

Santos Preciado, J.M., Azcárate Luxán, M. V., Cocero Matesanz, D. y Muguruza Cañas, C. (2013): "Medida de la dispersión urbana, en un entorno SIG. Aplicación al estudio del desarrollo urbano de la Comunidad de Madrid (1990-2006)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-1, p. 48-75. ISSN: 1578-5157

MEDIDA DE LA DISPERSIÓN URBANA, EN UN ENTORNO SIG. APLICACIÓN AL ESTUDIO DEL DESARROLLO URBANO DE LA COMUNIDAD DE MADRID (1990-2006)

JOSÉ MIGUEL SANTOS PRECIADO, MARÍA VICTORIA AZCÁRATE LUXÁN, DAVID
COCERO MATESANZ y CARMEN MUGURUZA CAÑAS

Departamento de Geografía. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Paseo de la Senda del
Rey nº 7, 28040 Madrid, España

jsantos@geo.uned.es; mazcarate@geo.uned.es; dcocero@geo.uned.es; mmuguruza@geo.uned.es

RESUMEN

La ciudad compacta tradicional, prototipo del urbanismo español de los años sesenta y setenta del pasado siglo, comenzó, desde la década de los ochenta, a transformar su modelo de ciudad por un espacio urbano cada vez más discontinuo, disperso y fragmentado. En el presente artículo, proponemos una forma de medir este fenómeno de la dispersión urbana, a partir del análisis morfológico del nuevo crecimiento urbano residencial, utilizando algunos rasgos o dimensiones del mismo que consideramos fundamentales: baja densidad de población, disminución del grado de contigüidad espacial y descentralización.

La aportación metodológica la hemos aplicado a la medición comparativa del crecimiento residencial de la Comunidad de Madrid en los periodos de tiempo 1990-2000 y 2000-2006, utilizando las bases de datos CORINE Land Cover, en un entorno SIG, lo que nos ha permitido contrastar su nivel de acercamiento o alejamiento al modelo de ciudad dispersa, desde bases operacionales más eficaces y resolutivas.

Palabras clave: modelo urbano disperso, medida de la dispersión urbana, desagregación espacial, Sistemas de Información Geográfica.

GIS BASED MEASUREMENT OF URBAN SPRAWL. APPLICATION TO URBAN DEVELOPMENT STUDY OF THE MADRID REGION (1900-2006)

ABSTRACT

The traditional compact city, prototype of Spanish town planning of the 1960s and 1970s, began to transform its model of the city in the 1980s for an urban space always more intermittent, scattered and fragmented. In this current article, we expose a manner of measure this phenomenon

Recibido: 16/10/2012

Aceptada versión definitiva: 21/1/2013

© Los autores

www.geo-focus.org

Santos Preciado, J.M., Azcárate Luxán, M. V., Cocero Matesanz, D. y Muguruza Cañas, C. (2013): "Medida de la dispersión urbana, en un entorno SIG. Aplicación al estudio del desarrollo urbano de la Comunidad de Madrid (1990-2006)", GeoFocus (Artículos), nº 13-1, p. 48-75. ISSN: 1578-5157

of urban sprawl, starting from morphological analysis of new residential urban growth, using some of its characteristics or dimensions that we consider fundamental: low population density, decline of the degree of spatial adjacency, and decentralization.

We have applied this methodological contribution to the comparative measurement of residential growth of the Community of Madrid in the periods 1990-2000 and 2000-2006, using the data bases of CORINE Land Cover, in a G.I.S. environment, which has let us contrast its level of rapprochement or distancing to the model of the scattered city from more effective and problem-solving operational bases.

Keywords: scattered urban model, measuring urban sprawl, spatial disaggregation, Geographical Information Systems.

1. Introducción

El modelo de ciudad disperso, surgido por influencia del urbanismo anglosajón de Estados Unidos y norte de Europa, ha ido extendiendo su radio de acción al resto de los espacios urbanos del occidente desarrollado, en una onda expansiva retardada, que ha llegado, finalmente, a alcanzar a los países europeos del Mediterráneo.

En el caso de España, podríamos destacar, en nuestras principales urbes, una serie de rasgos característicos de este nuevo modelo de ciudad. En primer lugar, la proliferación de un tejido residencial de baja densidad, constituido, en gran parte, por viviendas unifamiliares, en territorios cada vez más alejados del centro de la ciudad. A ello habría que añadir, la localización periférica del comercio y las oficinas, antes centralizados. Su traslado hacia el extrarradio se viene realizando, desde hace al menos dos o tres décadas, en áreas extensas, bien situadas respecto a la red de transporte. Esta localización descentralizada del terciario en las nuevas periferias de la ciudad se apoya en los subcentros metropolitanos, aparecidos en los años sesenta y setenta del pasado siglo, momento de conformación del modelo metropolitano fordista. Finalmente, deberíamos destacar que la nueva realidad de estas periferias urbanas no habría sido posible sin el desarrollo de un sistema de transportes reticular, que permite la interrelación de zonas cada vez más separadas entre sí, así como por la utilización masiva, por la población residente en la ciudad, del automóvil privado. Como consecuencia de este proceso de dispersión creciente de las actividades en el territorio, se está originando una ocupación extensiva del suelo, que dilapida los recursos, naturales y económicos, más allá de las necesidades propias al crecimiento de su población residente. Así, mientras que la población apenas ha incrementado sus efectivos demográficos estamos asistiendo a un aumento espectacular del consumo de suelo, lo que constituye, sin duda, una de las manifestaciones más claras del fenómeno del "sprawl".

Dentro de este marco de referencia, pretendemos, en el presente artículo, exponer un procedimiento de medida de alguna de las características fundamentales del modelo urbano disperso, con la intención de poder contrastar la progresión en el tiempo de dicho modelo en un área urbana concreta o comparar diversas aglomeraciones urbanas en el mismo momento. Nuestro

Santos Preciado, J.M., Azcárate Luxán, M. V., Cocero Matesanz, D. y Muguruza Cañas, C. (2013): "Medida de la dispersión urbana, en un entorno SIG. Aplicación al estudio del desarrollo urbano de la Comunidad de Madrid (1990-2006)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-1, p. 48-75. ISSN: 1578-5157

propósito es limitado y se centra en el análisis morfológico de la función residencial. La estructura residencial dominante de nuestro país continúa siendo, en buena parte, la definida durante la etapa de conformación del modelo metropolitano monocéntrico, cuyos rasgos básicos, establecidos hace ya cuarenta años, suponían la existencia de una elevada compacidad de la población en el área central de la ciudad y en los municipios suburbanos de la primera y segunda coronas metropolitanas. A este modelo metropolitano más puro, se habría añadido, durante los últimos años, un tejido urbano más extensivo, originado, en parte, por la construcción de viviendas en urbanizaciones aisladas, cada vez más distantes del centro de la ciudad.

Con objeto de analizar el grado de implantación de este nuevo modelo urbano en nuestro país, hemos seleccionado, para su estudio, el espacio geográfico de la Comunidad de Madrid, intentando mostrar, a partir de esta metodología de medida de la dispersión urbana, los contrastes, avances y retrocesos respecto a este fenómeno que han tenido lugar desde 1990, fecha en que se supone ya consolidado el modelo metropolitano tradicional, hasta el año 2006, prácticamente la actualidad.

2. Hacia una definición operativa del concepto de dispersión, como punto de partida del análisis

Con vistas a facilitar la medición de una determinada realidad urbana respecto al modelo de ciudad dispersa, se hace necesaria la definición operativa del concepto disperso, que permita la aplicación de metodologías específicas de contraste. Existe una amplia gama de definiciones para referirse al concepto de la expansión urbana dispersa, aunque aún no se ha llegado a una definición precisa del término. Lo que podemos destacar, en general, es la falta de consenso sobre su significado concreto (Johnson, 2001). Es más, detrás de la etiqueta de "disperso" se esconde una imagen borrosa de la ciudad, donde caben múltiples enfoques, sustentados en consideraciones más o menos subjetivas. La mayoría de los autores que han tratado el tema inciden más en los aspectos negativos del fenómeno que en los positivos. Algunos, como Mendoza Terrazas y Sánchez Flores (2009), resaltan determinados atributos desfavorables, al señalar que la dispersión urbana coincide con el "uso ineficiente del suelo que acentúa la pérdida de los recursos naturales en relación con el crecimiento de la población", y otros, los más extremos, llegan a calificar este tipo de crecimiento como "un proceso enfermizo de desarrollo urbano cancerígeno en el territorio rural, de grave peligro para la sostenibilidad y salud de los habitantes de la gran ciudad" (Weitz y Moore, 1999). En general, el fenómeno se presenta como un "crecimiento urbano descoordinado o no planificado"; esto es, una expansión urbana que no mide sus consecuencias a corto y largo plazo (Cerdeira, 2007).

La medición del fenómeno conocido como "sprawl" incluye múltiples dimensiones a estimar, de muy variada índole: morfológicas, ambientales, económicas, sociales e, incluso, políticas. La consideración de todas estas particularidades implica tener presente factores difíciles de cuantificar, tan dispares como la accesibilidad a través de la red de carreteras de la región, la tipología residencial, la descentralización del empleo y los servicios, la existencia de subcentros en la periferia o la planificación territorial, entre otros. Este planteamiento global, sin duda más cercano a la complicada y confusa realidad que pretendemos explorar, conlleva la definición previa

Santos Preciado, J.M., Azcárate Luxán, M. V., Cocero Matesanz, D. y Muguruza Cañas, C. (2013): "Medida de la dispersión urbana, en un entorno SIG. Aplicación al estudio del desarrollo urbano de la Comunidad de Madrid (1990-2006)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-1, p. 48-75. ISSN: 1578-5157

de índices complejos que consideran la combinación de variables de muy diferente contenido. En esta línea de trabajo, se han desarrollado diversos estudios para conocer la diferenciación urbana en las distintas zonas de expansión de la ciudad, con objeto de llegar a un mejor entendimiento del fenómeno. Así, Ewing *et al.* (2002) elaboraron un número de índices de medida de la dispersión, en 83 áreas metropolitanas de Estados Unidos, combinando variables tan dispares como la densidad residencial, la mezcla de usos del suelo, el patrón de la red de carreteras o el grado de concentración del desarrollo urbano más reciente. De manera semejante, el trabajo de Allen (2001) ofrece un conjunto de indicadores parecidos, utilizando atributos tan heterogéneos como la forma urbana del nuevo crecimiento metropolitano, las opciones de transporte existentes, la proximidad residencial a los usos comerciales e industriales o la accesibilidad de la vivienda a determinados servicios.

Un planteamiento más operativo, aunque quizás más elemental y alejado del análisis de las causas genéricas del fenómeno, es aquel que se centra, básicamente, en el análisis morfológico del nuevo crecimiento urbano. Una revisión de los trabajos que han propuesto definiciones basadas en aspectos relacionados con la forma de la dispersión, entre los que destaca el elaborado por Galster *et al.* (2001), permite distinguir al menos cinco dimensiones posibles del mismo (Muñiz *et al.*, 2006):

1. *Baja densidad.* Aparición de áreas periféricas residenciales poco densas con un importante peso de la vivienda unifamiliar.
2. *Baja centralidad.* Una de las características de la dispersión urbana es que la población y la actividad tienden a desplazarse hacia el exterior de la ciudad. Pierde, por tanto, peso económico y poblacional el centro tradicional frente a las áreas más periféricas.
3. *Baja proximidad.* La dispersión no sólo puede suponer un creciente alejamiento del centro, sino también una disgregación del total de empleos y personas por toda la región urbana, lo cual se traduce en un progresivo aislamiento de las piezas que conforman la mancha urbana con independencia de si se trata de un sistema urbano monocéntrico o policéntrico.
4. *Baja concentración.* Uno de los efectos que comporta el crecimiento de la población y del empleo en zonas poco densas es que el peso que anteriormente tenían un número limitado de zonas especialmente densas y compactas (municipios, distritos, zonas censales, etc.) tiende a ser cada vez menor.
5. *Discontinuidad.* Por último, una de las formas que suele adoptar la dispersión es la fragmentación; esto es, la pérdida de continuidad entre viejos y nuevos desarrollos urbanos dejando vacíos entre medio.

En general, tratando de sintetizar esta dimensión múltiple, en relación exclusiva con la función residencial, podemos afirmar, de acuerdo con determinados autores (Batty *et al.*, 2003), que el modelo de crecimiento compacto se caracteriza, frente al disperso, por una serie de rasgos, que se pueden concretar, fundamentalmente, en tres variables: la densidad de la población, el desarrollo urbano más o menos centralizado y, finalmente, en la variedad morfológica o aspecto formal del nuevo tejido residencial, fruto del crecimiento de la ciudad. Entre ambos tipos de modelos

Santos Preciado, J.M., Azcárate Luxán, M. V., Cocero Matesanz, D. y Muguruza Cañas, C. (2013): "Medida de la dispersión urbana, en un entorno SIG. Aplicación al estudio del desarrollo urbano de la Comunidad de Madrid (1990-2006)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-1, p. 48-75. ISSN: 1578-5157

(compacto y disperso), no existirían umbrales definitivos de separación, sino una continua variación de situaciones entre las posiciones más extremas. Sin embargo, nos surge una cuestión de importancia: ¿cómo medir cada una de las variables reseñadas?

La primera de ellas subraya como el desarrollo residencial disperso tiene la particularidad de consumir mucho más espacio, en la construcción de la vivienda, que la urbanización tradicional, al apuntar este tipo de modelo urbano hacia una baja densidad edificatoria. Esta realidad sería la consecuencia, en general, de un tejido residencial característico, integrado por urbanizaciones de viviendas individuales, unifamiliares, o, en general, de carácter extensivo, en contraposición a los edificios multifamiliares o de bloques de pisos de mayor densidad edificatoria. Numerosos métodos permiten calcular la densidad residencial (Churchman, 1999), aunque el más usual es aquel que formaliza dicho concepto como la relación entre las personas que habitan en un espacio concreto y la superficie ocupada por el mismo.

La segunda variable, relativa a la centralidad, se halla relacionada con la distancia al centro de la ciudad. Para algunos autores (Clawson y Hall, 1973), el crecimiento disperso afectaría tanto a las áreas alejadas del centro de la ciudad como a las más compactas y cercanas a un centro secundario. Esta postura cuestiona otras más extremas, que consideran dispersión y policentrismo como realidades no sólo diferentes, sino incluso contrapuestas (García y Muñoz, 2005). Desde nuestro punto de vista, pensamos que una de las pautas del modelo disperso ha sido, al menos en nuestro país, la ruptura del modelo monocéntrico metropolitano y la cristalización de un modelo policéntrico, relacionado con la expansión periférica de funciones urbanas antes centralizadas. Por este motivo, consideramos que, si bien es cierto que la localización o relocalización de actividades residenciales y productivas, en las áreas periféricas de las ciudades, se encuentra estructurada desde estos centros urbanos secundarios, la distancia a dichos subcentros es un factor importante de medida de la dispersión, ya que se encuentra directamente relacionada con el aislamiento y la fragmentación, una de las características básicas del desarrollo urbano disperso.

Santos Preciado, J.M., Azcárate Luxán, M. V., Cocero Matesanz, D. y Muguruza Cañas, C. (2013): "Medida de la dispersión urbana, en un entorno SIG. Aplicación al estudio del desarrollo urbano de la Comunidad de Madrid (1990-2006)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 13-1, p. 48-75. ISSN: 1578-5157

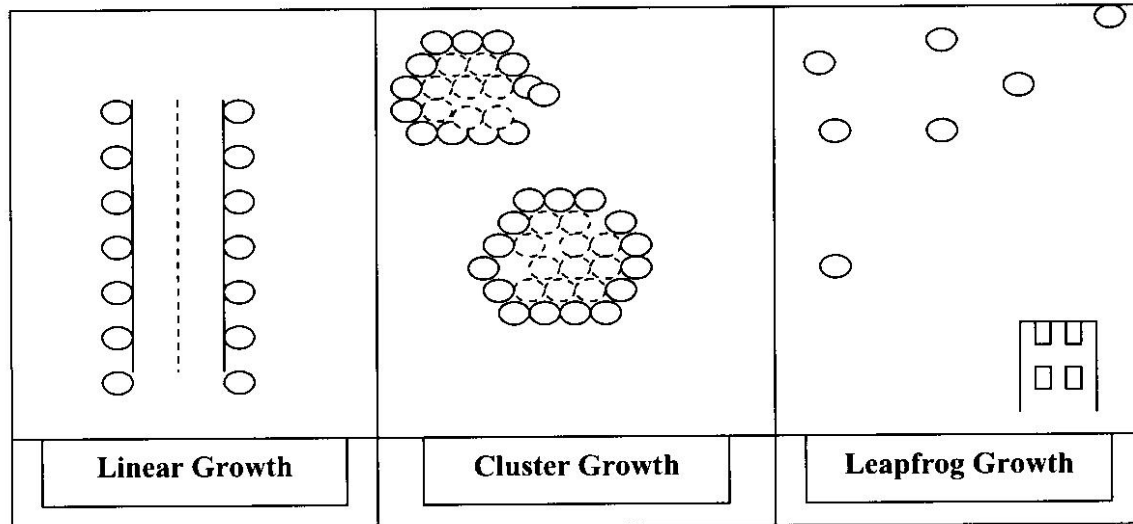


Figura 1. Principales patrones del crecimiento urbano disperso.

(Fuente: Harvey y Clark, 1971).

Finalmente, como variable más importante, debemos referirnos a la forma urbana propiamente dicha. Desde esta perspectiva de análisis, diversos patrones han sido identificados, morfológicamente, como representativos del crecimiento urbano, pudiéndose concretar, fundamentalmente, en tres tipos: crecimiento urbano compacto y continuo (*cluster growth*); crecimiento lineal (normalmente a lo largo de una arteria de tráfico) (*linear growth*) y crecimiento en manchas urbanas discontinuas y separadas entre sí (*leapfrog growth*) (figura 1) (Harvey y Clark, 1971). Descartando el primero de ellos, por motivos obvios, y con objeto de simplificar el problema, hemos seleccionado como forma dispersa básica el tercero de los patrones. Este tipo de crecimiento urbano, también definido como “scattered growth”, resalta por su carácter discontinuo con existencia de espacios vacantes respecto a otras áreas ya urbanizadas (Batty *et al.*, 2003). En el mismo, los edificios suelen estar más espaciados entre sí, separados por jardines, carreteras, espacios deportivos y de ocio e, incluso, espacios de estacionamiento, debido al elevado número de automóviles que se utilizan. En general, las áreas urbanizadas aparecen separadas por grandes áreas verdes (o al menos no urbanizadas), lo que conlleva que la densidad media se vea aún mucho más reducida. De esta manera, las áreas residenciales se sitúan de forma discontinua, dejando espacios intersticiales entre sí, de lo que resulta un paisaje fragmentado y disperso. Esta característica de falta de continuidad podría ser medida, identificando las zonas de nuevo crecimiento, aisladas, que superen una determinada distancia de separación respecto a otras zonas edificadas

3. Definición de una metodología propia de medición del fenómeno de la dispersión urbana

La definición y desarrollo de una metodología que permita medir el grado de acercamiento de una ciudad al patrón de crecimiento disperso, en relación con los rasgos descritos en el apartado

Santos Preciado, J.M., Azcárate Luxán, M. V., Cocero Matesanz, D. y Muguruza Cañas, C. (2013): "Medida de la dispersión urbana, en un entorno SIG. Aplicación al estudio del desarrollo urbano de la Comunidad de Madrid (1990-2006)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-1, p. 48-75. ISSN: 1578-5157

anterior, puede constituir un importante instrumento de comparación de los desarrollos urbanos de distintas áreas metropolitanas o de la misma metrópoli, en diferentes periodos de tiempo.

El primer paso de la misma consistiría en definir las unidades geográficas que sirven de base para la medición del fenómeno de la dispersión. Los estudios que ponen el acento en aspectos múltiples del crecimiento disperso de la ciudad, de carácter funcional, económico y social (distribución espacial del empleo y la población; accesibilidad de la población; segregación social; cohesión social, etc.) utilizan, en general, en el análisis comparado, unidades censales. Esta circunstancia permite disponer de amplia información con la que poder elaborar índices variados de medición. Así, podemos referirnos al análisis realizado en el proyecto SCATTER, en las ciudades de Milán, Helsinki, Bruselas, Stuttgart, Bristol y Rennes (Gayda *et al.*, 2003), donde se utilizan datos municipales sobre variables como densidad de población, variación del empleo, número de coches por familia, movilidad urbana, etc. Un estudio similar es el realizado por Kasanko *et al.* (2005), en 15 áreas urbanas europeas, durante las décadas de los cincuenta a los noventa del pasado siglo, donde se acometía la tarea de comprobar si las tendencias de la urbanización dispersa, típicas de las ciudades americanas, tenían un reflejo similar en la evolución del crecimiento de las aglomeraciones urbanas europeas, a partir de la distribución de los usos del suelo más relevantes (residencial, comercial, industrial, transporte, etc.) y la densidad de población neta sobre el territorio.

En el tipo de estudios, como el que nos proponemos, adaptados a medir la dispersión, exclusivamente, por la variación de la forma urbana o la densidad de población, la unidad espacial más utilizada es el píxel. Wilson *et al.* (2003) no sólo plantean medir cada celda espacial de manera individualizada, sino los cambios que se producen en un conjunto de píxeles próximos. Por ello, podemos afirmar que han sido utilizadas dos aproximaciones básicas para elaborar el patrón de crecimiento de la ciudad, a partir de un mosaico de teselas elementales (Irwin *et al.*, 2006): bien unidades geográficas de observación, de la misma forma y tamaño (en general, celdas cuadradas de idéntica superficie), bien zonas residenciales homogéneas, no contiguas espacialmente unas con otras. En nuestro caso, nos hemos decidido por esta segunda opción, identificando, en cada periodo de tiempo considerado, las nuevas manchas residenciales generadas, reconocidas por sus características residenciales uniformes y la ausencia de contigüidad espacial con el resto.

Una de las novedades que aportamos en nuestra investigación ha consistido en asociar el volumen de población al nuevo espacio residencial generado. Ello supone el traslado del volumen de población desde la unidad censal a cada píxel, de acuerdo al procedimiento de desagregación espacial que expondremos más detalladamente en un apartado posterior. Una vez identificadas las zonas o manchas de crecimiento, dónde ha habido cambio de uso no urbano a urbano residencial, se trasvasaría la información relativa a la población, lo que permitiría contar con una doble información: capas de suelo residencial y del volumen demográfico, con las que definir las nuevas zonas de crecimiento urbano.

El segundo paso de la metodología ha consistido en definir el patrón de crecimiento urbano de un área determinada, con objeto de medir su nivel de aproximación a un modelo más compacto o disperso. Siguiendo las orientaciones del estudio de Sudhira *et al.* (2004), nos hemos centrado en

Santos Preciado, J.M., Azcárate Luxán, M. V., Cocero Matesanz, D. y Muguruza Cañas, C. (2013): "Medida de la dispersión urbana, en un entorno SIG. Aplicación al estudio del desarrollo urbano de la Comunidad de Madrid (1990-2006)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 13-1, p. 48-75. ISSN: 1578-5157

analizar la zona de crecimiento residencial, calculando el nivel de fragmentación de las manchas y su densidad, clasificando las mismas según los rasgos que definen el crecimiento urbano disperso. Para ello, hemos seleccionado determinados atributos, definidos en el apartado anterior, relativos a la densidad residencial, la ruptura de la contigüidad y la distancia respecto al centro urbano, como exponentes, ampliamente citados, del crecimiento disperso y de la segmentación del espacio urbano.

La *densidad de población* es una de las medidas más comúnmente utilizadas como atributo del crecimiento urbano disperso. Uno de los rasgos que mejor definen el crecimiento difuso es la baja densidad de las nuevas áreas construidas. La densidad de población por hectárea se utiliza, habitualmente, para cuantificar la intensidad de ocupación del suelo. Resulta evidente que la baja concentración de efectivos demográficos en un amplio espacio residencial implica una ocupación más dispersa del territorio. La mayoría de trabajos consultados asocian este tipo de crecimiento urbano a la aparición de áreas periféricas residenciales poco densas, con un importante peso de la vivienda unifamiliar. Este enfoque ya comenzó a utilizarse en los EEUU, durante la primera mitad del siglo XX, para caracterizar los problemas de la expansión continua de sus ciudades, en forma de mancha de aceite, con unas densidades decrecientes a medida que aumentaba la distancia al centro urbano. Para obtener la densidad media por hectárea, hemos desagregado la capa de población a la correspondiente al nuevo crecimiento urbano, obteniendo la población de cada una de las zonas nuevas de crecimiento y, en consecuencia, la densidad media de la población en cada zona.

La *disminución del grado de contigüidad* del nuevo tejido residencial es otro de los rasgos de la dispersión del crecimiento de la ciudad actual. Una de las formas que suele adoptar la dispersión es la fragmentación; esto es, la pérdida de continuidad entre viejos y nuevos desarrollos urbanos, dejando espacios vacíos entre medio. Los crecimientos que se producen adyacentes a zonas urbanas consolidadas pueden considerarse como crecimientos con alta contigüidad espacial, mientras que aquellos que se producen aislados implican un patrón de crecimiento disperso (Aguilera, 2008). De hecho, en la ruptura de la contigüidad se percibe una de las formas que definen la dispersión máxima del espacio construido: el crecimiento "a saltos". Para medir este atributo, se analizó la continuidad del nuevo crecimiento con respecto a lo ya construido, localizándose las zonas que se encontraban contiguas físicamente con las anteriores, es decir, que compartían al menos un segmento lineal con las áreas urbanas ya consolidadas.

Finalmente, otro de los atributos usualmente mencionados en los estudios sobre los procesos de suburbanización es la *descentralización*, medida como la distancia de los nuevos desarrollos urbanos con respecto a los centros urbanos consolidados, tanto el centro urbano fundamental de la metrópoli como los subcentros más periféricos. En general, la dispersión urbana se relaciona con el aumento de la distancia respecto al centro urbano. Ello no sólo supone un creciente alejamiento del centro, sino también la baja proximidad entre sí, lo cual se traduce en un progresivo aislamiento de las piezas que conforman la mancha urbana, con independencia de si se trata de un sistema urbano monocéntrico o policéntrico.

De los tres criterios utilizados, el segundo tiene carácter cualitativo, mientras que los otros dos son cuantitativos. La dificultad de integrar las tres variables en un único índice, mediante una operación algebraica común, nos ha movido a transformar las variables cuantitativas en cualitativas,

Santos Preciado, J.M., Azcárate Luxán, M. V., Cocero Matesanz, D. y Muguruza Cañas, C. (2013): "Medida de la dispersión urbana, en un entorno SIG. Aplicación al estudio del desarrollo urbano de la Comunidad de Madrid (1990-2006)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-1, p. 48-75. ISSN: 1578-5157

de tipo categórico, con el fin de obtener la variable de integración como resultado de combinar dichas categorías. La clasificación de las diferentes zonas o manchas residenciales de acuerdo a los tres criterios expuestos, en dos categorías cada uno de ellos (alta o baja densidad de población; zonas contiguas o no contiguas; y zonas alejadas o cercanas al centro y subcentros metropolitanos) y su cruce posterior, nos permite diferenciar ocho categorías taxonómicas, tal como se recoge en la [tabla 1](#).

Tabla 1. Principales tipologías del nuevo crecimiento urbano, de acuerdo a los rasgos básicos de la dispersión

Densidad	Distancia	Contigüidad	Tipo
Baja	Lejos	Si	1. Disperso contiguo.
Baja	Lejos	No	2. Disperso no contiguo.
Baja	Cerca	Si	3. Baja densidad, cercano, contiguo.
Baja	Cerca	No	4. Baja densidad, cercano, no contiguo.
Alta	Lejos	Si	5. Compacto, lejano, contiguo.
Alta	Lejos	No	6. Compacto, lejano, no contiguo.
Alta	Cerca	Si	7. Compacto, cercano, contiguo.
Alta	Cerca	No	8. Compacto, cercano, no contiguo.

Las categorías resultantes pueden relacionarse con un tipo u otro de patrón de crecimiento urbano (disperso o compacto), de manera que podríamos establecer comparaciones entre dos realidades urbanas diferenciadas.

a) Los patrones de desarrollo urbano disperso

Este grupo incluye urbanizaciones de baja densidad residencial, generalmente asociadas a tipologías edificatorias unifamiliares o de bloques residenciales extensivos, pero también desarrollos alejados, respecto al centro, de mayor densidad, que evidencian la fragmentación del territorio asociada al crecimiento disperso. Estarían comprendidas, con mayor claridad, en este tipo de desarrollo urbano, las categorías de los desarrollos de tipo 1, 2 y 4. La categoría 3 corresponde a desarrollos unifamiliares o de bloques bajos, agregados a los centros urbanos, muy típicos de muchos de los municipios suburbanos de nuestras grandes ciudades, mientras que la categoría 6 evidencia densidades edificatorias altas pero con cierto grado de dispersión, manifestando, únicamente, alguno de los rasgos del crecimiento difuso del espacio (fragmentación o lejanía).

b) Los patrones de desarrollo urbano compacto.

Este otro conjunto hace referencia a los crecimientos que se producen adyacentes a la ciudad consolidada. Son, generalmente, extensiones de las tramas urbanas de los centros urbanos existentes o de los núcleos secundarios. Tienen carácter denso y por su relativa posición central suelen estar sometidos a procesos de densificación y transformación. Estarían incluidos los tipos de desarrollos 7 y 8.

Santos Preciado, J.M., Azcárate Luxán, M. V., Cocero Matesanz, D. y Muguruza Cañas, C. (2013): "Medida de la dispersión urbana, en un entorno SIG. Aplicación al estudio del desarrollo urbano de la Comunidad de Madrid (1990-2006)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-1, p. 48-75. ISSN: 1578-5157

Estos patrones de crecimiento guardan similitud con los identificados en trabajos previos realizados sobre el mismo tema (Font, 1997 y Aguilera, 2008). Este hecho viene a confirmar que la dinámica de crecimiento de las áreas urbanas europeas comparte procesos similares de transformación urbana.

4. Aplicación de la metodología de medida de la dispersión al análisis del desarrollo de la Comunidad de Madrid (1990-2006), en un entorno SIG

4.1. Preparación de la información georreferenciada para su gestión posterior en un Sistema de Información Geográfica

La magnitud del trabajo a realizar aconseja la utilización de las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) como forma de automatizar y gestionar, de manera eficaz, la información georreferenciada. Las TIG son, en realidad, un conjunto de Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) especializadas, que ayudan en la recolección, manejo y análisis espaciotemporal de datos relacionados con los recursos, las características de los espacios naturales y los aspectos socioeconómicos de una zona. Además, su capacidad para visualizar la información espacial constituye un elemento importante para la comunicación, difusión e intercambio de conocimientos (Buzai, 2008). Estos sistemas incluyen funciones para el manejo de datos espaciales, tales como almacenamiento, visualización, consultas, análisis de datos y modelización. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituyen, al respecto, uno de los núcleos fundamentales de la Geoinformática y se apoyan en diferentes programas computacionales o software, a fin de lograr la integración más eficaz para el tratamiento automatizado de los datos geográficos (Buzai, 1999).

Los SIG raster, al gestionar la información en este formato específico, constituido por celdas de idénticas dimensiones, posibilitan el empleo de la retícula cuadrada como unidad primaria de almacenamiento de la información, lo que habilita la disponibilidad de un gran número de unidades espaciales de pequeño tamaño, a modo de puntos de información. Además, seleccionando un nivel de resolución adecuado, un píxel de tamaño reducido permite una gran flexibilidad en la medición de las propiedades del espacio urbano, al proporcionar la posibilidad de reconstruir la singularidad de dicho espacio, respecto a la realidad, con mayor margen de maniobra y fiabilidad.

4.1.1. Las bases de datos espaciales de partida: los usos del suelo residenciales y la densidad de población

La mayoría de las investigaciones sobre el tema de la dispersión urbana, debido a la limitación de las fuentes de información empleadas (mapas de usos del suelo en un espacio geográfico concreto, en diversos momentos del tiempo, o comparación de los mismos en diversas ciudades en idéntica fecha), concentra sus esfuerzos en la medida de la estructura espacial de las manchas ocupadas por los principales usos del suelo urbano, cuantificando el modelo resultante por

Santos Preciado, J.M., Azcárate Luxán, M. V., Cocero Matesanz, D. y Muguruza Cañas, C. (2013): "Medida de la dispersión urbana, en un entorno SIG. Aplicación al estudio del desarrollo urbano de la Comunidad de Madrid (1990-2006)", GeoFocus (Artículos), n° 13-1, p. 48-75. ISSN: 1578-5157

la cantidad de superficie de suelo en donde dichas manchas se asientan y no por otras variables georreferenciadas, como la población o el empleo.

En nuestro caso, hemos decidido utilizar, además de los mapas del uso del suelo residencial, los mapas de la distribución espacial del volumen de población, de manera que nos facilite profundizar aún más en la medida del fenómeno de la dispersión. Esta circunstancia amplía la panorámica del estudio de la evolución del modelo metropolitano, al permitirnos disponer de información georreferenciada sobre la ubicación relativa de la población respecto a los principales puntos de referencia de la estructura urbana.

Como información digital de partida, con objeto de llevar a cabo la operación propuesta, se necesita disponer, para los diferentes momentos de tiempo citados, de los usos del suelo residenciales, así como de la información demográfica de las unidades censales en formato vectorial. En nuestro caso, para la aglomeración urbana madrileña, hemos empleado la información relativa a la Comunidad del CORINE Land Cover, nivel 51, relativa a los años 1990 y 2000, y del nivel 3, correspondiente al 2006. Como información demográfica digital, que tuviera correspondencia con los usos del suelo, hemos utilizado la de los censos de población y el padrón de 1991 y 2006 (secciones urbanas) y 2001 (sectores urbanos). Como puede observarse, aunque no existe una correspondencia total entre las fechas de la ocupación del uso del suelo residencial y las de la distribución de la población, la consideramos suficiente para un estudio de la naturaleza del que nos proponemos. La ocupación del suelo residencial, correspondiente a los tres momentos del tiempo escogidos, viene recogida en los mapas de las [figura 2](#), [figura 3](#) y [figura 4](#).

Santos Preciado, J.M., Azcárate Luxán, M. V., Cocero Matesanz, D. y Muguruza Cañas, C. (2013): "Medida de la dispersión urbana, en un entorno SIG. Aplicación al estudio del desarrollo urbano de la Comunidad de Madrid (1990-2006)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 13-1, p. 48-75. ISSN: 1578-5157

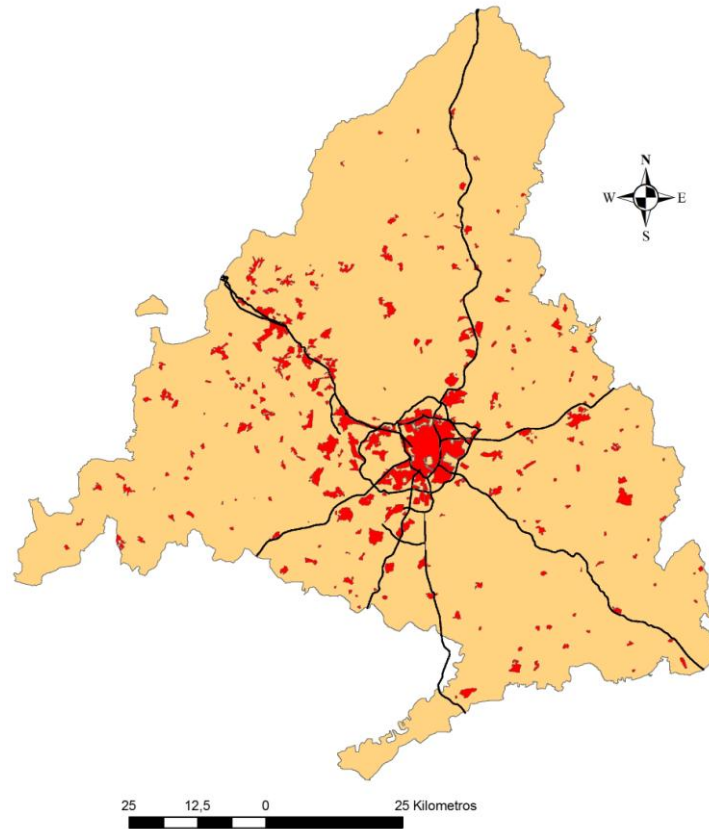


Figura 2. Ocupación del suelo residencial de la Comunidad de Madrid (1990).

Santos Preciado, J.M., Azcárate Luxán, M. V., Cocero Matesanz, D. y Muguruza Cañas, C. (2013): "Medida de la dispersión urbana, en un entorno SIG. Aplicación al estudio del desarrollo urbano de la Comunidad de Madrid (1990-2006)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 13-1, p. 48-75. ISSN: 1578-5157

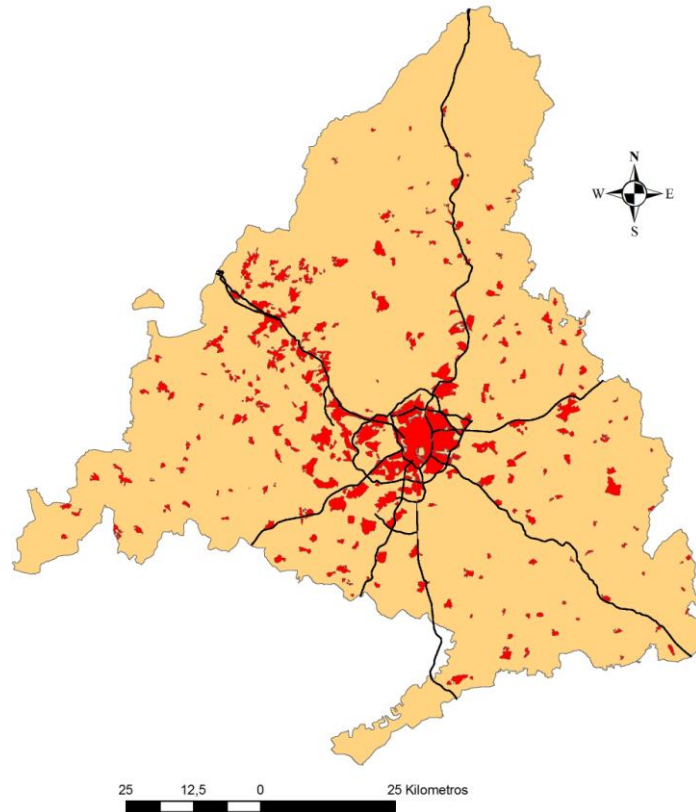


Figura 3. Ocupación del suelo residencial de la Comunidad de Madrid (2000).

Santos Preciado, J.M., Azcárate Luxán, M. V., Cocero Matesanz, D. y Muguruza Cañas, C. (2013): "Medida de la dispersión urbana, en un entorno SIG. Aplicación al estudio del desarrollo urbano de la Comunidad de Madrid (1990-2006)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 13-1, p. 48-75. ISSN: 1578-5157

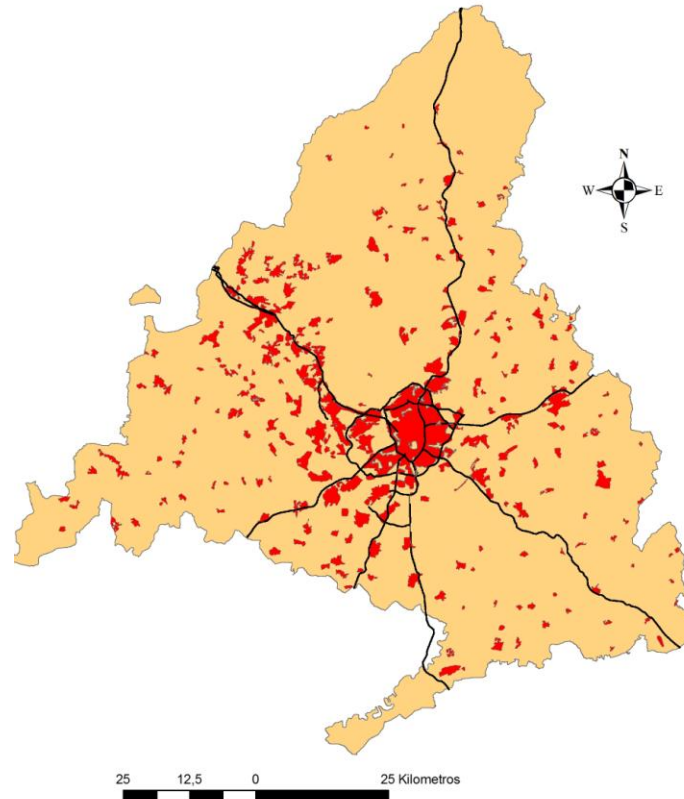


Figura 4. Ocupación del suelo residencial de la Comunidad de Madrid (2006).

El procedimiento para la desagregación demográfica utilizado está fundamentado en el elaborado por Spiekermann y Wegener (2000). Este método plantea la utilización de los usos del suelo como elementos auxiliares para asignar a cada celda del territorio la probabilidad de acoger un volumen de población determinado. Dicha probabilidad depende de la categoría del uso de suelo residencial allí representadoⁱ. Para su aplicación, cada celda o píxel debe estar caracterizada por dos atributos: la categoría del uso del suelo que la ocupa y el identificador de la unidad de agregación a la que pertenece (distrito, sección o sector urbano). El modelo asigna, en primer lugar, un peso, en forma de número entero, a cada una de las categorías de los usos del suelo, de acuerdo a la ponderación de dicho uso del suelo en la ubicación de la poblaciónⁱⁱ, y con ello a todas las celdas asociadas con la categoría en cuestión. Si se divide el peso de cada celda por la suma total de los pesos de todas las celdas de la unidad de agregación a la que aquella pertenece, se obtiene la probabilidad de que la celda en cuestión sea el destino de un evento del fenómeno considerado. Finalmente, la asignación de la población a cada celda se realiza proporcionalmente al volumen total de población correspondiente a la unidad de agregación considerada.

Santos Preciado, J.M., Azcárate Luxán, M. V., Cocero Matesanz, D. y Muguruza Cañas, C. (2013): "Medida de la dispersión urbana, en un entorno SIG. Aplicación al estudio del desarrollo urbano de la Comunidad de Madrid (1990-2006)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-1, p. 48-75. ISSN: 1578-5157

A modo de ejemplo, exponemos el resultado de dicha desagregación, expresada en valores de densidad demográfica en volumen de población por Ha, correspondiente al año 1991, que puede observarse en la [figura 5](#).

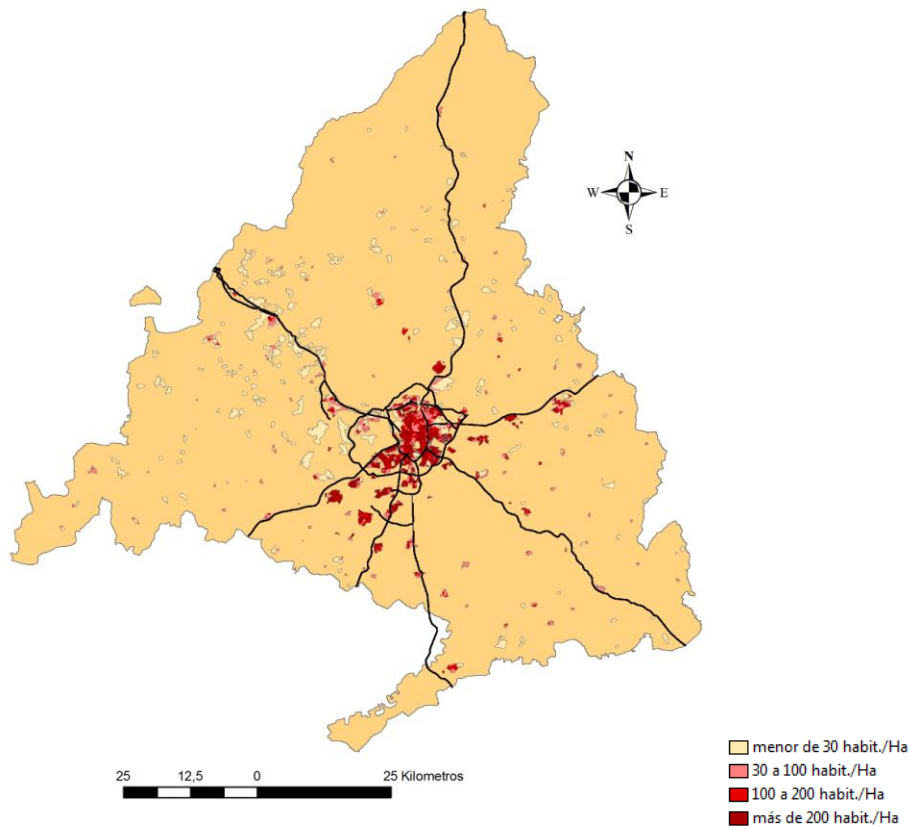


Figura 5. Densidad media de población (habitantes/Ha) de la Comunidad de Madrid (1991).

4.2. Aplicación de la metodología propuesta, mediante el empleo de un SIG raster

En el apartado 3, tuvimos ocasión de mostrar que el procedimiento propuesto consideraba fundamental la definición previa de un conjunto de tipos de crecimiento urbano que, a modo de patrones de referencia, sirvieran para comparar el desarrollo urbano de la Comunidad de Madrid, en los intervalos de tiempo 1990-2000 y 2000-2006. Estos tipos resultaban de cruzar las categorías correspondientes a las variables relativas a la densidad de población, la contigüidad y el alejamiento respecto al centro o subcentros de la metrópoli.

El primer paso del procedimiento de cálculo empleado ha consistido en diferenciar el uso del suelo residencial de cada periodo de crecimiento (1990-2000 y 2000-2006), identificando las zonas o grupos de píxeles contiguos. Dichas zonas pueden considerarse como las unidades

Santos Preciado, J.M., Azcárate Luxán, M. V., Cocero Matesanz, D. y Muguruza Cañas, C. (2013): "Medida de la dispersión urbana, en un entorno SIG. Aplicación al estudio del desarrollo urbano de la Comunidad de Madrid (1990-2006)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-1, p. 48-75. ISSN: 1578-5157

espaciales de referencia, cuyas características vamos a comparar en los dos periodos de tiempo ([figura 6](#)).

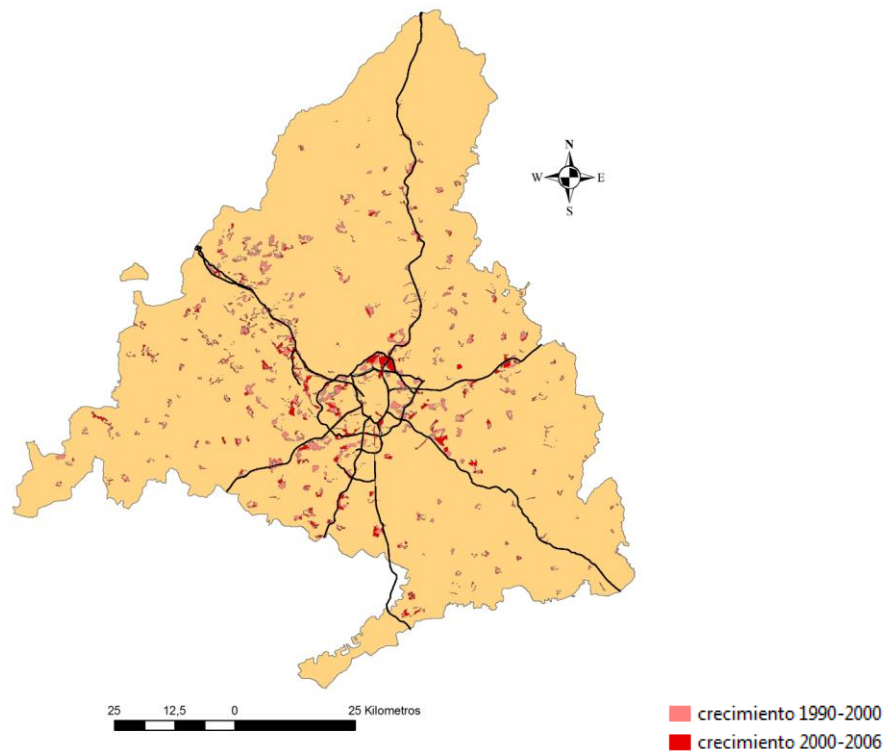


Figura 6. Crecimiento residencial de la Comunidad de Madrid (1990-2000 y 2000-2006).

Para el cálculo de los diferentes factores (atributos) de cada zona y su representación espacial se generaron sucesivas capas binarias de información de acuerdo a las siguientes categorías:

- Densidad*: se obtuvo, mediante reclasificación de la capa de densidad media por zona (habitantes /ha), en cada periodo, diferenciando las zonas de alta densidad si superaban los 30 habitantes por Ha y baja densidad si no alcanzaban dicha cifraⁱⁱⁱ.
- Contigüidad*: se establecieron áreas de 100 metros alrededor del espacio residencial en el momento inicial de cada intervalo de crecimiento (1990 y 2000), precisando qué zonas del nuevo espacio construido interseccionaban con dichas áreas, clasificándolas en contiguas y no contiguas ([figura 7](#)).

Santos Preciado, J.M., Azcárate Luxán, M. V., Cocero Matesanz, D. y Muguruza Cañas, C. (2013): "Medida de la dispersión urbana, en un entorno SIG. Aplicación al estudio del desarrollo urbano de la Comunidad de Madrid (1990-2006)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 13-1, p. 48-75. ISSN: 1578-5157

- c) *Distancia*: se estableció un buffer de distancia a los centros de los núcleos antiguos de los municipios, lo que nos permitió identificar, como zonas cercanas, las que estuvieran a menos de 3.000 metros y, como zonas alejadas, las que se encontraran a más de 3.000 metros de cada centro urbano ([figura 8](#))^{iv}.

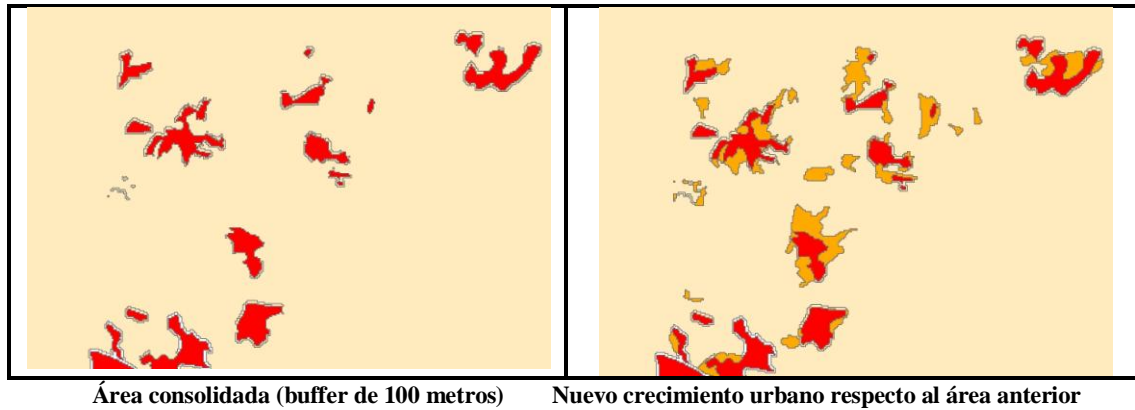


Figura 7. Medición de la contigüidad del nuevo crecimiento urbano de acuerdo a la contigüidad en el área de 100 metros.

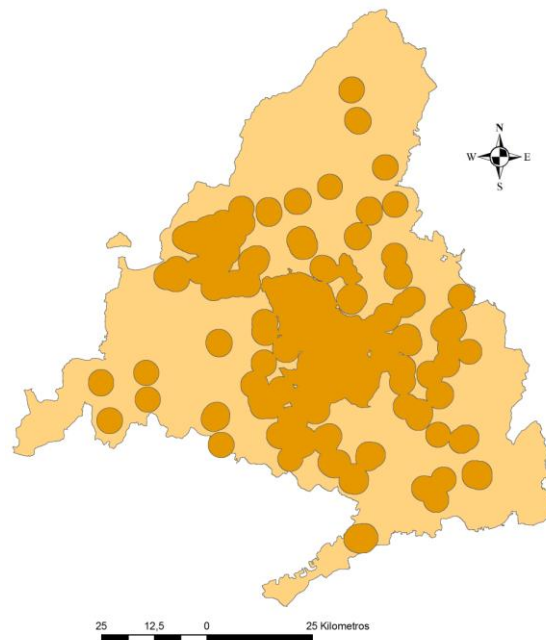


Figura 8. Zonas de proximidad (3.000 metros) a los centros urbanos metropolitanos de la Comunidad de Madrid.

Santos Preciado, J.M., Azcárate Luxán, M. V., Cocero Matesanz, D. y Muguruza Cañas, C. (2013): "Medida de la dispersión urbana, en un entorno SIG. Aplicación al estudio del desarrollo urbano de la Comunidad de Madrid (1990-2006)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-1, p. 48-75. ISSN: 1578-5157

Las zonas de crecimiento se clasificaron, siguiendo los atributos descritos. Para ello, se realizó un cruce de categorías, que permitió definir cada zona (mancha urbana), según el tipo de desarrollo urbano residencial. Para formalizar el desarrollo de las diversas operaciones se utilizó un Sistema de Información Geográfica^v. Como puede apreciarse en la [figura 10](#), exponemos, esquemáticamente, las diversas fases que integran el procedimiento aplicado para la obtención de las ocho categorías, relativas al suelo residencial disperso-compacto en el periodo 1990-2000. De manera similar, se realizó para el otro periodo de análisis, correspondiente al intervalo 2000-2006.

La información de partida, como ya señalamos en el apartado anterior, fueron las capas de usos del suelo del CORINE Land Cover de los años 1990 y 2000. Mediante la operación de reclasificar, logramos seleccionar el uso del suelo residencial ocupado en dichas fechas, separando, en dos categorías (1: edificado; 0: no edificado), el total de la superficie del territorio de análisis. Por intersección de ambas capas (las correspondientes al suelo residencial de 1990 y 2000), obtuvimos la superficie de suelo residencial, resultado del crecimiento urbano acaecido entre 1990 y 2000. Esta superficie sirvió para definir las zonas existentes (áreas de igual valor temático, cuyos píxeles son contiguos en el espacio), que fueron utilizadas a modo de unidades elementales de análisis.

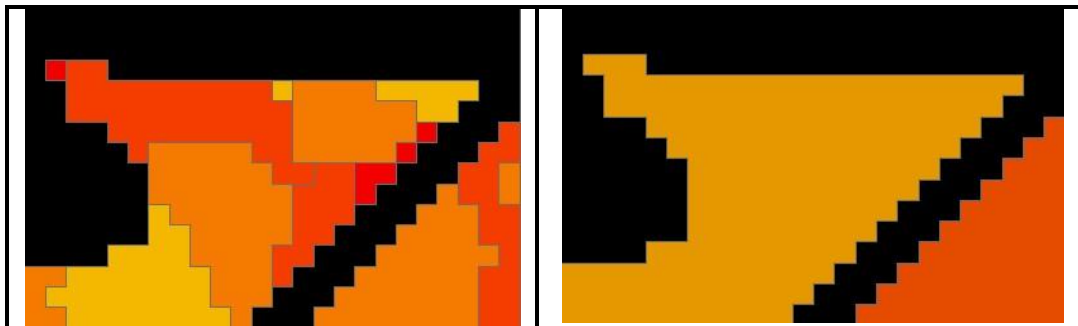


Figura 9. Cálculo del valor medio de la densidad de población de cada zona, a partir de la densidad de las celdas que la componen

La desagregación de la población correspondiente al año 2001 (sectores urbanos), siguiendo el procedimiento descrito en el apartado 4.1, nos permitió extraer, para cada celda del territorio de análisis, el valor de la población total residente. Dichos valores pudieron agruparse, para cada zona, consiguiendo el valor de la población de las mismas. El cálculo de la densidad de población de cada zona la obtuvimos multiplicando por un escalar el valor de la población, toda vez que la superficie de cada píxel era conocida^{vi}. Deducido el valor medio de la densidad de población de cada zona ([figura 9](#)), reclasificamos las mismas en dos categorías: las que estaban por encima y por debajo de 30 habitantes por Ha. El resultado viene recogido en una capa denominada "Zonas por Densidad".

Santos Preciado, J.M., Azcárate Luxán, M. V., Cocero Matesanz, D. y Muguruza Cañas, C. (2013): "Medida de la dispersión urbana, en un entorno SIG. Aplicación al estudio del desarrollo urbano de la Comunidad de Madrid (1990-2006)", GeoFocus (Artículos), nº 13-1, p. 48-75. ISSN: 1578-5157

Para reclasificar las zonas residenciales, de acuerdo a su situación relativa de contigüidad, respecto al espacio residencial construido en 1990, incrementamos esta superficie de referencia en 100 metros, calculando la intersección con cada una de las zonas, lo que nos permitió diferenciar las mismas en zonas contiguas y no contiguas. El resultado viene recogido en una capa denominada "Zonas por Contigüidad".

Finalmente, partimos de la información correspondiente a los núcleos urbanos de 1978^{vii}, para, una vez obtenida la posición de su centroide, calcular las distancias desde los mismos hacia el resto del territorio.

Reclasificado el territorio en dos categorías (distancias superior e inferior a 3.000 metros), su intersección con las zonas residenciales permitió diferenciar las zonas más cercanas de las más alejadas de los centros urbanos. El resultado viene recogido en una capa denominada "Zonas por Distancia".

El cruce de las categorías correspondientes a las tres tipos de zonas obtenidos hizo posible clasificar las mismas de acuerdo a los tres criterios seleccionados: densidad, contigüidad y distancia.

4.3. Análisis e interpretación de los resultados obtenidos

Los valores de la distribución del crecimiento urbano residencial en las ocho categorías tipológicas, una vez conocido el significado de cada una de ellas, respecto al modelo disperso, nos permiten realizar un comentario acerca de las características dominantes del desarrollo urbano madrileño en los dos periodos de referencia.

Santos Preciado, J.M., Azcárate Luxán, M. V., Cocero Matesanz, D. y Muguruza Cañas, C. (2013): "Medida de la dispersión urbana, en un entorno SIG. Aplicación al estudio del desarrollo urbano de la Comunidad de Madrid (1990-2006)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-1, p. 48-75. ISSN: 1578-5157

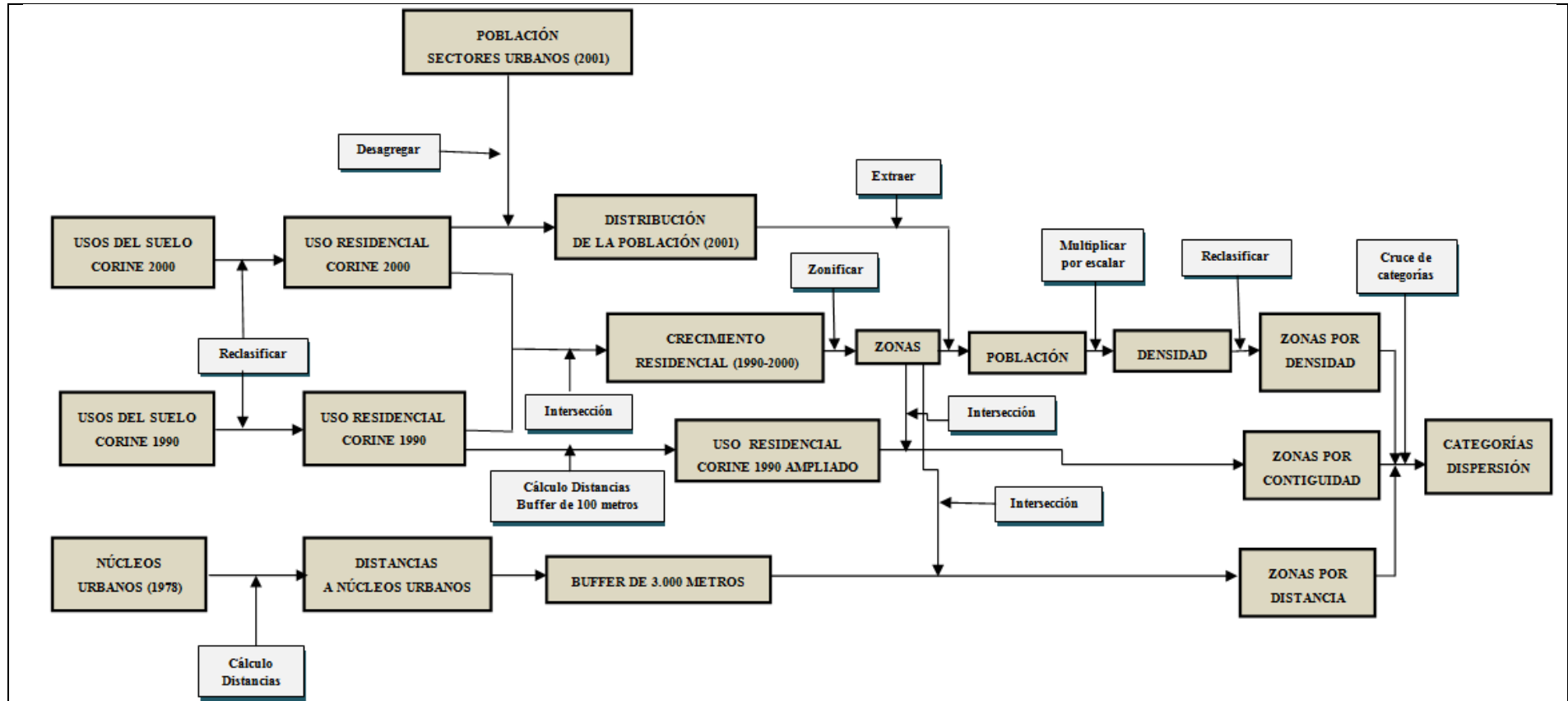


Figura 10. Operaciones realizadas, mediante un SIG, para obtener las categorías relativas a la dispersión, en el periodo 1990-2000.

Santos Preciado, J.M., Azcárate Luxán, M. V., Cocero Matesanz, D. y Muguruza Cañas, C. (2013): "Medida de la dispersión urbana, en un entorno SIG. Aplicación al estudio del desarrollo urbano de la Comunidad de Madrid (1990-2006)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-1, p. 48-75. ISSN: 1578-5157

El modelo metropolitano madrileño, que había tenido su fase de máxima concentración espacial de las principales funciones urbanas en las décadas de los años sesenta y setenta del pasado siglo, comenzó a transformar el modelo territorial compacto, a partir de la década de los años ochenta. Cada vez resulta más evidente que, desde los primeros años de dicha década, empezamos a asistir a una desconcentración del modelo residencial madrileño, en el sentido de un nuevo crecimiento más disperso, no sólo descentralizado, sino más fragmentado y de baja densidad, en los municipios limítrofes a la capital. Una gran parte de este nuevo crecimiento residencial estaba constituido por urbanizaciones de viviendas unifamiliares, localizadas en la proximidad de los núcleos urbanos metropolitanos, en forma de adosados apareados. Frente a las elevadas densidades de las ciudades dormitorio de los años anteriores, en los nuevos desarrollos predominaban las densidades medias y medio-bajas. Se constata, por tanto, un proceso de convergencia entre los tipos edificatorios dominantes: la vivienda unifamiliar adopta formas más urbanas (adosados, pareados), mientras que la colectiva se adapta al paisaje de la periferia (bloques bajos en parcela privada) (López Lucio, 1998). Estas nuevas pautas de crecimiento residencial afectaron, de manera fundamental, al oeste y al norte metropolitanos, pero también se extendieron, en menor medida, por el sur y el este de la región. Aún así, continuó produciéndose un porcentaje significativo de crecimientos densos y compactos. Ello ponía en evidencia la importancia de la inercia del modelo residencial anterior, cuando se conformó el área metropolitana madrileña, con un claro patrón de crecimiento compacto y monocéntrico.

Si comparamos la distribución del desarrollo urbano residencial, de acuerdo con las tipologías definidas, registrada en los dos periodos analizados ([tabla 2](#) y [tabla 3](#)), los datos correspondientes al periodo 1990-2000 reflejan, de algún modo, el afianzamiento del nuevo modo de urbanización. Los desarrollos dispersos se afianzaron con el paso del tiempo, manteniendo el nuevo espacio construido, en esta década, un índice de crecimiento de este tipo cercano al 50%. Destaca, en este sentido, el peso del tejido residencial de baja densidad, edificado en el entorno próximo a los núcleos urbanos ya consolidados (cercano al 28%), en tipologías edificatorias de viviendas unifamiliares de adosados, pareados e independientes, así como desarrollos multifamiliares de baja densidad. Esta realidad supera en extensión a la que tuvo lugar de manera más descentralizada, ya que únicamente el 20,7% del nuevo tejido residencial poco denso se hallaba situado a más de 3.000 metros de distancia de los subcentros urbanos metropolitanos. Interesa subrayar, además, que la mayor parte del crecimiento residencial de carácter extensivo tuvo lugar de manera contigua al existente, ya que el desarrollo urbano fragmentado apenas alcanzaba el valor del 10% total de la nueva superficie generada.

Santos Preciado, J.M., Azcárate Luxán, M. V., Cocero Matesanz, D. y Muguruza Cañas, C. (2013): "Medida de la dispersión urbana, en un entorno SIG. Aplicación al estudio del desarrollo urbano de la Comunidad de Madrid (1990-2006)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-1, p. 48-75. ISSN: 1578-5157

Tabla 2. Distribución de los tipos de desarrollo residencial en la Comunidad de Madrid (1990-2000)

Tipos	Comunidad de Madrid (total)		Sector Oeste		Sector Sur	
	Superficie (Ha)	Porcentaje	Superficie (Ha)	Porcentaje	Superficie (Ha)	Porcentaje
1	2.312	14,8	1.099	24,4	410	13,6
2	922	5,9	42	0,9	110	3,7
3	3.812	24,4	1.748	38,8	276	9,2
4	547	3,5	332	7,4	58	1,9
5	891	5,7	299	6,6	7	11,3
6	94	0,6	8	0,2	1.805	0,2
7	6.906	44,2	849	18,8	1	60,0
8	141	0,9	131	2,9	-	-
Total	15.625	100,0	4.508	100,0	3.008	100,0

1. Disperso contiguo; 2. Disperso no contiguo; 3. Baja densidad, cercano, contiguo; 4. Baja densidad, cercano, no contiguo; 5. Compacto, lejano, contiguo; 6. Compacto, lejano, no contiguo; 7. Compacto, cercano, contiguo; 8. Compacto, cercano, no contiguo.

Además de la tendencia general hacia el fortalecimiento de un urbanismo más disperso, parece evidenciarse una diversificación sectorial de la tipología de la vivienda. Los desarrollos urbanos compactos, que se generaron en los sectores sur y este de la región, se diferencian claramente del norte y, especialmente, del oeste metropolitano. Los datos comparativos de los sectores sur^{viii} y oeste^{ix} (tabla 2) ponen en evidencia que el nuevo tejido extensivo llegó a alcanzar la cifra del 71,5% en la zona oeste frente a únicamente el 28,4% correspondiente al sector sur. Esta realidad manifiesta la tendencia del oeste madrileño, durante estos años, por ofrecer una oferta de vivienda capaz de atraer a las clases medias y medias-altas a espacios más selectos, caracterizados por una gran variedad de tipologías residenciales, con una calidad contrastada, no solo de la vivienda (superficie, excelencia arquitectónica, etc.), sino también del entorno (espacios verdes y zonas acondicionadas para el ocio).

Santos Preciado, J.M., Azcárate Luxán, M. V., Cocero Matesanz, D. y Muguruza Cañas, C. (2013): "Medida de la dispersión urbana, en un entorno SIG. Aplicación al estudio del desarrollo urbano de la Comunidad de Madrid (1990-2006)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-1, p. 48-75. ISSN: 1578-5157

Tabla 3. Distribución de los tipos de desarrollo residencial en la Comunidad de Madrid (2000-2006)

Tipos	Comunidad de Madrid (total)		Sector Oeste		Sector Sur	
	Superficie (Ha)	Porcentaje	Superficie (Ha)	Porcentaje	Superficie (Ha)	Porcentaje
1	1.508	14,3	543	19,9	96	6,1
2	27	0,3	-	-	-	-
3	2.047	19,1	1.031	37,8	185	11,7
4	121	1,1	237	8,7	-	-
5	660	6,2	213	7,8	147	9,3
6	6	0,1	5	0,2	-	-
7	5.828	55,1	607	22,2	1.077	68,0
8	374	3,5	94	3,4	78	4,9
Total	10.571	100,0	2.730	100,0	1.583	100,0

1. Disperso contiguo; 2. Disperso no contiguo; 3. Baja densidad, cercano, contiguo; 4. Baja densidad, cercano, no contiguo; 5. Compacto, lejano, contiguo; 6. Compacto, lejano, no contiguo; 7. Compacto, cercano, contiguo; 8. Compacto, cercano, no contiguo.

Sin embargo, como en la etapa anterior, el desarrollo denso y contiguo continuó teniendo una significación importante, ligada, no solo al peso del municipio madrileño, debido a la importancia de los Planes de Actuación Urbanística (Montecarmelo, Las Tablas, Sanchinarro, Vallecas y Carabanchel), sino a los núcleos secundarios de poblamiento surgidos durante el proceso de formación metropolitana (fundamentalmente los municipios de la malla del sur de la Comunidad y del corredor del Henares), que continuaron generando su propio crecimiento urbano, basado en tipologías edificatorias de densidad más elevada. De ahí que, en el sector sur de la Comunidad, el crecimiento urbano compacto superara en superficie el valor del 60% del total, la mayor parte en la proximidad del tejido urbano ya consolidado.

El segundo periodo analizado (2000-2006) continúa mostrando la dicotomía en los patrones de crecimiento del sistema urbano madrileño, aunque con una evidente disminución de los estándares edificatorios correspondientes al modelo disperso. Los índices globales correspondientes a este tipo de crecimiento disminuyeron su valor al 35% del total de la nueva superficie. Entre las causas a considerar están, entre otras, la calificación masiva de suelo en el municipio de Madrid, ligado al desarrollo inmobiliario especulativo, que afectó a la puesta en marcha de nuevos barrios (Barajas, Valdebebas, La Atayuela, etc.), apoyados en los trazados de la orbital M-50, y de las radiales 2, 3 y 5, agotando, prácticamente, el suelo vacante del término municipal (Brandis, 2011). Aunque a ritmo inferior al previsto, estas nuevas actuaciones urbanísticas incrementaron la concentración y densificación del nuevo tejido residencial, en los vacíos que quedaban en el borde de la ciudad compacta. Así mismo, el sistema suburbano del oeste metropolitano incrementó la edificación extensiva sobre nuevas tipologías residenciales, más acordes con los patrones de viviendas en bloques, aunque con menor número de plantas (generalmente tres o cuatro), con amplias dotaciones de espacios verdes, piscinas y zonas deportivas, que dieron como resultando un tejido urbano mucho más esponjado, aunque más compacto que en el periodo anterior. En general, las nuevas tipologías residenciales de la

Santos Preciado, J.M., Azcárate Luxán, M. V., Cocero Matesanz, D. y Muguruza Cañas, C. (2013): "Medida de la dispersión urbana, en un entorno SIG. Aplicación al estudio del desarrollo urbano de la Comunidad de Madrid (1990-2006)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-1, p. 48-75. ISSN: 1578-5157

periferia madrileña se desvían del prototipo de vivienda unifamiliar alejada del casco urbano y constituyen ejemplos de "formas de coexistencia de la vivienda unifamiliar y colectiva, cuando no la preponderancia de esta última" (López Lucio, 2004).

6. Conclusiones

La definición de un procedimiento de análisis como el que proponemos, a partir de la clasificación de las zonas de crecimiento del nuevo tejido residencial, en consonancia con algunos de los rasgos que mejor concretan la morfología del modelo disperso de la ciudad actual (baja densidad poblacional y edificatoria, fragmentación urbana y descentralización), a pesar de las limitaciones propias al planteamiento metodológico utilizado, resulta altamente operativo y de resultados fructíferos. En este contexto, el uso de los Sistemas de Información Geográfica, como herramienta de formalización del método de análisis, permite integrar y manejar una extensa información geográfica de manera eficaz y concluyente.

Los resultados alcanzados, al aplicar la metodología propuesta al estudio de la evolución de los patrones de crecimiento de los nuevos desarrollos urbanos en la Comunidad de Madrid, revelan la coexistencia de los dos modelos de crecimiento contrastados: compacto y disperso, que reflejan la complejidad de la génesis y el desarrollo del paisaje urbano madrileño en los últimos años. Al modelo tradicional de altas densidades edificatorias, que concentra la población en un número reducido de áreas urbanas, se ha ido sobreponiendo, en mayor o menor medida, según el sector de la región, un nuevo modelo de ciudad, caracterizado por las bajas densidades residenciales, la ausencia de contigüidad espacial con el tejido anterior y la tendencia al alejamiento de las áreas centrales. En síntesis, si algo caracteriza a la metrópoli madrileña es, precisamente, la coexistencia de paisajes urbanos densos y compactos con paisajes más fragmentados, menos densos y de una homogeneidad mayor.

Como conclusión final, podemos señalar que la principal aportación de la propuesta se deriva de su simplicidad y capacidad potencial para realizar un diagnóstico sobre el grado de desarrollo compacto o disperso de una aglomeración urbana, bien de manera global o de forma comparativa (entre partes de una misma ciudad o en diferentes momentos del tiempo), con vistas a formular alternativas de sostenibilidad en un territorio concreto.

7. Bibliografía citada

Aguilera Benavente, F. (2008): *Análisis espacial para la ordenación eco-paisajística de la aglomeración urbana de Granada*. Tesis Doctoral, Universidad de Granada, 304 páginas.

Allen, E. (2001): INDEX: "Software for community indicators", en R. K. Brail & R. E. Klosterman (Eds.): *Planning supporting systems: Integrating geographic information systems, models, and visualization tools*. Redlands, CA: ESRI Press, pp. 229-261.

Batty, M., Bessusi, E. y Chin, N. (2002): *State of the art review of urban sprawl: Impacts and measurement techniques*. SCATTER Deliverable Report, Bruselas. Disponible en Internet: http://www.casa.ucl.ac.uk/scatter/download/Scatter_D1.pdf.

Santos Preciado, J.M., Azcárate Luxán, M. V., Cocero Matesanz, D. y Muguruza Cañas, C. (2013): "Medida de la dispersión urbana, en un entorno SIG. Aplicación al estudio del desarrollo urbano de la Comunidad de Madrid (1990-2006)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-1, p. 48-75. ISSN: 1578-5157

Brandis, D. (2011): "Los grandes desarrollos residenciales de la periferia de Madrid: de la burbuja a la crisis inmobiliaria", en *X Coloquio y Jornadas de Geografía Urbana*. Oviedo, Santander y Bilbao.

Buzai, G. (1999): *Geografía Global. El paradigma geotecnológico y el espacio interdisciplinario en la interpretación del mundo del siglo XXI*. Buenos Aires, Lugar Editorial, 221 páginas.

Buzai, G. (2008): *Sistemas de información Geográfica y Cartografía Temática*. Lugar Editorial, 129 páginas.

Cerda Troncoso, J. (2007): *La expansión urbana discontinua analizada desde el enfoque de accesibilidad territorial. Aplicación a Santiago de Chile*. Tesis de Master Oficial en Gestión y Valoración Urbana. Universidad Politécnica de Cataluña, 105 páginas. Disponible en Internet: http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/11616/1/JORGE%20CERDA%20TRONCOSO_TREBALL.pdf.

Churchman, A. (1999): "Disentangling the concept of density", *Journal of Planning Literature*, nº 13, pp. 389-411.

Clawson, M. y Hall, P. (1973): *Planning and Urban Growth: An Anglo American Comparison*. The Johns Hopkins Press, Baltimore, 324 páginas.

Ewing, R., Pendall, R. y Chen, D. (2002): *Measuring Sprawl and Its Impact*. Washington, DC, Smart Growth America, 42 páginas. Disponible en Internet:

<http://www.smartgrowthamerica.org/documents/MeasuringSprawl.PDF>.

Font, A. (1997): "Anatomía de una metrópoli discontinua: la Barcelona metropolitana", *Papers, Región Metropolitana de Barcelona*, nº 26, Barcelona, pp. 9-19.

Galster, G., Hanson, R., Ratcliffe, M. R., Wolman, H., Coleman, S. y Freihage, J. (2001): "Wrestling Sprawl to the Ground: Defining and Measuring an Elusive Concept", *Housing Policy Debate*, Vol. 12, Issue 4, pp. 681-717.

García López, M. A. y Muñiz, I. (2007): "¿Policentrismo o dispersión? Una aproximación desde la Nueva Economía Urbana", *Investigaciones regionales*, 11, pp. 25-43.

Gayda, S., Boon, F., Schailée, N., Batty, M., Besussi, E., Chin, N., Haag, G., Binder, J., Martino, A., Lautso, K., Noël, C. y Dormois, R. (2003): "The Scatter Project-Sprawling Cities and Transport: From Evaluation to Recommendations", *European Transport Conference*, Strasbourg. Disponible en Internet: <http://www.stratec.be/files/articles/ETC03-SG.pdf>.

Harvey, R. y Clark, W. (1971): "The Nature and Economics of Urban Sprawl", en L. Bourne (Dir.): *Internal Structure of the City. Readings of Space and Environment*. New York, Oxford University Press, pp. 475 - 482.

Irwin, E., Boocksatael, E. y Jin Cho, H. (2006): *Measuring and modeling urban sprawl: data, scale and spatial dependencies*. Invited paper prepared for the Urban Economics Sessions, 53rd Annual North American Regional Science Association Meetings of the Regional Science Association International, November 16-18, Toronto, Canada.

Johnson, M. P. (2001): "Environmental impacts of urban sprawl: A survey of the literature and proposed research agenda", *Environment and Planning*, 33, pp. 17-735.

Santos Preciado, J.M., Azcárate Luxán, M. V., Cocero Matesanz, D. y Muguruza Cañas, C. (2013): "Medida de la dispersión urbana, en un entorno SIG. Aplicación al estudio del desarrollo urbano de la Comunidad de Madrid (1990-2006)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-1, p. 48-75. ISSN: 1578-5157

Kasanko, M., Barredo, J. I., Lavalle, C., McCormick, N., Demicheli, L., Sagris, V. y Brezger, A. (2006): "Are European cities becoming dispersed? A comparative analysis of 15 European urban areas", *Landscape and Urban Planning*, nº 77, pp. 111-130.

López Lucio, R. (1998): "La incipiente configuración de una región urbana dispersa: el caso de la Comunidad Autónoma de Madrid (1960-1993)", en Monclus, F.J. (Ed.): *La ciudad dispersa. Suburbanización y nuevas periferias*. Centre de Cultura Contemporània de Barcelona.

López Lucio, R. (2004): "Morfología y características de las nuevas periferias. Nueve paisajes residenciales en la región urbana de Madrid", *Urban*, nº 9, pp. 56-81.

Mendoza Terrazas, C. y Sánchez Flores, E. (2009): "Crecimiento urbano disperso en la frontera norte de México. Organización espacial y eficiencia de los patrones de crecimiento urbano en Ciudad Juárez. Chihuahua". *Memorias del V Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual. Estrategias de transformación y gestión de la ciudad; perspectivas y nuevas tecnologías*. Barcelona, pp. 107-118.

Muñiz, I., García, M. A. y Calatayud, D. (2006): *Sprawl. Definición, causas y efectos*. Departament d'Economia Aplicada, Campus de Bellaterra. Barcelona.

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

Spiekermann, K. y Wegener, M. (2000): "Freedom from the tyranny of zones: Towards new GIS-based spatial models", en Fotheringham, Stewart y Wegener, Michael (Editores): *Spatial Models and GIS*, Taylor & Francis, Londres, pp. 45-61.

Sudhira, H.S., Ramachandra, T.V. y Jagadish, K.S. (2004): "Urban Sprawl: metrics, dynamics, and modeling using GIS", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, nº 5, pp. 29-39.

Weitz, J. y Moore, T. (1999): "Development inside urban growth boundaries: Oregon's empirical evidence of contiguous urban form", *Journal of the American Planning Association*, 64, pp. 424-440.

Wilson, E.H., Hurd, J.D., Civco, D.L., Prisloe, M.P. y Arnold, C. (2003): "Development of a geospatial model to quantify, describe and map urban growth", *Remote Sensing of Environment*, nº 86, pp. 275-285.

ⁱ En nuestro caso, tejido urbano continuo, estructura urbana laxa y urbanizaciones exentas para los usos del suelo de 1990, 2000 y 2006.

ⁱⁱ De acuerdo a un estudio empírico realizado al respecto (Santos *et al.*, 2011), los pesos asignados han sido, respectivamente, de 5.5, 8 y 1.

ⁱⁱⁱ Este dato de referencia ha sido deducido a partir de la información empírica de los resultados obtenidos. Debe, por tanto, ser considerado, únicamente, como un valor indicativo que permite comparar dos realidades urbanas contrastadas.

^{iv} Se excluyó como área lejana cualquiera de los espacios de nuevo crecimiento ubicados en el municipio de Madrid.

^v Se empleó el SIG raster Idrisi Taiga

^{vi} Como la dimensión de cada píxel era de 50 metros (y su superficie de 2.500 metros cuadrados), debimos multiplicar por 4 para obtener el valor de la densidad de población en habitantes por Ha. Posteriormente, se calculó el valor medio de la densidad en cada zona.

Santos Preciado, J.M., Azcárate Luxán, M. V., Cocero Matesanz, D. y Muguruza Cañas, C. (2013): "Medida de la dispersión urbana, en un entorno SIG. Aplicación al estudio del desarrollo urbano de la Comunidad de Madrid (1990-2006)", *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-1, p. 48-75. ISSN: 1578-5157

^{vii} Obtenidos, digitalizando los núcleos urbanos de los municipios de la Comunidad de Madrid, a partir del mapa de usos del suelo del año 1978, realizado por COPLACO (Comisión de Planeamiento y Coordinación del Área Metropolitana de Madrid).

^{viii} El sector sur de Madrid se ha considerado integrado por los siguientes municipios: Alcorcón, Arroyomolinos, Cubas, El Álamo, Fuenlabrada, Getafe, Griñón, Humanes, Leganés, Moraleja de Enmedio, Móstoles, Parla, Pinto, Torrejón de la Calzada, Torrejón de Velasco y Valdemoro.

^{ix} El sector oeste de Madrid se ha considerado integrado por los siguientes municipios: Boadilla del Monte, Brunete, Collado Villalba, Collado Mediano, Colmenarejo, El Escorial, Galapagar, Guadarrama, Las Rozas, Majadahonda, Pozuelo de Alarcón, San Lorenzo del Escorial, Torreloaños, Valdemorillo, Villanueva de la Cañada, Villanueva del Pardillo y Villaviciosa de Odón.