las principales ventajas de la metodología que se propone (UEMED-R) es necesario realizar un análisis comparativo con otros métodos de desagregación. En esta ocasión, se ha optado por utilizar dos de las más comunes en el ámbito profesional y académico: Areal Interpolation (AI) y Land Use/Land Cover as ancillary data (LU). Mientras que como elemento de referencia, control y verificación, se ha tomado el trabajo realizado por la Universidad de Granada, concretamente por el Departamento de Física Aplicada I-4, quien para la elaboración del mapa de Ruido de Granada contabilizó hogar por hogar, mediante una encuesta, el número de personas que habitaban en cada uno (EUGR). El objetivo perseguido, en este apartado, es comparar los resultados que ofrece cada método (AI, LU, UEMED-R) con los obtenidos por la encuesta de la Universidad de Granada.

Antes de entrar en materia, es necesario volver a remarcar que los resultados de EUGR no son producto de un método de estimación, sino que se tratan de datos directos obtenidos a través de encuestas a pie de calle, *in situ*, sobre el número de personas que habitan en cada hogar, permitiendo que se utilice como elemento de control objetivo para comprobar la precisión de los resultados obtenidos por el resto de métodos.

5.1. Ámbito de estudio

El ámbito de estudio seleccionado se localiza en la zona sur de la ciudad de Granada, correspondiente con parte del barrio del Zaidín (figura 10). La justificación de tomar este espacio como elemento de ensayo se debe a la existencia de una gran heterogeneidad de tipologías residenciales y a la localización de un elevado número de equipamientos (sanitarios, deportivos, culturales, etc.), que hacen que tengan lugar diferentes situaciones urbanas (densidad alta, densidad baja, mezcla de densidades, ámbitos con un alto número de equipamientos, existencia de centros comerciales,...). Con la intención de poder recoger el mayor número de casuísticas posibles y así comparar los resultados de cada método en diferentes situaciones, se definieron 8 sub-ámbitos de ensayo (figura 16).

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 (Artículos)*, n° 13, p. 337-366. ISSN: 1578-5157



Figura 16. Sub-ámbitos de ensayo.

Fuente: Elaboración propia.

5.2. Comparación de resultados

Antes de cotejar los resultados fue necesario desagregar espacialmente la información demográfica siguiendo las pautas que cada metodología exige (figura 17). En el caso del *Areal Interpolation* (AI) se realizó un reparto homogéneo por metro cuadrado de sección censal (*unidad de superficie tomada*). Para *Land Use* (LU) se procedió del mismo modo pero seleccionando sólo aquellos ámbitos con uso residencial (aplicación de filtros). En cuanto a los resultados del UEMED-

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 (Artículos)*, n° 13, p. 337-366. ISSN: 1578-5157

Se obtuvieron de acuerdo con los pasos detallados en el apartado 4. Metodología. Y los resultados de la EUGR se representaron gráficamente mostrando la localización y el número de personas que habitan en cada edificio (unifamiliar o plurifamiliar).

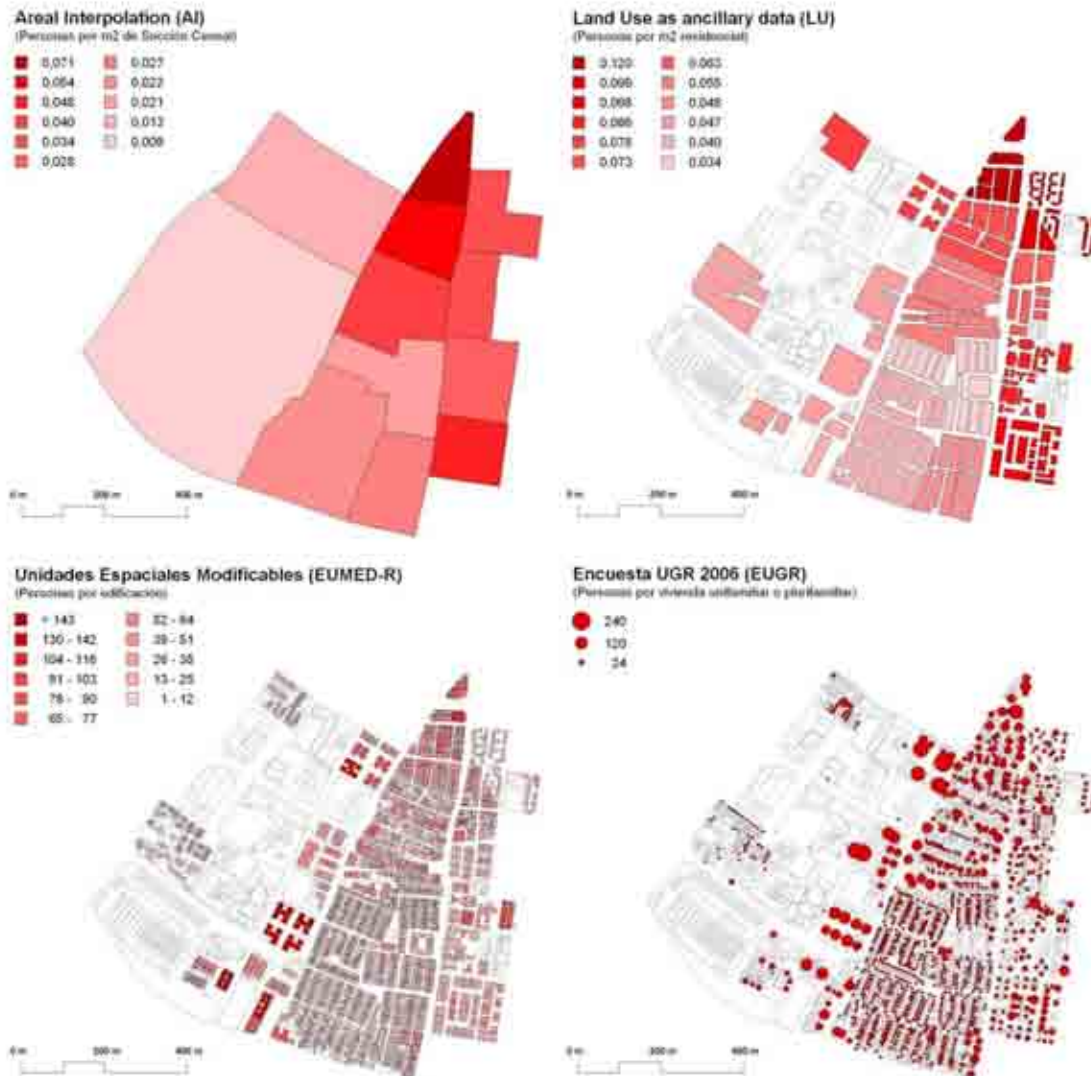


Figura 17. Desagregación espacial de la información demográfica para los tres métodos y EUGR.

Fuente: Elaboración propia.

Desagregada espacialmente la información demográfica según las pautas que establece cada método, se procedió a extraer para cada uno de los 8 sub-ámbitos el número de personas asignado, obteniéndose los siguientes resultados:

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 (Artículos)*, n° 13, p. 337-366. ISSN: 1578-5157

Tabla 2. Resultados de la aplicación de los diferentes métodos de desagregación de la información demográfica y desviación en relación con los resultados de la EUGR.

SUB-ÁMBITO		IA	LU	EUMED-R	EUGR ^{xiv}
01	Nº Personas	2332	2500	2590	2501
	%	93%	100%	104%	100%
02	Nº Personas	2138	2003	2550	2495
	%	86%	80%	102%	100%
03	Nº Personas	6293	7435	8251	8446
	%	75%	88%	98%	100%
04	Nº Personas	2235	2191	1542	1608
	%	139%	136%	96%	100%
05	Nº Personas	6740	6873	7096	7033
	%	96%	98%	101%	100%
06	Nº Personas	6328	6935	6558	6769
	%	93%	102%	97%	100%
07	Nº Personas	4063	4306	4561	4634
	%	88%	93%	98%	100%
08	Nº Personas	7723	8046	8683	8719
	%	89%	92%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia.

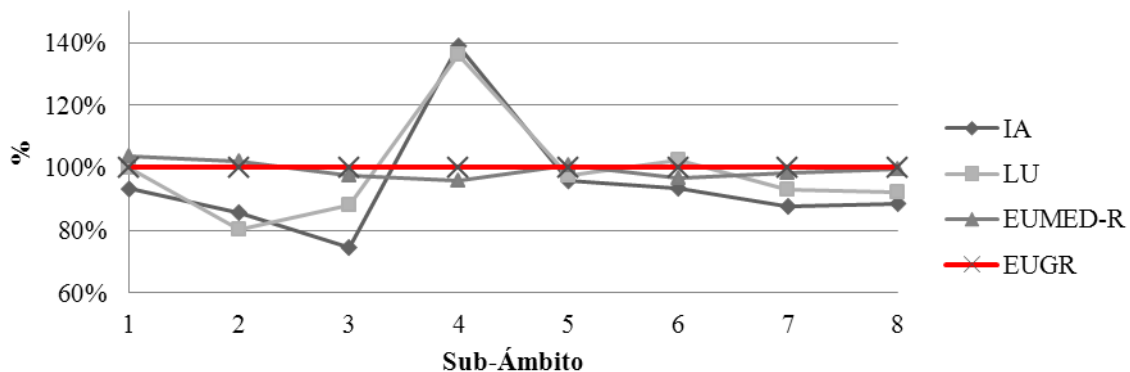


Figura 18. Desviación en % de la asignación de personas para cada uno de los métodos (AI, LU, EUMED-R) en relación con la EUGR.

Fuente: Elaboración propia.

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 (Artículos)*, n° 13, p. 337-366. ISSN: 1578-5157

Estos resultados (tabla 2) también permitieron mostrar gráficamente su comportamiento (figuras 18 y 19) en relación con el valor de referencia tomado (EUGR). Como se aprecia en las figuras 18 y 19, los resultados de la desagregación de la población, de acuerdo con la metodología propuesta, muestran un comportamiento muy estable, en comparación con los obtenidos por el IA y LU, los cuales tienen unas fluctuaciones mucho más acusadas. Por tanto, se podría afirmar que el EUMED-R, al menos para los sub-ámbitos de ensayo, garantiza una mayor precisión en los resultados que el resto de métodos empleados.

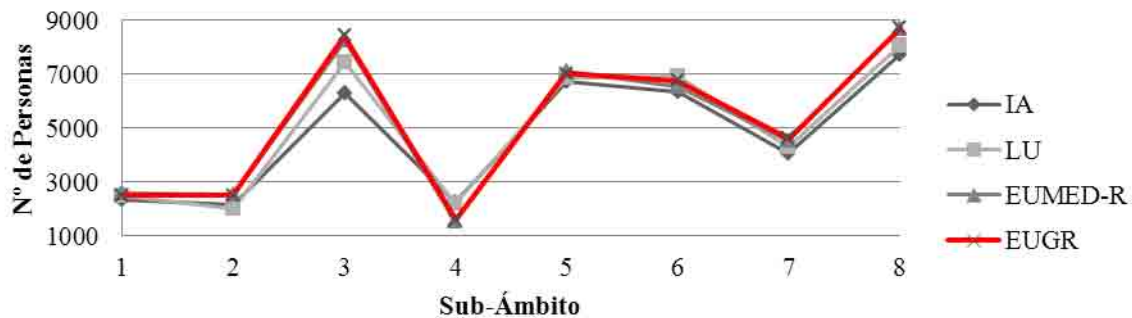


Figura 19. Población asignada por los diferentes métodos en comparación con la EUGR.

Fuente: Elaboración propia.

6. Conclusiones

La planificación ambiental de los ámbitos urbanos precisa disponer de una información rigurosa, precisa y certera. A este respecto, la presente investigación ha tratado de aportar una forma de proceder (metodología) para la desagregación y asignación espacial de la información demográfica, mediante la generación *Unidades Espaciales Modificables* según las necesidades del estudio. Por tanto, la primera reflexión que cabría hacerse sería en relación con el tamaño de esta unidad. Tal y como describen Ojeda *et al.* (2012), "(el tamaño de la unidad espacial) *debería oscilar entre aquella que está publicada (secciones censales) y la de máxima resolución espacial sin vulnerar el secreto estadístico; entre ambos límites se encuentran los edificios, las parcelas y las manzanas*". La EUMED-R, como se ha demostrado (*4. Metodología para la elaboración de Unidades Espaciales Modificables según Edificabilidades Residenciales (UEMED-R)*), permite desagregar la información (demográfica o socioeconómica) a nivel de edificación, pero la verdadera virtud no es su alto nivel de detalle si no la capacidad para agregar los datos en cualquiera de esas unidades intermedias (edificio, parcela o manzana), obteniendo una resolución máxima y evitando vulnerar el secreto estadístico. En cualquier caso, la resolución espacial de la información vendrá condicionada por la precisión que exija el trabajo donde se está aplicando la metodología (Ojeda *et al.*, 2012; Santos *et al.*, 2011; Suárez *et al.*, 2008).

Como se ha ido apuntando a lo largo del artículo, la metodología presenta una serie de ventajas muy notables con respecto a las utilizadas actualmente pero también algunas deficiencias, incertidumbres y errores. Atendiendo en un primer lugar a las mejoras cuantitativas y cualitativas

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 (Artículos)*, n° 13, p. 337-366. ISSN: 1578-5157

destacan aspectos como el nivel de desagregación, la diferenciación de densidades, el formato de la cobertura base, la precisión y la accesibilidad de los datos (tabla 3). El nivel de desagregación del EUMED-R es elevado, lo cual permite obtener datos espaciales y numéricos a nivel de edificación, permitiendo la agrupación de datos a otros niveles como edificio, manzana, supermanzana o cualquier otro agregado que se requiera y permita la cartografía catastral (figura 16). Incluso cabría la posibilidad de realizar desagregaciones por planta de edificación o edificio. Por otra parte, este método es capaz de identificar densidades dentro de las áreas de reparto y, de esta forma, afinar en la asignación espacial de la información. Otra de las ventajas es que este método permite trabajar con una cobertura base en formato vectorial o ráster, a diferencia del resto que sólo admiten los cálculos en este último. En cuanto a la precisión, si se observan los resultados obtenidos (5. *Unidades Espaciales Modificables por Edificación (EUMED-R) frente a los métodos Areal Interpolation (AI) y Land Use/Land Cover as ancillary data (LU)*), se puede observar que la fluctuación del método es mínima respecto a la encuesta a pie de calle realizada en cada uno de los sub-ámbitos analizados, no detectándose ninguna variación superior o inferior al 5% con respecto a los valores de control. Además, el comportamiento del EUMED-R es mucho más fiable en aquellos (sub)ámbitos donde existe una gran diversidad de usos o coexisten espacios residenciales heterogéneos. Hechos que quedan patentes por los resultados obtenidos para los sub-ámbitos 2 (diversidad de usos), 3 (heterogeneidad residencial) y 4 (diversidad de usos y heterogeneidad residencial).

Tabla 3. Ventajas y desventajas de los métodos de desagregación según los resultados obtenidos en la investigación.

	Desagregación				Difer. densidad		Cobert. Base		Precisión de los datos				Accesibilidad de los datos		
	Edificación	Edificio	Manzana	Supermanzana	Planta		Vectorial	Ráster	±5 %	±10 %	±15 %	> ±15 %	Pública	Privada	Universal
AI	-	-	●	●	-	-	-	●	-	-	●	●	●	-	●
LU	-	●	●	●	-	-	-	●	-	●	●	-	●	-	●
EUMED-R	●	●	●	●	●	●	●	●	●	-	-	-	●	○	○

- Tiene lugar
- Tiene lugar parcialmente
- No tiene lugar

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a las deficiencias del método, se puede resaltar aquella que se produce debido a la desagregación de la población a partir de los datos existentes por secciones censales, cuya validez de los resultados está condicionada a una actividad, lugar y tiempo, muy concretos (descanso, hogar, noche). Por tanto, su aplicación no es efectiva para la localización de las personas

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 (Artículos)*, n° 13, p. 337-366. ISSN: 1578-5157

en todos los rangos horarios, como por ejemplo, durante la jornada laboral (de 8h a 16h). Como solución, la población diurna podría analizarse a partir del censo de locales con actividad pero las incertidumbres aumentan, ya que es menos fiable. Por tanto, sería necesario incidir en este último aspecto, en futuras investigaciones, para mejorar los resultados que pudiesen obtenerse con la utilización de estas fuentes. En segundo, y último lugar, hay que atender a las incertidumbres que puede generar este método cuando no es posible identificar el número total de oficinas en un edificio. Es especialmente relevante en los centros urbanos donde la gran mayoría de edificios están ocupados por este tipo de actividades y donde se hace muy complejo, especialmente por la falta de información rigurosa, localizar con exactitud su ubicación.

Finalmente, a pesar de todos los condicionantes anteriores, se observa una mejora sustancial en la precisión de los resultados (5. *Unidades Espaciales Modificables frente a los métodos Areal Interpolation «AI» y Land Use/Land Cover as ancillary data «LU»*), tratándose de un método sencillo y que precisa de pocos recursos y de datos simples y de libre acceso. De esta manera, se concluye que podría ser una herramienta útil para estudios que demanden conocer la distribución espacial de la población, en un ámbito urbano, con un alto nivel de detalle y con el uso de datos "objetivos" que se pueden obtener fácilmente de distintos organismos públicos.

Agradecimientos

El presente artículo ha sido realizado bajo la financiación de la Junta de Andalucía y fondos FEDER para el Proyecto de Excelencia (P09-RNM-5394): "Guías metodológicas para la integración metropolitana de los sistemas de metro ligero (INTEGRA-ME)".

Referencias bibliográficas

- Bielecka, E. (2005): "A dasymetric population density map of Poland", *In Proceedings of the 22nd International Cartographic Conference*, July 9-15, A Coruna, Spain.
- Bracken, I. and Martin, D. (1989): "The generation of spatial population distributions from Census centroid data", *Environmental and Planning A*, 21, pp. 537-43.
- Eicher, C. and Brewer, C. (2001): "Dasymetric mapping and areal interpolation: Implementation and evaluation", *Cartography and Geographic Information Science*, 28, pp. 125-38.
- Flowerdew, R. and Green, M. (1989): "Statistical methods for inference between incompatible zonal systems", en Goodchild, M.F. and S. Gopal (Ed.): *Accuracy of spatial databases*. London, U.K., Taylor and Francis, pp. 239-48.
- García, J.C. (2003): "El microseccionado de la comunidad de Madrid", *Boletín de la estrategia de la Consejería de Sanidad para la utilización de Sistemas de Información Geográfica en la administración, la planificación y el análisis sanitario*, Vol. 10.
- Goerlich, F. y Cantarino, I. (2012): *Una grid de densidad de población para España*. Madrid, Fundación BBVA.

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 (Artículos)*, n° 13, p. 337-366. ISSN: 1578-5157

Goodchild, M. and Lam, N.S.N. (1980): "Areal interpolation: A variant of the traditional spatial problem", *Geo-Processing*, 1, 297-312.

Grupo de Métodos Cuantitativos (A.G.E.): *Geografía Teórica y Cuantitativa: concepto y métodos*. Oviedo, Universidad de Oviedo.

Gutiérrez, J.; García, J.C.; Alventosa, C.; Redondo, J.C. y Paniagua, E. (2002): "Accesibilidad peatonal a la red sanitaria de asistencia primaria en Madrid", *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, Vol. Extraordinario, pp. 269-280.

Hinton, J. (2002): "Developments since the production of noise maps of the city of Birmingham", en Perera, P. (Coor.): *Jornadas internacionales sobre contaminación acústica en las ciudades*. Madrid, Ayuntamiento de Madrid, pp. 121-125.

Holt, J.B., Lo, C.P. and Hodler, T.W. (2004): "Dasymetric estimation of population density and areal interpolation of census data", *Cartography and Geographic Information Science*, 31, pp. 103-121.

García-Palomares, J.C., Gutiérrez, J. y Latorre, M. (2012): "Optimizing the location of stations in bike-sharing programs: a GIS approach", *Applied Geography*, 35, pp. 235-246.

Maantay, J.A., Maroko, A.R. and Herrmann, C. (2007): "Mapping population distribution in the urban environment: the Cadastral-based Expert Dasymetric System (CEDS)", *Cartography and Geographic Information Science*, 34, 2, pp. 77-102.

Martin, D. (1989): "Mapping population data from zone centroid locations", *Transactions of the Institute of British Geographers*, 14 (1), pp. 90-97.

Moreno, A. y Prieto, M.E. (2003): "Evaluación de procedimientos para delimitar áreas de servicio de líneas de transporte urbano con Sistemas de Información Geográfica", *Investigaciones Regionales*, 2, pp. 85-102.

Moreno, A. y Martínez, P. (2005): "El ruido ambiental urbano en Madrid. Caracterización y evaluación cuantitativa de la población potencialmente afectable", *Boletín de la A.G.E.*, 40, pp.153-179.

Nordhaus, W. (2002): *Alternative approaches to spatial rescaling*. Universidad de Yale.

Ojeda, J., Márquez, J. y Álvarez, J.I. (2012): "Análisis de redes y sensibilidad a la unidad mínima de información poblacional: Sanlúcar de Barrameda (Cádiz)", *XV Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica*, Madrid, AGE-CSIC, 19-21 de septiembre.

Openshaw, S. (1984): "Ecological fallacies and the analysis of areal census data", *Environmental and Planning A*, 16, pp.17-31.

Poulsen, E. and Kennedy, L.W. (2004): "Using dasymetric mapping for spatially aggregated crime data", *Journal of Quantitative Criminology*, 20(3), 243-62.

Reibel, M. (2007): "Geographic Information Systems and Spatial Data Processing in Demography: a Review", *Population Research and Policy Review*, Volume 26, Issue 5-6, pp. 601-618.

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 (Artículos)*, nº 13, p. 337-366. ISSN: 1578-5157

Sánchez-Casas, C. (2004): “Aprovechamiento, edificabilidad y asignación de redes en la ley 9/2001 conclusión de experiencia práctica de su aplicación”, *Revista de Derecho Urbanístico y Medio Ambiente*, 214, pp.135-162.

Santos, J.M., Azcárate, M.V., Cocero, D., García, F.J. y Muguruza, C. (2011): “Los procedimientos de desagregación espacial de la población y su aplicación al análisis del modelo de ciudad dispersa. El caso de las aglomeraciones urbanas de Madrid y Granada”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 11, p. 91-117.

Suárez, R., Santos, D. y Dorta, P. (2008): “Generación de un modelo superficial de la población de Gran Canaria”, en Hernández, L. y Parreño, J.M. (Ed.): *Tecnologías de la información geográfica para el desarrollo territorial*. Las Palmas de Gran Canaria: Servicio de publicaciones y difusión científica de la ULPGC, pp. 183-193.

Subero, J.M. (2009): *Métodos de análisis de la eficacia espacial de las redes de transporte colectivo de infraestructura fija, ensayo de indicadores de oferta*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña.

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

Yáñez, I. (1997): “Conceptos de uso en la legislación del suelo (Especial referencia a la calificación y zonificación)”, *Revista de Derecho Urbanístico y Medio Ambiente*, 156.

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 (Artículos)*, n° 13, p. 337-366. ISSN: 1578-5157

APÉNDICE 1

Tabla de cálculos y resultados.¹ del distrito 2 sección 28 del ámbito de estudio (Cod_2028).

Id	Cod_s	Npc	Np1	Np2	Uso	Pob_s ²	Spf (m ²)	Edf-r (m ²)	EdfA-r (m ²)	CoDPE	Pob_e
1	2028	IV	4	3	Residencial	1240	268,101	804,303	34305,503	0,0234	29,072
2	2028	IV	4	3	Residencial	1240	178,247	534,740	34305,503	0,0156	19,329
3	2028	III	3	3	Residencial	1240	136,088	408,264	34305,503	0,0119	14,757
4	2028	III	3	3	Residencial	1240	137,094	411,283	34305,503	0,0120	14,866
5	2028	IV	4	3	Residencial	1240	175,672	527,016	34305,503	0,0154	19,049
6	2028	IV	4	3	Residencial	1240	176,148	528,443	34305,503	0,0154	19,101
7	2028	IV	4	3	Residencial	1240	176,355	529,065	34305,503	0,0154	19,123
8	2028	I	1	1	Residencial	1240	11,181	11,181	34305,503	0,0003	0,404
9	2028	IVB	0	0	Residencial	1240	2,508	0,000	34305,503	0,0000	0,000
10	2028	IVB	0	0	Residencial	1240	2,319	0,000	34305,503	0,0000	0,000
11	2028	I	1	1	Residencial	1240	12,594	12,594	34305,503	0,0004	0,455
12	2028	IVB	0	0	Residencial	1240	2,235	0,000	34305,503	0,0000	0,000
13	2028	IVB	0	0	Residencial	1240	2,578	0,000	34305,503	0,0000	0,000
14	2028	IVB	0	0	Residencial	1240	2,351	0,000	34305,503	0,0000	0,000
15	2028	IVB	0	0	Residencial	1240	2,259	0,000	34305,503	0,0000	0,000
16	2028	IV	4	3	Residencial	1240	167,226	501,679	34305,503	0,0146	18,134
17	2028	IV	4	3	Residencial	1240	258,200	774,599	34305,503	0,0226	27,999
18	2028	IV	4	3	Residencial	1240	175,092	525,275	34305,503	0,0153	18,986
19	2028	IV	4	3	Residencial	1240	178,804	536,411	34305,503	0,0156	19,389
20	2028	IV	4	3	Residencial	1240	170,646	511,937	34305,503	0,0149	18,504
21	2028	IV	4	3	Residencial	1240	174,593	523,779	34305,503	0,0153	18,932
22	2028	IV	4	3	Residencial	1240	170,960	512,880	34305,503	0,0150	18,538
23	2028	IV	4	3	Residencial	1240	178,759	536,276	34305,503	0,0156	19,384
24	2028	IV	4	3	Residencial	1240	181,543	544,628	34305,503	0,0159	19,686
25	2028	IV	4	3	Residencial	1240	259,958	779,874	34305,503	0,0227	28,189
26	2028	IV	4	3	Residencial	1240	261,442	784,327	34305,503	0,0229	28,350
27	2028	III	3	3	Residencial	1240	123,784	371,351	34305,503	0,0108	13,423
28	2028	IV	4	3	Residencial	1240	265,162	795,485	34305,503	0,0232	28,753
29	2028	IV	4	3	Residencial	1240	256,831	770,492	34305,503	0,0225	27,850
30	2028	IV	4	3	Residencial	1240	168,232	504,696	34305,503	0,0147	18,243
31	2028	IV	4	3	Residencial	1240	174,325	522,974	34305,503	0,0152	18,903
32	2028	IV	4	3	Residencial	1240	261,639	784,916	34305,503	0,0229	28,371
33	2028	IV	4	3	Residencial	1240	255,936	767,807	34305,503	0,0224	27,753
34	2028	IV	4	3	Residencial	1240	258,533	775,600	34305,503	0,0226	28,035
35	2028	IV	4	3	Residencial	1240	172,915	518,745	34305,503	0,0151	18,750
36	2028	IV	4	3	Residencial	1240	170,581	511,744	34305,503	0,0149	18,497

¹ Solamente se exponen los resultados del ámbito 2028 debido al gran volumen de datos existentes en el resto. Además se excluyen las edificaciones no residenciales para facilitar la lectura de la tabla.

² Este dato se refiere a la población total para el ámbito dado, en este caso corresponde con una sección censal. Concretamente con el distrito 2, sección 28 del municipio de Granada.

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 (Artículos)*, n° 13, p. 337-366. ISSN: 1578-5157

Id	Cod_s	Npc	Np1	Np2	Uso	Pob_s ²	Spf (m ²)	Edf-r (m ²)	EdfA-r (m ²)	CoDPE	Pob_e
37	2028	IV	4	3	Residencial	1240	182,187	546,562	34305,503	0,0159	19,756
38	2028	IV	4	3	Residencial	1240	176,261	528,784	34305,503	0,0154	19,113
39	2028	IV	4	3	Residencial	1240	178,227	534,681	34305,503	0,0156	19,326
40	2028	IV	4	3	Residencial	1240	184,109	552,326	34305,503	0,0161	19,964
41	2028	III	3	3	Residencial	1240	125,012	375,037	34305,503	0,0109	13,556
42	2028	P	0	0	Residencial	1240	20,395	0,000	34305,503	0,0000	0,000
43	2028	P	0	0	Residencial	1240	14,102	0,000	34305,503	0,0000	0,000
44	2028	III	3	3	Residencial	1240	135,235	405,706	34305,503	0,0118	14,665
45	2028	P	0	0	Residencial	1240	66,026	0,000	34305,503	0,0000	0,000
46	2028	V	5	4	Residencial	1240	181,997	727,990	34305,503	0,0212	26,314
47	2028	P	0	0	Residencial	1240	67,579	0,000	34305,503	0,0000	0,000
48	2028	V	5	4	Residencial	1240	283,382	1133,528	34305,503	0,0330	40,972
49	2028	I	1	1	Residencial	1240	13,596	13,596	34305,503	0,0004	0,491
50	2028	P	0	0	Residencial	1240	63,942	0,000	34305,503	0,0000	0,000
51	2028	P	0	0	Residencial	1240	19,386	0,000	34305,503	0,0000	0,000
52	2028	V	5	4	Residencial	1240	183,897	735,587	34305,503	0,0214	26,588
53	2028	P	0	0	Residencial	1240	65,337	0,000	34305,503	0,0000	0,000
54	2028	P	0	0	Residencial	1240	62,454	0,000	34305,503	0,0000	0,000
55	2028	P	0	0	Residencial	1240	61,030	0,000	34305,503	0,0000	0,000
56	2028	V	5	4	Residencial	1240	187,439	749,757	34305,503	0,0219	27,101
57	2028	P	0	0	Residencial	1240	19,469	0,000	34305,503	0,0000	0,000
58	2028	P	0	0	Residencial	1240	18,793	0,000	34305,503	0,0000	0,000
59	2028	III	3	3	Residencial	1240	126,181	378,543	34305,503	0,0110	13,683
60	2028	P	0	0	Residencial	1240	18,280	0,000	34305,503	0,0000	0,000
61	2028	P	0	0	Residencial	1240	19,576	0,000	34305,503	0,0000	0,000
62	2028	P	0	0	Residencial	1240	58,766	0,000	34305,503	0,0000	0,000
63	2028	P	0	0	Residencial	1240	58,231	0,000	34305,503	0,0000	0,000
64	2028	V	5	4	Residencial	1240	187,442	749,768	34305,503	0,0219	27,101
65	2028	P	0	0	Residencial	1240	67,972	0,000	34305,503	0,0000	0,000
66	2028	V	5	4	Residencial	1240	174,994	699,977	34305,503	0,0204	25,301
67	2028	P	0	0	Residencial	1240	70,526	0,000	34305,503	0,0000	0,000
68	2028	III	3	3	Residencial	1240	127,792	383,376	34305,503	0,0112	13,857
69	2028	P	0	0	Residencial	1240	65,269	0,000	34305,503	0,0000	0,000
70	2028	I	1	1	Residencial	1240	12,404	12,404	34305,503	0,0004	0,448
71	2028	V	5	4	Residencial	1240	287,285	1149,139	34305,503	0,0335	41,537
72	2028	IV	4	3	Residencial	1240	269,798	809,395	34305,503	0,0236	29,256
73	2028	P	0	0	Residencial	1240	59,352	0,000	34305,503	0,0000	0,000
74	2028	P	0	0	Residencial	1240	62,771	0,000	34305,503	0,0000	0,000
75	2028	P	0	0	Residencial	1240	64,485	0,000	34305,503	0,0000	0,000
76	2028	V	5	4	Residencial	1240	175,283	701,132	34305,503	0,0204	25,343
77	2028	IV	4	3	Residencial	1240	276,792	830,375	34305,503	0,0242	30,015
78	2028	IV	4	3	Residencial	1240	272,511	817,532	34305,503	0,0238	29,550
79	2028	P	0	0	Residencial	1240	63,904	0,000	34305,503	0,0000	0,000

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 (Artículos)*, n° 13, p. 337-366. ISSN: 1578-5157

Id	Cod_s	Npc	Np1	Np2	Uso	Pob_s ²	Spf (m ²)	Edf-r (m ²)	EdfA-r (m ²)	CoDPE	Pob_e
80	2028	P	0	0	Residencial	1240	64,014	0,000	34305,503	0,0000	0,000
81	2028	P	0	0	Residencial	1240	62,000	0,000	34305,503	0,0000	0,000
82	2028	V	5	4	Residencial	1240	179,593	718,371	34305,503	0,0209	25,966
83	2028	IV	4	3	Residencial	1240	263,562	790,686	34305,503	0,0230	28,580
84	2028	P	0	0	Residencial	1240	63,814	0,000	34305,503	0,0000	0,000
85	2028	V	5	4	Residencial	1240	184,486	737,945	34305,503	0,0215	26,674
86	2028	P	0	0	Residencial	1240	62,005	0,000	34305,503	0,0000	0,000
87	2028	V	5	4	Residencial	1240	282,361	1129,442	34305,503	0,0329	40,825
88	2028	P	0	0	Residencial	1240	17,252	0,000	34305,503	0,0000	0,000
89	2028	P	0	0	Residencial	1240	63,341	0,000	34305,503	0,0000	0,000
90	2028	V	5	4	Residencial	1240	181,104	724,415	34305,503	0,0211	26,185
91	2028	P	0	0	Residencial	1240	60,502	0,000	34305,503	0,0000	0,000
92	2028	P	0	0	Residencial	1240	62,897	0,000	34305,503	0,0000	0,000
93	2028	P	0	0	Residencial	1240	19,416	0,000	34305,503	0,0000	0,000
94	2028	P	0	0	Residencial	1240	16,813	0,000	34305,503	0,0000	0,000
95	2028	V	5	4	Residencial	1240	186,772	747,086	34305,503	0,0218	27,004
96	2028	P	0	0	Residencial	1240	64,433	0,000	34305,503	0,0000	0,000
97	2028	P	0	0	Residencial	1240	65,267	0,000	34305,503	0,0000	0,000
98	2028	P	0	0	Residencial	1240	61,876	0,000	34305,503	0,0000	0,000
99	2028	P	0	0	Residencial	1240	69,313	0,000	34305,503	0,0000	0,000
100	2028	P	0	0	Residencial	1240	67,051	0,000	34305,503	0,0000	0,000
101	2028	P	0	0	Residencial	1240	64,293	0,000	34305,503	0,0000	0,000
102	2028	P	0	0	Residencial	1240	70,758	0,000	34305,503	0,0000	0,000
103	2028	P	0	0	Residencial	1240	69,171	0,000	34305,503	0,0000	0,000
									34305,503	1	1240
									Σ Edf-r ₂₀₂₈	Σ CoDPE ₂₀₂₈	Σ Pob_e ₂₀₂₈

APÉNDICE 2

Validación de resultados

$$1) \sum Edf - r_A = EdfA - r$$

$\sum Edf-r_{2028}$	$EdfA-r$	Validación
34305,503	34305,503	Correcta

$$2) \sum CoDPE_A = 1$$

$\sum CoDPE_{2028}$	Validación
1	Correcta

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 (Artículos)*, n° 13, p. 337-366. ISSN: 1578-5157

$$3) \sum Pob_e_A = Pob_s_A$$

$\sum Pob_e_{2028}$	$\sum Pob_s_{2028}$	Validación
1240	1240	Correcta

ⁱ Las Unidades Espaciales Modificables (UEM) vienen a representar el “individuo geográfico”, el problema es que no existen unidades zonales naturales como ocurre con la dimensión temporal (día, semana, mes, etc.), aspecto que se denomina el Problema de las Unidades Espaciales Modificables (PUEM). En este trabajo, las UEM representan la división espacial más pequeña en la cual es posible llevar a cabo la desagregación espacial de datos demográficos o socioeconómicos.

ⁱⁱ Existen métodos continuos (Nordhaus, 2002) y discretos para la desagregación de información. En este trabajo se focaliza sobre los discretos ya que los métodos continuos (triangulación, interpolación polinomial, suavizado kernel, kriging,...) fueron diseñados para variables físicas continuas en el espacio, tales como la temperatura, la altitud, presión atmosférica, humedad, etc.

ⁱⁱⁱ Al hablar de unidad de superficie tomada se hace referencia a la unidad de superficie en la que se expresan los valores desagregados (personas/m²; personas/km²; personas/Has, etc.).

^{iv} El microseccionado de la Comunidad de Madrid fue elaborado en el año 2000 por el Departamento de Geografía Humana de la UCM y la consultora TEMA, S.A. para el Consorcio de Transportes y la Consejería de Sanidad de la Comunidad de Madrid, dentro del estudio “Accesibilidad y cobertura de las redes de transporte público y asistencia sanitaria de la comunidad de Madrid”.

^v Instituto Nacional de Estadística.

^{vi} Plan General de Ordenación Urbanística.

^{vii} Con primera planta o planta baja se está haciendo alusión a aquella que queda en la rasante con el nivel de la calle.

^{viii} <http://www.sedecatastro.gob.es/>

^{ix} En este trabajo se ha utilizado ArcGis 10, con lo cual las referencias a herramientas corresponden a dicho programa.

^x En ArcGis 10 se denomina *Field Calculator*.

^{xi} Antes de realizar los cálculos es necesario crear un nuevo campo (Edf-r) donde se recojan los resultados del cálculo.

^{xii} En ArcGis 10 se denomina *Spatial Analysis*.

^{xiii} Este proceso de validación, en ArcGis 10, se realizó utilizando las herramientas de *extracción por máscara* incorporadas en el paquete de *Spatial Analysis*.

^{xiv} Como ya se avanzó, los resultados de EUGR son los que se utilizan como verificación y validación para los obtenidos por los otros métodos. Esta es la razón por la cual el valor de en el EUGR es 100% en todos los casos.