

**ANÁLISIS DETALLADO DEL DESARROLLO
URBANO DE LAS ÁREAS METROPOLITANAS
DE MADRID Y GRANADA, MEDIANTE
TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA (TIG)**

**Azcárate Luxán, M^a Victoria
Cocero Matesanz, David
García Lázaro, Francisco Javier
Muguruza Cañas, Carmen
Santos Preciado, José Miguel**

1. INTRODUCCIÓN

2. EL CONCEPTO DE DISPERSIÓN: PUNTO DE PARTIDA DEL ANÁLISIS

3. LA PREPARACIÓN DE LA INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN POSTERIOR EN UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

3. 1. La preparación de los datos.

3. 1. 1. La información digital de los usos del suelo residencial correspondientes a la aglomeración urbana de Madrid.

3. 1. 2. La información digital de los usos del suelo residencial correspondientes a la aglomeración urbana de Granada.

3. 1. 3. La información digital de la red de carreteras de la Comunidad de Madrid.

3. 1. 4. Definición y características del procedimiento de desagregación espacial de la población seleccionado.

- **La necesidad de recurrir a la desagregación espacial de la población en los estudios territoriales .**
- **Revisión de algunos de los principales procedimientos de desagregación existentes.**
 - *El método de la interpolación picnofiláctica suavizada (Tobler).*
 - *El método de difusión y agregación (Bracken y Martín).*
 - *Desagregación probabilística con datos auxiliares (Spiekermann y Wegener).*
- **Definición del método de desagregación utilizado en el análisis.**
- **Resultados obtenidos mediante la aplicación del método de desagregación descrito a las fuentes de información disponibles.**
 - *Distribución de la población en la Comunidad de Madrid. Cortes temporales de 1991, 2001 y 2006*
 - *Distribución de la población en la Comunidad de Madrid. Corte temporal de 1981.*
 - *Verificación y corrección de la distribución de la población en la Comunidad de Madrid en los tres cortes temporales.*
 - *Distribución de Población del Área Metropolitana de Granada.*

4. METODOLOGÍAS DE MEDIDA DE LA DISPERSIÓN, EN EL MODELO DE LA CIUDAD ACTUAL

4. 1. Medición de la estructura urbana dispersa y su evolución en el tiempo.

4. 1. 1. Caracterización del patrón de crecimiento de la ciudad, de acuerdo al modelo de ciudad dispersa.

- 4. 1. 2. Medición del gradiente de densidad de la ocupación del suelo con la distancia al centro urbano.
- 4. 1. 3. Medición del cambio de usos del suelo.
- 4. 1. 4. Medición de la estructura del suelo ocupado mediante índices.

5. RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS PROPUESTAS EN LAS AGLOMERACIONES URBANAS DE MADRID Y GRANADA

5. 1. Caracterización del patrón de crecimiento de la ciudad, de acuerdo al modelo de ciudad dispersa.

5. 1. 1. Introducción.

5. 1. 2. Identificación del nuevo desarrollo de la ciudad dispersa.

5. 1. 3. Definición de una metodología de medición del fenómeno de la dispersión urbana.

- Los patrones de desarrollo urbano disperso.
- Los patrones de desarrollo urbano compacto.

5. 1. 4. La evolución de los patrones de crecimiento urbano en la Comunidad Autónoma de Madrid.

- Contrastes por zonas, de acuerdo a la distancia y al sector metropolitano de la ciudad.
 - Los patrones de desarrollo urbano compacto en la Comunidad de Madrid.
 - Los patrones de desarrollo urbano disperso.

5. 1. 5. La evolución de los patrones de crecimiento urbano en la aglomeración urbana de Granada.

5. 1. 6. Conclusiones.

5. 2. Medición del gradiente de densidad de la ocupación del suelo con la distancia al centro urbano.

5. 2. 1. Introducción.

5. 2. 2. Factores básicos de la estructura residencial de Madrid y Granada.

Aparición de algunos rasgos del modelo de ciudad dispersa.

- Gradiente de densidad desde el centro de la metrópoli.
- Gradiente de densidad desde los principales subcentros de la metrópoli.
- Gradiente de densidad desde las principales vías de comunicación.
- Diferenciación del gradiente de densidad por sectores.

5. 2. 3. Conclusiones.

5. 3. Medición del cambio de usos del suelo residenciales

5. 3. 1. Introducción.

5. 3. 2. Fuentes de información y metodología de trabajo utilizada.

5. 3. 3. Análisis de los cambios de usos de suelo residencial observados para la Comunidad de Madrid entre los años 1990 y 2000.

5. 3. 4. Análisis de los cambios de usos de suelo residencial observados para la Comunidad de Madrid entre los años 2000 y 2006.

5. 3. 5. Conclusiones.

5. 4. Medición de la estructura del suelo ocupado, mediante índices

5. 4. 1. Introducción.

5. 4. 2. La aplicabilidad de las métricas de análisis espacial a entornos urbanos y metropolitanos.

5. 4. 3. La selección de las métricas de análisis espacial.

5. 4. 4. La relación entre las métricas y los patrones de crecimiento urbano.

5. 4. 5. La cartografía de los usos del suelo residenciales.

5. 4. 6. El cálculo de las métricas de análisis espacial.

5. 4. 7. Resultados y discusión para el conjunto de la Comunidad de Madrid.

5. 4. 8. El estudio de las métricas de análisis espacial en los diferentes sectores de la Comunidad de Madrid.

- **Resultados y discusión para el área este de la Comunidad de Madrid.**
- **Resultados y discusión para el área sur de la Comunidad de Madrid.**
- **Resultados y discusión para el área norte de la Comunidad de Madrid.**
- **Resultados y discusión para el área oeste de la Comunidad de Madrid.**
- **El índice “densidad de manchas” en los diferentes sectores de la Comunidad de Madrid.**
- **El índice “densidad de manchas” en el área metropolitana de Granada.**

5. 4. 9. Resultados y discusión para el área metropolitana de Granada.

5. 4. 10. Conclusiones.

6. CONCLUSIONES FINALES

7. BIBLIOGRAFÍA CITADA

1. INTRODUCCIÓN

En el capítulo primero, tuvimos ocasión de mostrar los rasgos fundamentales del modelo urbano disperso. Este modelo de ciudad, surgido al amparo 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, entre las características más visibles de los nuevos tiempos habría que destacar que la configuración de la periferia de nuestras ciudades se estaría produciendo, en buena parte, con la proliferación de un tejido residencial extensivo de viviendas unifamiliares, aunque con estándares de edificabilidad y densidad de ocupación muy contrastados, según los sectores de la ciudad. A ello habría que añadir, la localización periférica del comercio y las oficinas, antes centralizados en la ciudad. El comercio ha constituido, sin duda, una de las primeras funciones urbanas establecidas en los suburbios de la gran ciudad y su traslado hacia la periferia se viene realizando, desde hace al menos dos o tres décadas, en extensas áreas, bien situadas respecto a la red de comunicaciones. Esta localización descentralizada del terciario en las nuevas periferias de la ciudad se apoya en los centros suburbanos, cuya génesis tuvo lugar en nuestro país durante la conformación del modelo metropolitano, en los años sesenta y setenta del pasado siglo. En el momento presente, dichos centros actúan a modo de áreas de atracción de equipamientos y servicios, con potencialidades evidentes para articular el territorio. Finalmente, deberíamos destacar que la nueva realidad de estas periferias urbanas emergentes 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 del automóvil privado por la población residente en la ciudad. Como síntesis del proceso de dispersión creciente de las actividades en el territorio, se estaría 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 incrementa sus efectivos demográficos estaríamos asistiendo a un incremento 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 este nuevo capítulo, realizar la medición de alguno de los rasgos que caracterizan al modelo disperso en nuestro país. Con esta intención, nos vamos a centrar, exclusivamente, en el análisis de la función residencial. La estructura residencial dominante continúa siendo 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

extensivo, que ha supuesto la construcción de la vivienda en urbanizaciones aisladas, cada vez más distantes del centro de la ciudad.

Con objeto de analizar la implantación de este nuevo modelo urbano en nuestro país, hemos seleccionado dos metrópolis de carácter y tamaño contrastado, correspondientes a las aglomeraciones urbanas Madrid y Granada. La idea básica que guía nuestra investigación enlaza con la necesidad de disponer de una información de primera mano, sobre la tendencia del cambio residencial más reciente, en la perspectiva de realizar la evaluación y valoración ambiental de los efectos del desarrollo urbano, que enlace la evolución de las distintas situaciones territoriales pasadas con los escenarios futuros, simulados bajo distintas perspectivas de planificación. El estudio pormenorizado de las características que definen el crecimiento urbano actual resulta imprescindible para poder, por un lado, evaluar la sostenibilidad de ese tipo de ocupación del territorio, así como para poder realizar simulaciones del desarrollo urbano futuro. Por otro, nos permitirá averiguar si las características generales que definen el crecimiento disperso de las principales ciudades del mundo desarrollado siguen pautas similares en nuestro país.

2. EL CONCEPTO DE DISPERSIÓN: PUNTO DE PARTIDA DEL ANÁLISIS

Con vistas a facilitar la medición y acomodación de ambas realidades urbanas, de Madrid y Granada, al modelo teórico descrito, se hace necesaria la definición operativa del concepto de dispersión, 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 no se ha llegado aún a una definición precisa. A falta de una clarificación más estricta del concepto, podrían precisarse, sin embargo, una serie de características o atributos que aparecen ligados a este fenómeno tan característico de nuestro tiempo. Así, nos estaríamos refiriendo a la realidad de la urbanización dispersa, como a una forma específica de desarrollo urbano, caracterizada por la baja densidad edificatoria, la discontinuidad y fragmentación de los nuevos usos del suelo en el territorio y la preponderancia del transporte privado por carretera (Ewing, 1997; Downs 1999; Galster et al., 2001; Malpezzi and Guo, 2001).

Centrándonos básicamente en los rasgos de la función residencial, la dispersión destacaría, por tanto, por la propiedad de consumir mucho más espacio que la urbanización tradicional, al apuntar el modelo, en síntesis, a una imagen de baja densidad edificatoria. Esta realidad sería la consecuencia, en general, de un tejido residencial, integrado por urbanizaciones de viviendas individuales, unifamiliares, en contraposición a los edificios multifamiliares o de bloques de pisos. En este nuevo modelo urbano, 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. Otra característica común, que disminuye la densidad de ocupación del suelo, está relacionada con la posición relativa de las distintas urbanizaciones entre sí. En general, aparecen separadas por grandes áreas verdes, lo que conlleva que la densidad media se vea aún mucho más reducida. De esta manera, áreas residenciales y piezas funcionales se sitúan de forma discontinua, dejando espacios intersticiales entre sí, de lo que resulta un paisaje fragmentado y disperso.

Esta realidad ha supuesto el desarrollo periférico del espacio urbano de nuestras metrópolis, bajo estándares de ocupación del suelo más bajos, donde el incremento relativo del suelo urbanizado no se corresponde con el crecimiento demográfico. Por poner un ejemplo, que analizaremos en detalle, en el caso de Madrid, la ciudad ha pasado progresivamente de ciudad nuclear a metrópoli monocéntrica y posteriormente a región metropolitana. Hoy, el área metropolitana de Madrid constituye un espacio extenso, sin límites claros, en el que la periferia metropolitana adquiere un peso creciente frente al municipio central: si la población del municipio de Madrid se multiplicó por 1.9 en la segunda mitad del siglo pasado, la de la corona metropolitana lo hizo por 26.1 (Guzmán García y De la Hoz Sánchez, 2008). Una de esas transformaciones ha sido la escasa disponibilidad de espacio en el centro, y la progresiva ocupación de la periferia que hace que la ciudad experimente una reorganización de su estructura urbana. En la figura 1, se puede apreciar la evolución de

la estructura urbana de la Comunidad de Madrid, donde se observa la evolución experimentada por el crecimiento de la población y el suelo urbano, desde 1992, destacando como el suelo destinado a uso urbano ha crecido mucho más que la población, acentuando el descenso progresivo de la densidad media de suelo ocupado.

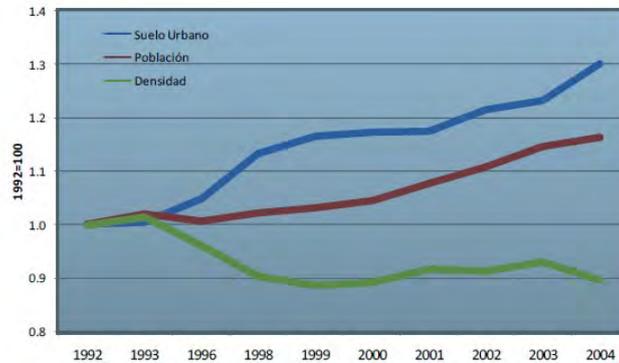


Figura 1. Evolución del Suelo, Población y Densidad (1992-2004). Basado en los datos del Instituto Estadístico de la Comunidad de Madrid (Guzmán García y De la Hoz Sánchez, 2008).

Otra de las pautas ligadas al modelo disperso ha sido la ruptura del modelo monocéntrico metropolitano y la cristalización de un modelo policéntrico, relacionado con la expansión periférica de funciones urbanas antes centralizadas como el comercio, las oficinas o determinados servicios. La localización o relocalización de actividades residenciales y productivas, en las áreas periféricas de las ciudades, es un hecho creciente y expansivo, que genera relaciones mucho más dispersas, fragmentadas y descentralizadas. En gran medida, este cambio, asociado a una dispersión de actividades, muchas veces asociadas a los desplazamientos al trabajo o de *commuting*, viene acompañado de un mayor uso del automóvil, creando, en cierto modo, una dependencia sobre ese medio de transporte. En el eje vertical de la figura 2, está representada la distancia de los desplazamientos y en eje horizontal se encuentra el grado de descentralización existente en la región, que muestra el cambio de un modelo monocéntrico a otro policéntrico, donde los desplazamientos se incrementan como consecuencia de la localización cada vez más periférica de la población y el empleo.

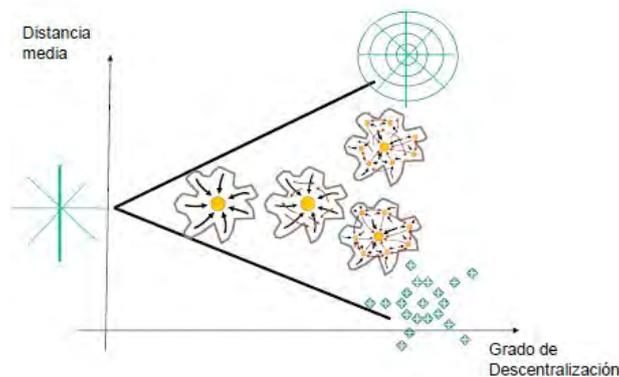


Figura 2. De estructuras monocéntricas a policéntricas (Guzmán García y De la Hoz Sánchez, 2008).

3. LA PREPARACIÓN DE LA INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN POSTERIOR EN UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Queremos señalar, en primer lugar, que la magnitud del trabajo que nos proponemos realizar aconseja la utilización de las nuevas Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) como manera 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. El núcleo de las mismas está formado por la Teledetección (TD), los Sistemas de Posicionamiento Global (SPG) y los Sistemas de Información Geográfica (SIG). En particular, la potencialidad de los SIG está fundada en su capacidad para superponer capas de información de diferentes disciplinas (Buzai, 2008). Estos sistemas incluyen funciones para el manejo de datos espaciales, tales como, almacenamiento, visualización, consultas, análisis de datos y modelización. Los SIG constituyen, por tanto, el núcleo 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).

Además, a las consideraciones anteriores habría que añadir que la aplicación de las Tecnologías de Información Geográfica en el campo urbano puede servir también al desarrollo de la investigación en dos aspectos muy concretos: planificar y evaluar. La elaboración de modelos de prospección que tengan en cuenta los procesos y tendencias actuales, se convierten en importantes herramientas para la representación de escenarios futuros que planteen discusiones acerca de la sostenibilidad de los crecimientos, los impactos de políticas sectoriales, los efectos de los planes generales municipales o supramunicipales, etc., en definitiva, como un laboratorio con el que poder generar nuevos argumentos para planificar y valorar posibles consecuencias de lo propuesto. Este tipo de modelos han sufrido un importante impulso desde la aparición de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). La gran ventaja de gestionar la información espacialmente referenciada en formato digital ha significado una disminución en el tiempo de manipulación de ésta respecto a la utilización tradicional de soportes analógicos, acorde con la dinámica de los procesos de gestión del territorio en la actualidad, lo cual sitúa a los SIG como una herramienta de gran impacto en la gestión eficiente de los recursos por parte de las instituciones que disponen y utilizan dicha información.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) raster, al gestionar la información en este formato específico, constituido por celdas de pequeño tamaño, posibilitan el empleo de la retícula cuadrada como unidad de almacenamiento de la información, lo que permite la disponibilidad de un gran número de unidades espaciales

de pequeño tamaño, a modo de un gran número de puntos de información. Además, seleccionando un nivel de resolución adecuado, un píxel de tamaño reducido posibilita 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.

3. 1. La preparación de los datos

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 de un mismo espacio geográfico en diversos momentos del tiempo; o comparación de diversas ciudades en idéntica fecha), concentran 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 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 de los usos del suelo, los mapas de la distribución espacial de la población, de manera que nos permita profundizar 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 (centro de la aglomeración urbana, subcentros metropolitanos, autopistas urbanas, centros comerciales periféricos, etc.), así como la segregación espacial de la población.

Con objeto de llevar a cabo este procedimiento de análisis, es preciso diseñar, previamente, una metodología que permita la desagregación de la información censal, tradicionalmente disponible en formato vectorial homogéneo, a formato raster. Para ello, hemos diseñado un método de desagregación de la población que nos ha facultado trasvasar la información demográfica contenida en las unidades administrativas a cada una de las celdas del modelo raster. La operación la hemos realizado para varios momentos distintos en el tiempo, con el objetivo de comparar las estructuras urbanas de Madrid y Granada de forma evolutiva.

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 la información digital de los usos del suelo, 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 de Madrid del CORINE Land Cover, nivel 51, relativa a los años 1990, 2000 y nivel 3, correspondiente al 2006, mientras que hemos completado la información anterior, con la correspondiente a un mapa de usos del suelo del año 1978, realizado por Coplaco

(Comisión de Planeamiento y Coordinación del Área Metropolitana de Madrid). Como información demográfica digital, que tuviera correspondencia con los usos del suelo, hemos utilizado la de los censos de población de 1981 (distritos urbanos); 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.

En el caso de la aglomeración urbana de Granada, se han utilizado las imágenes obtenidas por fotografía aérea de los años 1977, 1990 y 1999, digitalizando la misma, y empleando como información demográfica digital la correspondiente a los distritos urbanos del municipio de Granada y municipios de la región del censo de 1981 y las secciones censales de los años 1991 y 2001.

Vamos a describir con mayor profusión de detalles las diversas fases de preparación de la información en ambos ámbitos de estudio.

3. 1. 1. La información digital de los usos del suelo residencial correspondientes a la aglomeración urbana de Madrid

El marco espacial de referencia se corresponde con la cuadrícula establecida en el sistema de referencia de la proyección UTM, huso 30, hemisferio Norte, construida dicha proyección en el Datum ED50. Los datos de esta cuadrícula son:

- Tamaño de celda: 50 m × 50 m.
- Esquina superior izquierda: E, 365717.624944 m; N, 4415538.000002 m.
- Número de filas: 2841.
- Número de columnas: 2596.

Esta cuadrícula nos ha permitido organizar los datos y la información según el modelo raster, expresando, con respecto de ella, los datos CORINE de usos del suelo para la CAM en los cortes temporales de 1990, 2000 y 2006.

En el caso del mapa de usos del suelo del año 1979, realizado por Coplaco (Comisión de Planeamiento y Coordinación del Área Metropolitana de Madrid), como se ha señalado, se confeccionó el mismo a partir de fotografía aérea, digitalizando dicha información, con objeto de identificar fundamentalmente las categorías de uso de suelo urbano. Esta operación se realizó sobre cartografía en papel, de dos tipos:

1. En el ámbito del Área Metropolitana de Madrid, doce hojas escaneadas del *estado de ocupación del suelo en la provincia de Madrid*, a escala 1:25.000. Habían sido elaboradas en 1979 a partir de la fotointerpretación de un vuelo fotogramétrico a escala 1:18.000 realizado en abril de 1977 de ese año.

2. Fuera del ámbito del Área Metropolitana, setenta y ocho hojas escaneadas de los *usos de suelo urbano de la provincia de Madrid*, de la Consejería de Ordenación del Territorio, Medio Ambiente y Vivienda de la Comunidad de Madrid, a escala 1:25.000. Se habían elaborado el año 1981, a partir de la fotointerpretación de un vuelo fotogramétrico a escala 1:18.000 realizado en octubre de 1980.

Se describen a continuación las operaciones realizadas, en este último caso, para confeccionar, a partir de estos datos, las capas de información raster necesarias.

a) Georreferenciación de las hojas

Cálculo de las coordenadas de las esquinas

En primer lugar, se han calculado las coordenadas de las esquinas de las hojas de usos del suelo, con objeto de que sirvieran de puntos de control para georreferenciar las hojas escaneadas. Dichos puntos se corresponden con las esquinas de las hojas del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:25.000. Conociéndose las coordenadas geográficas en el Datum ED50 de las esquinas inferiores izquierdas de cada hoja del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000, se pudieron deducir las coordenadas geográficas en el Datum ED50 de todas las esquinas de las hojas del MTN25 en el ámbito de la Comunidad de Madrid. Una hoja del MTN50 contiene cuatro hojas del MTN25, que se reparten de la manera indicada en la figura 3.

n-IV	n-I
n-III	n-II

Figura 3. Disposición y numeración de las hojas del MTN25 en una hoja del MTN50, de número n

Las esquinas de las hojas del MTN25 corresponden con los puntos medios de los límites de las hojas del MTN50, considerando las coordenadas geodésicas en el Datum ED50. Se utilizaron Microsoft Excel y una macro programada en Visual Basic para interpolar las coordenadas geográficas de las esquinas que faltaban y luego transformarlas a coordenadas UTM, huso 30, hemisferio N, utilizando el programa-calculadora “*Transformaciones Cartográficas*” de Eduardo Núñez Maderal, versión 6.200508, y asociando a cada esquina un código identificador. Por fin, se colocaron etiquetas de texto con el código de identificación calculado previamente, con la

finalidad de usarlos como puntos de control para la georreferenciación de cada hoja (figuras 4 y 5).

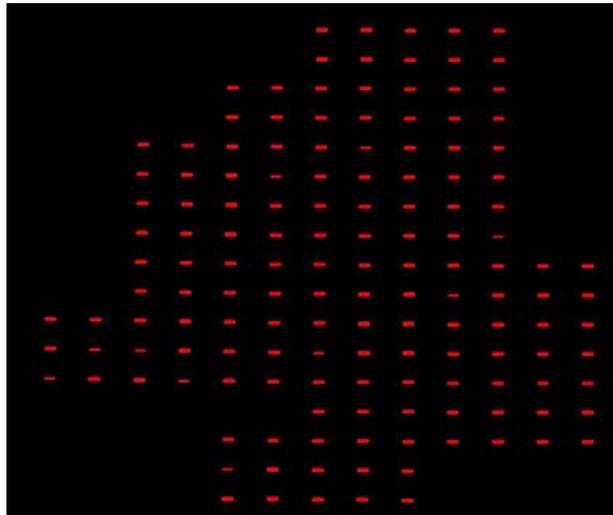


Figura 4. Disposición de las etiquetas de texto de las esquinas de hojas



Figura 5. Detalle de la disposición de las etiquetas de texto de las esquinas de hojas

Ajuste y transformación de la imagen de cada hoja

Este paso constituye la georreferenciación propiamente dicha de las hojas escaneadas de usos del suelo. Se realizó mediante la aplicación I/RAS C. El proceso seguido para cada hoja fue el siguiente:

Como puntos de control, se emplearon las cuatro esquinas de cada hoja materializadas por las etiquetas de texto. Se utilizó el modelo de transformación afín de seis parámetros, por lo que el ajuste estaba sobredeterminado, con dos redundancias. En la tabla 1, se presenta un resumen estadístico de los residuos obtenidos en los ajustes y de su precisión, estimada mediante la desviación típica.

Tabla 1. Resumen estadístico de la precisión de los ajustes de georreferenciación

Desviación típica máxima	30,0 m
Desviación típica mínima	1,6 m
Residuo en x máximo	18,5 m
Residuo en x mínimo	0,3 m
Residuo en y máximo	18,0 m
Residuo en y mínimo	0,3 m

Las transformaciones ajustadas para cada hoja se aplicaron a las respectivas imágenes, empleando el método de remuestreo del vecino más próximo en la generación de las nuevas cuadrículas. Los resultados se almacenaron en un formato de imagen propio de Intergraph que permite almacenar los datos de georreferenciación.

Verificación de la exactitud

Los estadísticos de la tabla 1 se refieren a la precisión con que las imágenes transformadas se ajustan a los puntos de control. Para valorar la exactitud de la transformación, sus resultados han de compararse con datos que puedan considerarse veraces y no hayan intervenido en su cálculo. Para esta finalidad, se emplearon puntos identificables en los mapas transformados y en los datos vectoriales de los límites de distritos, midiendo y registrando las diferencias de coordenadas. En cada hoja, se procuró tener un mínimo de cuatro puntos de control (además de las cuatro esquinas utilizadas para el ajuste).

En la tabla 2, se presenta un resumen estadístico de las diferencias de coordenadas observadas en las hojas y de la exactitud del ajuste, estimada mediante el percentil 95, de uso recomendado en este tipo de verificaciones (FGDC, 1998).

Tabla 2. Resumen estadístico de la exactitud de los ajustes de georreferenciación

Coordenadas	Percentil 95 de las discrepancias
X	93 m
Y	82 m

Estos resultados permiten considerar válidos los ajustes de las georreferenciaciones de las hojas para la resolución de trabajo. En efecto, según el teorema de Shannon-Nyquist, en una cuadrícula ráster de resolución 50 m sólo se pueden apreciar de manera satisfactoria detalles con una resolución de 100 m. Por tanto, desajustes inferiores a los 100 m como los que se han obtenido se pueden aceptar ya que no se apreciarán en el resultado final.

b) Digitalización de los polígonos de usos del suelo

Una vez georreferenciadas todas las hojas, se digitalizaron los polígonos de usos del suelo que aparecían en ellas. Además de las zonas de uso residencial, necesarias para efectuar el reparto dasimétrico de la población, se digitalizaron las de uso industrial, en previsión de su posible utilidad para estudios ulteriores.

Cada polígono se etiquetó con un elemento de texto indicativo de su uso, situado en su interior. Las etiquetas utilizadas para las hojas del Área Metropolitana de Madrid procedentes de COPLACO se tomaron de la leyenda de estas hojas, y se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Etiquetas de usos del suelo utilizadas para las hojas del Área Metropolitana de Madrid

Etiqueta	Tipo de uso del suelo
1	Casco Antiguo
2	Unifamiliar
3	Edificación Cerrada
4	Edificación Abierta
5	Naves industriales

Para las hojas del resto de la Comunidad de Madrid, se utilizaron las etiquetas indicadas en la tabla 4, obtenidas de la leyenda correspondiente.

Tabla 4. Etiquetas de usos del suelo utilizadas para las hojas del Área Metropolitana de Madrid

Etiqueta	Tipo de uso del suelo
2	Unifamiliar
5	Naves industriales
6	Multifamiliar

Durante la digitalización, se trató de no registrar polígonos de dimensiones inferiores a $100\text{ m} \times 100\text{ m}$, en virtud del teorema del muestreo de Nyquist-Shannon que se expuso con anterioridad: detalles más pequeños no se podrían apreciar en la cuadrícula ráster final. La figura 6 muestra el trabajo realizado sobre una de las hojas.

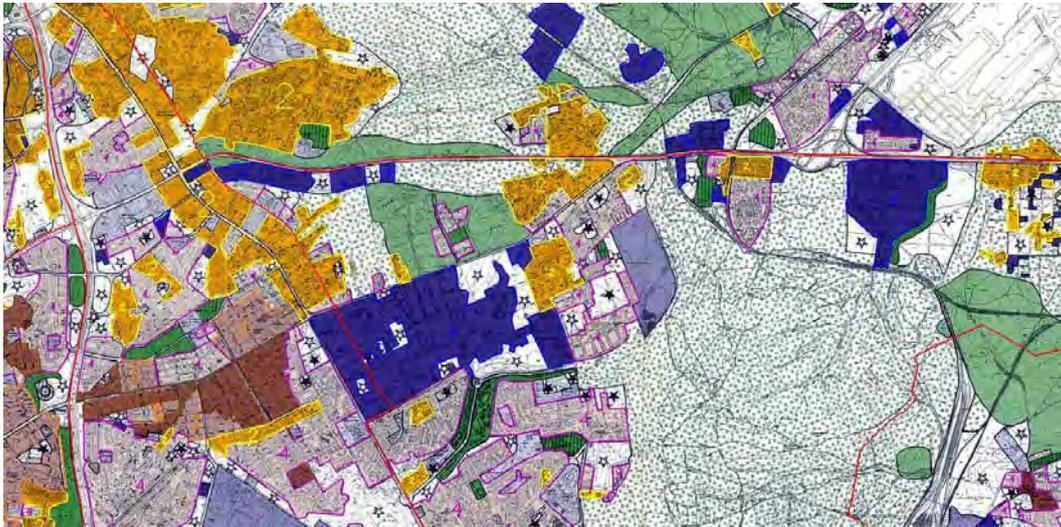


Figura 6. Resultado parcial de la digitalización vectorial de los usos del suelo en una de las hojas

c) Construcción de una cobertura vectorial a partir del archivo gráfico

Como resultado de la digitalización de los usos del suelo, se obtuvo un archivo de diseño en el formato vectorial propio del programa MicroStation, con poligonales que definen límites entre los usos del suelo considerados y etiquetas de texto que identifican tales usos. Estos elementos gráficos constituyen el embrión de la información contenida en una cobertura vectorial, siendo necesario para completarla:

1. Editar las líneas digitalizadas, de modo que sean capaces de definir una familia de polígonos cerrados.
2. Construir explícitamente polígonos cerrados a partir de dichas líneas.
3. Asociar cada polígono con una fila de una tabla de una base de datos, construida al efecto, en cuyas columnas se contendrá de modo explícito la información temática asociada a cada polígono.

Todas estas operaciones se llevaron a cabo con uno de los módulos (“Mapper”) del programa MGE.

d) Rasterización y reclasificación de la cobertura vectorial de usos del suelo

La generación de una cuadrícula raster de usos del suelo a partir de la cobertura vectorial anterior se llevó a cabo en el entorno del programa GeoMEDIA, haciendo uso de su capacidad de abrir en modo de lectura coberturas en diversos formatos vectoriales distintos del propio.

Una vez generada la capa raster de usos del suelo para el corte temporal de 1981, se generó a partir de ella, por reclasificación, la capa de pesos que, como en los cortes anteriores, valora la capacidad de acoger población de cada celda.

En la cuadrícula raster de usos del suelo de 1981 se distinguen cinco usos; los correspondientes al Área Metropolitana de Madrid son:

- *Casco Antiguo*
- *Residencial unifamiliar*
- *Edificación Cerrada*
- *Edificación Abierta*

Para el resto de la Comunidad Autónoma, el suelo residencial sólo se diferencia entre:

- *Unifamiliar*
- *Multifamiliar*

3. 1. 2. La información digital de los usos del suelo residencial correspondientes a la aglomeración urbana de Granada

El marco espacial de referencia se corresponde con la cuadrícula establecida en el sistema de referencia de la proyección UTM, huso 30, hemisferio Norte, construida dicha proyección en el Datum ED50. Los datos de esta cuadrícula son:

- Tamaño de celda: 50 m × 50 m.
- Esquina superior izquierda: E, 418584.322 m; N, 4136047.264 m.
- Número de filas: 748.
- Número de columnas: 943.

Los mapas de usos del suelo se obtuvieron, como se indicó con anterioridad, de las fotografías aéreas de 1977, 1990 y 1999. La fotografía aérea de 1977 formaba parte de un vuelo a escala 1:18.000, realizado por el Ministerio de Agricultura en dicha fecha, mientras que los correspondientes a 1990 y 1999 procedían del Mapa digital de Andalucía, comercializado por el ICA, a escala 1: 10.000.

3. 1. 3. La información digital de la red de carreteras de la Comunidad de Madrid

La digitalización de la red de carreteras de la Comunidad Autónoma de Madrid se realizó sobre las bases que se detallan a continuación:

Marco espacial de referencia

Sistema de referencia de la proyección UTM, huso 30, hemisferio Norte, construida dicha proyección en el Datum ED50. No se definió cuadrícula, puesto que la información de carreteras se representó de acuerdo con el modelo vectorial. El sistema de referencia adoptado es el mismo en el que se construyó la cuadrícula para los datos de población, de modo que la superposición espacial sea coherente.

Datos disponibles y fuentes

Para la construcción de la información digital acerca de la red de carreteras de la CAM en los cortes temporales previstos se disponía inicialmente de los siguientes datos:

- a) Mapas de carreteras de la Comunidad de Madrid en soporte de papel:
 - Corte temporal 1980: mapa impreso en 1986, Dirección General de Carreteras de la Comunidad de Madrid
 - Corte temporal 1990: mapa con fecha de Diciembre de 1992, Dirección General de Carreteras de la Comunidad de Madrid, escala: 1:200.000
 - Corte temporal 2000: mapa con fecha de Junio de 2000, Dirección General de Carreteras de la Comunidad de Madrid, escala: 1:200.000

- b) Cobertura digital vectorial de carreteras para el corte temporal 1990, proporcionada por la Comunidad de Madrid y construida en el formato del programa ArcView (denominada en lo sucesivo “Capa 1990”).

Especificaciones del producto a obtener

A partir de estos datos, se debían obtener tres capas vectoriales, una por cada corte temporal (Capa1980, Capa1990 y Capa2000), con las carreteras importantes, según la tipología que aparece en los tres mapas: red de interés general del estado, red primaria y red secundaria o local, incluyendo como atributos el nombre y el tipo de cada carretera.

Se impuso el requisito adicional de poder identificar una misma carretera en las tres capas, pese a los cambios de nombre acaecidos en el período. A este respecto, la Capa1990 disponible incluye para cada carretera un atributo, NOMBRE, con su denominación en el corte 2000. La información de atributos finalmente adoptada para cada capa fue la siguiente:

Capa 2000:

NOMBRE (texto): denominación de la carretera con fecha de 2000.
TIPO (número entero): código de tipo de carretera con fecha de 2000.

Capa 1990:

N90 (texto): denominación de la carretera con fecha de 1990.
NOMBRE (texto): denominación de la carretera con fecha de 2000.
TIPO: código de tipo de carretera con fecha de 1990.

Capa1980:

N80 (texto): denominación de la carretera con fecha de 1980.
N90 (texto): denominación de la carretera con fecha de 1990.
NOMBRE (texto): denominación de la carretera con fecha de 2000.
TIPO: código de tipo de carretera con fecha de 1980.

Las tres capas se obtuvieron modificando la cobertura vectorial disponible para1990, haciendo uso de la información contenida en los mapas en papel de los respectivos cortes temporales, previamente digitalizados en formato raster de imagen y georreferenciados para hacer posible su visualización conjunta con los datos vectoriales. En las operaciones de edición, se utilizó el programa ArcMap, versión 9.2, de ESRI.

Edición de la Capa 1980

Se partió de la copia de la Capa 1990 construida para esta finalidad en el proceso de edición de la citada capa, en la que se contenían las carreteras de 1990 con sus nombres en 2000 (atributo NOMBRE) y en 1990 (atributo N90).

Con el ráster del mapa adoptado para el corte de 1980 (fechado en1986) como referencia:

- Se añadió el atributo N80, cumplimentándolo en cada carretera con su denominación en 1980 según el mapa de este corte temporal.

- Se digitalizaron las carreteras que no figuraban en la Capa 1990, por haber desaparecido o pasado a ser vías urbanas entre 1980 y 1990, y se incorporó su denominación el atributo N80.
- Se eliminaron las carreteras existentes en 1990 pero no en 1980.
- Se actualizó el atributo TIPO según la clasificación considerada en el mapa de este corte temporal.

Edición de la Capa 1990

Con el ráster del mapa del año 2000 como referencia:

- Se verificaron las denominaciones, con fecha de 2000, de las carreteras existentes en 1990 (atributo NOMBRE).
- Se realizó una copia de esta capa en el estado en que se encontraba al final de esta operación, que habría de constituir el punto de partida para la construcción de la Capa 2000.

Con el ráster del mapa del año 1990 como referencia:

- Se añadieron los atributos N90 y TIPO, y se cargaron en ellos, respectivamente, las denominaciones vigentes en 1990 y el tipo de carretera, según la tipología disponible en el mapa.
- Se digitalizaron las carreteras que faltaban, introduciéndose asimismo sus atributos.
- Se realizó una copia de esta capa en el estado en que se encontraba al final de esta operación, que habría de constituir el punto de partida para la construcción de la Capa 1980.

Edición de la Capa 2000

Se partió de la copia de la Capa 1990 construida para esta finalidad en el proceso de edición de la citada capa, en la que se contenían las carreteras de 1990 con sus nombres en 2000 (atributo NOMBRE).

Con el ráster del mapa del año 2000 como referencia:

- Se digitalizaron las carreteras construidas entre 1990 y 2000 y carga de su denominación en el atributo NOMBRE.
- Se eliminaron las carreteras que desaparecieron o pasaron a ser vías urbanas en el mismo período.
- Se añadió el atributo TIPO, cargando el correspondiente a cada carretera según la clasificación considerada en el mapa.

Resultados

Los resultados obtenidos para los tres cortes temporales pueden verse en las figuras 7, 8 y 9, donde se recogen capturas de pantalla en las que se visualizan las coberturas superpuestas a los respectivos mapas digitalizados.

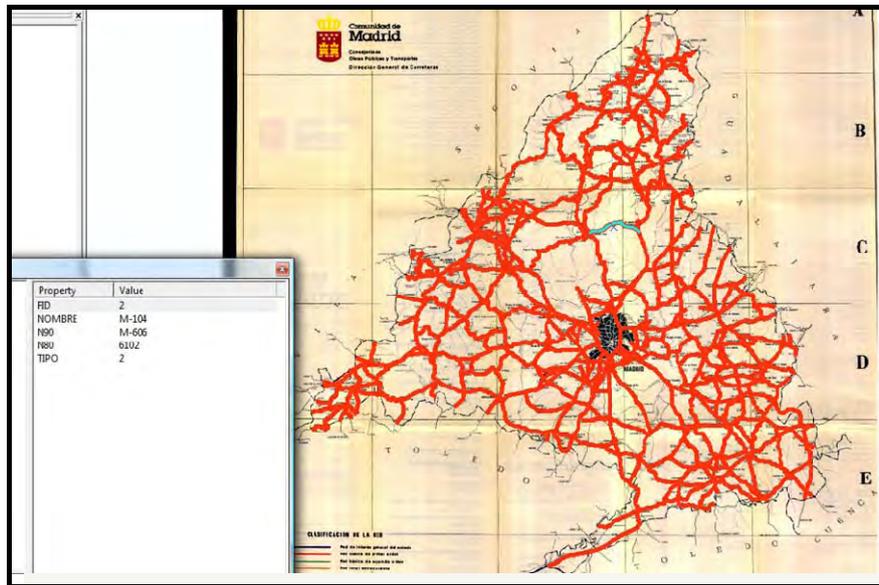


Figura 7. Red de carreteras de la Comunidad de Madrid en 1981, y ejemplo de los atributos registrados para cada una.

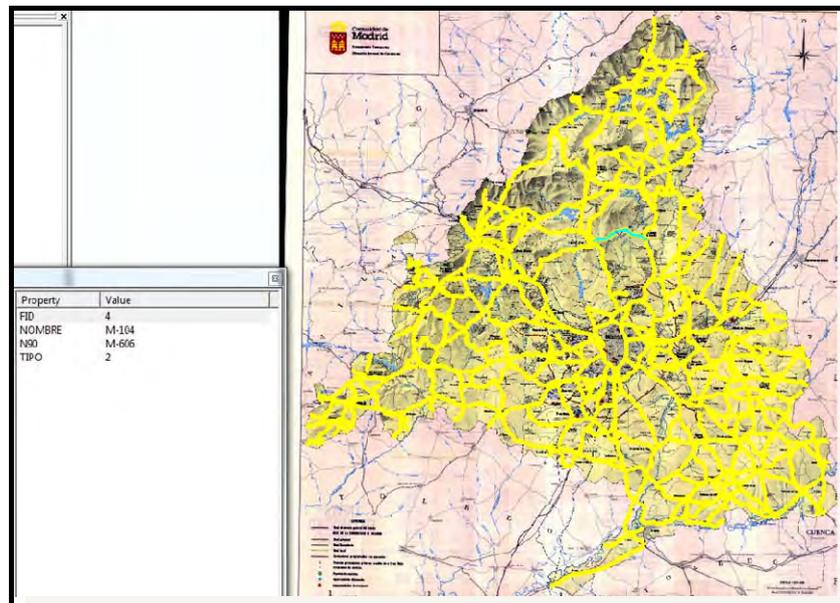


Figura 8. Red de carreteras de la Comunidad de Madrid en 1991, y ejemplo de los atributos registrados para cada una.

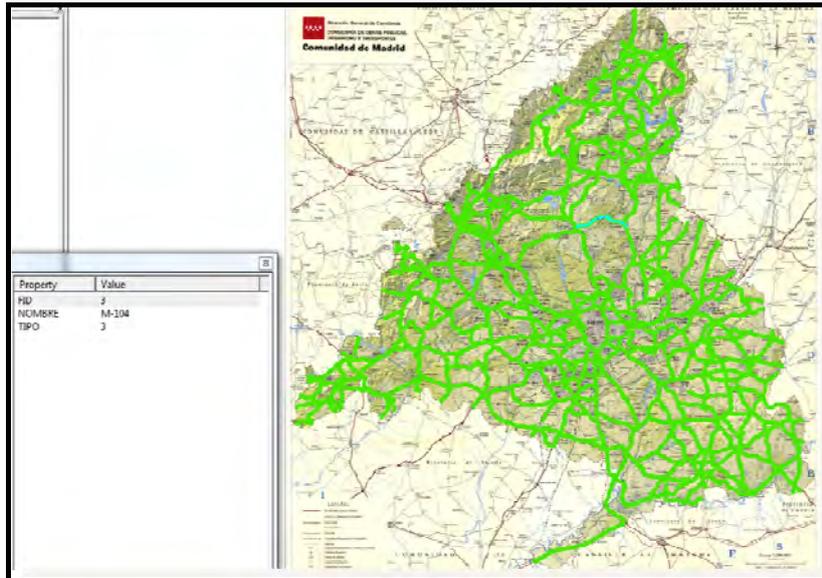


Figura 9. Red de carreteras de la Comunidad de Madrid en 2001, y ejemplo de los atributos registrados para cada una.

3. 1. 4. Definición y características del procedimiento de desagregación espacial de la población seleccionado

La segunda fase de preparación de la información ha consistido en la desagregación o trasvase de la información demográfica contenida en las unidades administrativas. Nos ha parecido interesante, antes de realizar la selección concreta de un método de desagregación espacial de la población, hacer una reflexión sobre lo que supone, con carácter general, la desagregación demográfica, así como un repaso previo de los principales procedimientos existentes, con el objetivo de compararlos y comprender los fundamentos básicos en que se sustentan. Finalmente, concretaremos las principales características formales del método elegido.

La necesidad de recurrir a la desagregación espacial de la población en los estudios territoriales

Los estudios sobre localización de la población en el territorio están excesivamente condicionados por los lindes administrativos que es necesario superar; dichos lindes no guardan relación, muchas veces, con la estructura real de los asentamientos; la población se recoge, en general, a nivel municipal (o de sección censal de cada municipio), pero hay núcleos de población separados por una calle que pertenecen a dos municipios distintos. Además, la población no está uniformemente distribuida a lo largo de todo el término municipal en el que reside, sino más bien concentrada en unos pocos núcleos. Este problema es particularmente evidente cuando

examinamos la forma convencional de cartografiar la distribución de la población sobre el territorio mediante un mapa de coropletas, que asume un valor constante de la densidad, en habitantes por Km^2 , dentro de todo el término municipal (Schmid y MacCannell, 1955). La representación cartográfica de los datos no genera en este caso un resultado objetivo, sino que se ve muy influenciada por la forma en la que los microdatos de partida han sido agregados, y lo que el lector percibe finalmente es una combinación de los datos de base, las unidades geográficas de análisis (*zoning system*) y aspectos meramente cartográficos (división de las clases, colores y su gradación, símbolos,...etc.).

Así pues, un examen detallado de la distribución de la población sobre el territorio exige, por una parte, descender más allá del nivel de agregación municipal, y por otra, superar de alguna forma el rígido marco de los lindes administrativos (Muguruza y Santos, 1988). La superación de los lindes administrativos se hace todavía más necesaria cuando se desea integrar datos demográficos y socioeconómicos con datos geográficos o medioambientales, recogidos en muchas ocasiones en formato de rejilla (*grid*), o *raster*, utilizando la terminología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

En esta dirección, la mejor forma de generar mapas sobre la distribución de la población sería georreferenciar todos los edificios residenciales de un país, determinar la población que reside habitualmente en ellos, contarla y asignarla al *pixel* correspondiente. Esta aproximación, que construye el mapa desde su base, se conoce como la *bottom-up approach*, y su realización es posible a partir de (i) enormes bases de datos geográficas sobre las construcciones del país, y (ii) de un censo o un registro exhaustivo de población (como el padrón), convenientemente enlazado con la base de datos de edificios. Este tipo de procedimientos sólo pueden ser implementados por institutos oficiales de estadística u organismos gubernamentales y su difusión presenta ciertos inconvenientes relacionados con la confidencialidad, especialmente si la *grid* es fina o se utilizan características peculiares de la población. A pesar de ello, la primera *grid* de población que se conoce para una región de España, Madrid, se remonta a 1976, siguió esta filosofía y fue realizada por un investigador individual, Julio Vinuesa (1976). Un trabajo ingente, si pensamos que fue realizado antes del desarrollo de las técnicas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y con cartografía en papel, y que lamentablemente no tuvo continuidad.

Frente a esta aproximación de construcción de una *grid* de población mediante agregación, podemos pensar en métodos de desagregación espacial. Es la aproximación conocida como *downscaling* o *top-down approach*. En este caso, se parte de datos municipales o incluso de un nivel inferior (secciones censales, entidades o núcleos de población) y se debe desagregar de alguna forma hasta el nivel de resolución de la *grid*. La literatura sobre métodos de desagregación espacial en este contexto es enorme (Grasland, Mathian y Vincent, 2000, Rase, 2001) y forma parte de un problema más

general en el análisis de datos espaciales referente a la transferencia de datos geográficos entre diferentes sistemas zonales (Flowerden, Green y Kehris, 1991).

Revisión de algunos de los principales procedimientos de desagregación existentes

La generación de modelos superficiales continuos de población, a partir de unidades administrativas clásicas, implica, por tanto, la necesidad de trasvasar la información en ellas contenida a otras unidades, de tamaño más reducido, en las que el formato raster de celdas iguales y cuadradas es el más representativo. Se trataría, por tanto, de crear una capa raster en la que se almacenara, de forma continua, la población de la zona de estudio, de manera que cada píxel contuviera la población del área que representa. Se eludirían, así, los múltiples problemas que se presentan cuando se hacen estudios socio-económicos con variables relacionadas con la población a partir de datos agregados en unidades administrativas (Suárez Vega y otros, 2008). Lógicamente, suele trabajarse con celdas de tamaño bastante inferior que las unidades de agregación originales, por lo que se denominan “métodos de desagregación”. Las líneas de investigación más destacadas son las que exponemos a continuación.

El método de la interpolación picnofiláctica suavizada (Tobler)

Este método fue desarrollado por Waldo Tobler, en 1979, y su fundamento teórico se basa en la consideración de que las transiciones abruptas en los límites, que caracterizan la representación por coropletas, contradicen la “Primera Ley de la Geografía” sobre la manifestación continua de los fenómenos geográficos en el espacio. Ello implicaría que podría construirse una superficie continua, partiendo de la superficie escalonada (típica de la distribución espacial de la población en dicha representación cartográfica), forzando a desdibujar los límites, mediante algún procedimiento que aproximara el valor de estas áreas de separación al promedio de los valores iniciales de las zonas más cercanas.

El proceso de cálculo de la superficie continua conlleva dos características a considerar: el suavizado de la superficie, mediante algún procedimiento de cálculo que sustituya el valor inicial de cada celda por el valor medio de ella y sus vecinas (fácil de realizar con alguna de las herramientas disponibles en un SIG raster) y la condición “picnofiláctica” o de conservación del volumen de población en cada una de las zonas de partida. Este proceso debe realizarse de manera iterativa, alternándose las operaciones de suavizado con la introducción de correcciones que garanticen el cumplimiento de las condiciones anteriores, deteniendo el mismo al alcanzar la superficie resultante las características de una función suave, aquella que presenta una variación mínima entre las celdas en todas las direcciones (matemáticamente, se obtiene la misma, buscando una superficie que haga mínima la suma de los cuadrados de las derivadas parciales en todos los puntos).

La figura 10 muestra la modificación progresiva de la superficie original de las coropletas, hasta alcanzar el estado final de la superficie suavizada. En un trabajo realizado hace ya tiempo, por algunos de los miembros que actualmente participamos en esta investigación, aplicamos este procedimiento de desagregación, adaptando el método de Tobler, mediante un algoritmo de cálculo específico (Santos Preciado y García Lázaro, 2003).

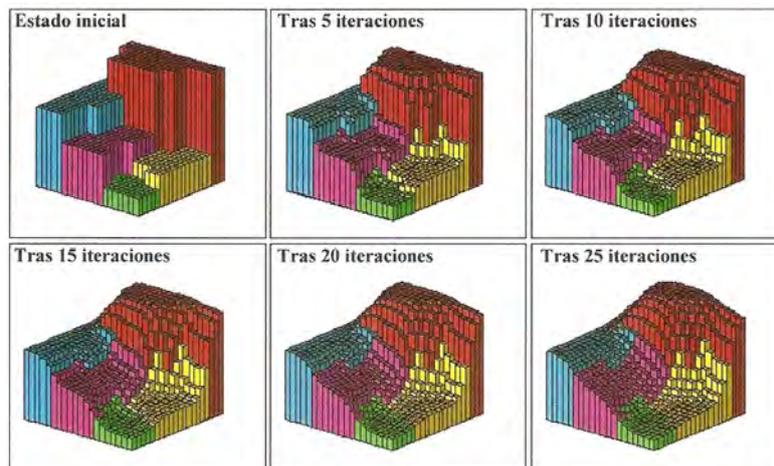


Figura 10. La interpolación picnofiláctica suavizada.

Obtenida de <http://www.ncgia.ucsb.edu/pubs/gdp/pop/pycno.html>

El método de difusión y agregación (Bracken y Martín)

Este procedimiento de cálculo pretende aprovechar al máximo la información que puede obtenerse, a partir de los censos y fuentes de datos demográficos, buscando modelar el patrón subyacente. Se trataría de sustituir las unidades superficiales de población por sus centroides, construyendo la rasterización de la población, a partir de la interpolación desde las celdas a dichos puntos, como si concentraran la población de forma puntual.

El modelo reconstruye la distribución de la población, de manera que sea independiente de los límites arbitrarios de las unidades censales (Bonilla y Rosero, 2008). Bajo las premisas de que la población de una zona puede concebirse como una propiedad de un punto localizado en el interior de la misma (el centroide) y que los datos caracterizan un área indefinida alrededor de ese punto, se puede definir el procedimiento de reparto. Así, la carga de población de una zona se distribuye con una ponderación inversamente proporcional a la distancia, en un radio de proximidad determinado. A tal efecto, se centra una ventana móvil en cada uno de los centroides, y se aplica la ponderación referida a cada celda de la ventana, con objeto de calcular su cuota de prorrateo de la carga de población allí concentrada (figura 11). Las celdas situadas en la intersección de las ventanas de dos o más centroides recibirían la carga de

población correspondiente a cada uno de ellos. Por su parte, las celdas localizadas fuera de las ventanas de los centroides no recibirían carga de población alguna.

En este procedimiento de desagregación demográfica, el tamaño de la ventana varía de modo inversamente proporcional a la densidad local de los centroides, por lo que se ha considerado a este procedimiento como una estimación kernel adaptativa. En efecto, el método es muy similar al correspondiente a la estimación kernel con tamaño de ventana variable. La expresión general para la estimación de la población que se asignará a cada celda de la cuadrícula es:

$$\hat{P}_i = \sum_{j=1}^c P_j W_{ij}$$

Donde \hat{P}_i representa la población estimada para la celda i ; P_j es la carga de población del centroide j ; c es el número total de centroides; y W_{ij} es la ponderación única del centroide j con respecto a la celda i . Las ponderaciones de cada centroide se ajustan de modo que la suma total de todas ellas sea igual a la unidad.

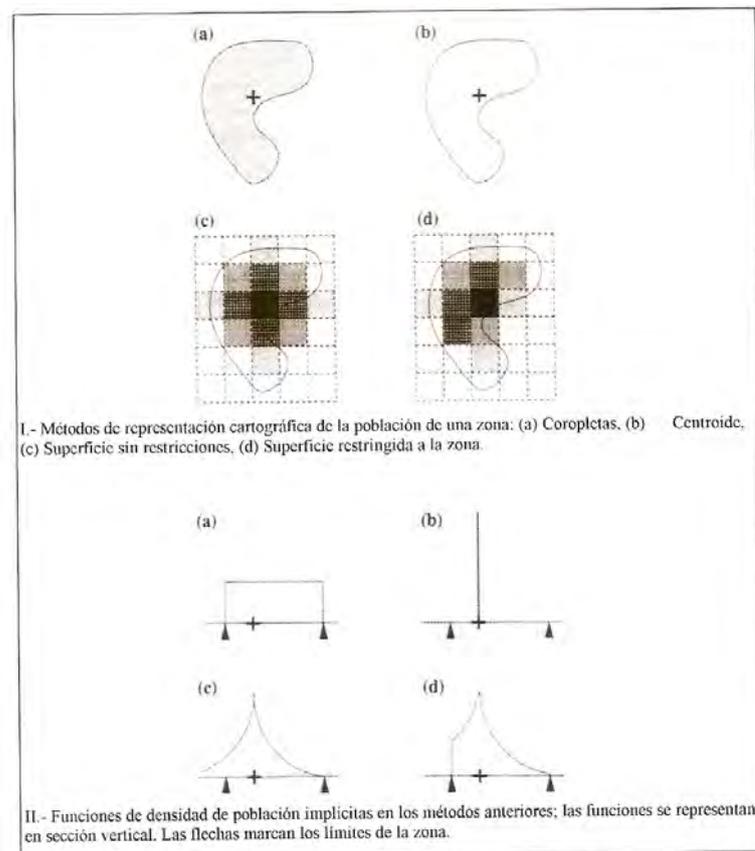


Figura 11. Fundamento del método de difusión-agregación (Martín, 1989).

Desagregación probabilística con datos auxiliares (Spiekermann y Wegener)

Este método plantea la utilización de los usos del suelo, como elementos auxiliares para asignar a cada celda del territorio una probabilidad de acoger eventos de algún tipo y, más en concreto, la acogida de la información de una variable sociodemográfica. Para su aplicación, cada celda o píxel debe estar caracterizado por dos atributos: la categoría del uso del suelo que la ocupa y el identificador de la unidad de agregación a la que pertenece. Para cada fenómeno, este 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 población, 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 (figura 12).

En el caso del procedimiento metodológico reseñado, los autores aplicaron, posteriormente, el método de Monte Carlo, con el objeto de repartir la carga total de eventos (población total, por ejemplo) a cada una de las celdas, de forma aleatoria, de acuerdo a la probabilidad de las mismas. En consecuencia, las zonas correspondientes a los usos del suelo no residenciales no recibirían ninguna carga de población (probabilidad nula), mientras que en los usos residenciales la distribución se realizaría de manera más o menos proporcional a la probabilidad de acogida (de acuerdo con la generación de números aleatorios, ya que cada evento o carga unitaria de población sería destinada a la celda por sorteo). Finalmente, el procedimiento verifica, a través del identificador, la propiedad picnofiláctica, de manera que la suma de las cargas correspondientes a una unidad de agregación coincida con la población total de la misma.

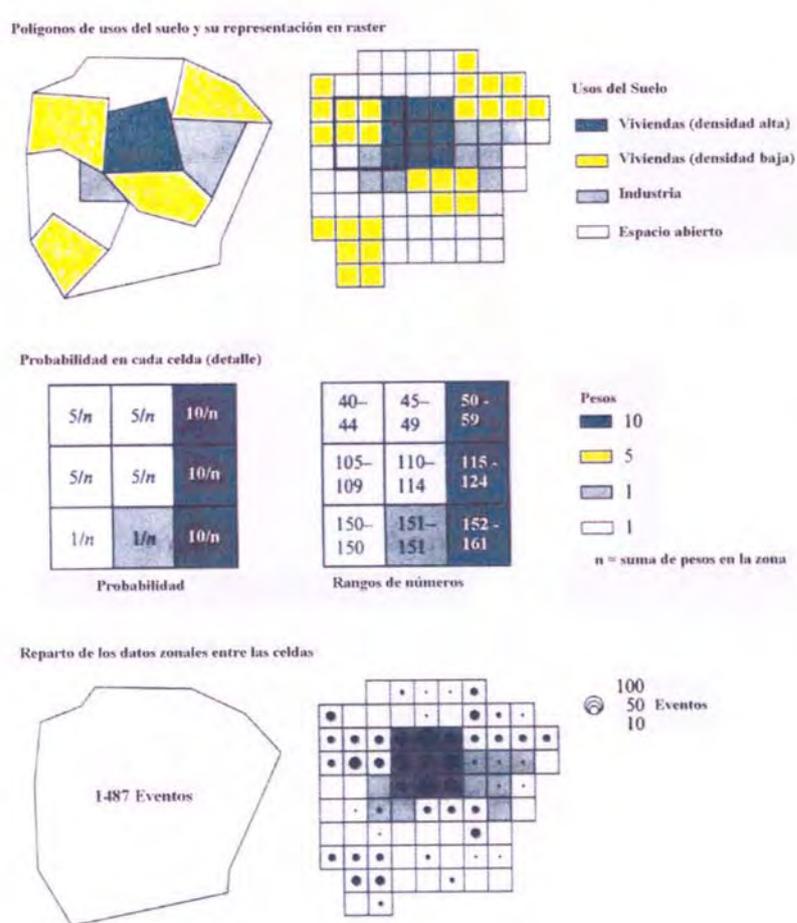


Figura 12. Método de desagregación de Spiekermann y Wegener (Spiekermann y Wegener, 2000).

Definición del método de desagregación utilizado en el análisis

De acuerdo a las premisas establecidas, presentamos una metodología de desagregación espacial de una variable demográfica (como el volumen total de la población), que recogería la idea primitiva del modelo de Spiekermann y Wegener, modificando alguno de sus presupuestos básicos, de forma que el procedimiento de cálculo que realice la distribución del volumen de población lo haga, no de manera aleatoria, sino proporcional a la probabilidad. Esta probabilidad, cuyo método de obtención no se describe, por cierto, en el trabajo indicado, podría estar directamente relacionada con la densidad demográfica de cada una de las tramas residenciales. La metodología propuesta incluiría los siguientes pasos (figura 13):

1. Identificar y delimitar las áreas residenciales homogéneas, a partir de las categorías identificadas en las imágenes de partida.
2. Calcular los pesos demográficos correspondientes a cada una de las categorías residenciales allí representadas.

3. Asignar a cada celda el peso correspondiente a la ponderación demográfica de cada una de las tramas residenciales a las que pertenece (*Pesos*).
4. Realizar, para cada zona, la suma de los pesos correspondientes a la totalidad de las celdas que la integran, asignando dicho valor a cada una de las celdas (*Suma de los pesos por zona*).
5. Asignar a cada celda el valor de la población correspondiente a la zona a la que pertenece (*Población por zonas*).
6. Obtener el valor de población de cada celda de peso 1, dividiendo los valores de la población de cada zona y la suma total de los pesos de la misma (*Población de la celda de peso unitario en cada zona*).
7. Obtener la población en cada celda, como producto de su peso por la población correspondiente al peso unitario (*Distribución dasimétrica*).

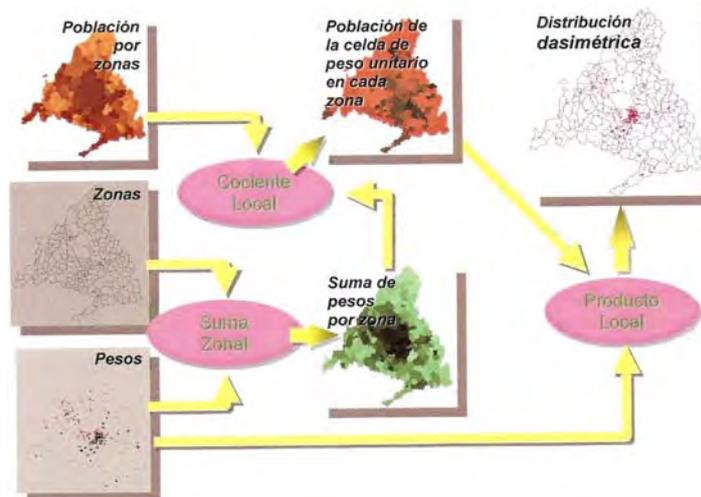


Figura 13. Fases de elaboración del modelo de desagregación espacial de la población.

Resultados obtenidos mediante la aplicación del método de desagregación descrito a las fuentes de información disponibles.

Los resultados obtenidos de la desagregación espacial de la población en la Comunidad Autónoma de Madrid fueron los que a continuación se detallan:

Distribución de la población en la Comunidad de Madrid. Cortes temporales de 1991, 2001 y 2006

Para estos cortes temporales, se disponía inicialmente de los siguientes datos:

1. Coberturas, en formato vectorial, propio del programa ArcView (fichero "Shape" y base de datos asociada), con los datos posicionales de los sectores y secciones urbanas de la Comunidad de Madrid para las fechas de 1991, 2001 y 2006, respectivamente, asociados, entre otros atributos, al código identificador de cada sector y sección a la población del mismo.
2. Un fichero raster, estructurado según la cuadrícula descrita anteriormente como marco espacial de referencia, con los usos del suelo a fecha de 1991, 2000 y 2006, registrados en "CORINE land cover, niveles 3 y 5".

A partir de estos datos, las capas de entrada al proceso de reparto dasimétrico se obtuvieron del siguiente modo:

1. Las capas de unidades administrativas (sectores urbanos 2001 y secciones urbanas de 1991 y 2006), por rasterización de la cobertura vectorial arriba citada, asignando a las celdas contenidas en cada sector urbano el código identificador de éste. Esta operación se llevó a cabo con el programa GeoMEDIA™.
2. Las capas de población (Población 1991, Población 2001 y Población 2006), igualmente por rasterización de la cobertura vectorial arriba citada, asignando en este caso a las celdas contenidas en cada sector y sección urbanos la población respectiva. Esta operación se llevó a cabo con el programa GeoMEDIA™.
3. La capa de pesos (tabla 5, que aparece posteriormente, adaptada a categorías existentes), por reclasificación de la capa de usos del suelo CORINE, utilizando la función "recode" del programa GeoMEDIA™:

El cálculo de los pesos de las diferentes tramas residenciales, representadas en las imágenes de usos del suelo residenciales (tejido urbano continuo, estructura urbana laxa y urbanizaciones exentas), se obtuvo a partir de un estudio empírico, realizado con sectores urbanos de 2001, homogéneos desde el punto de vista de su tipología edificatoria. En este sentido, se extrajo la información correspondiente a 224 sectores urbanos, de cinco municipios diferentes, pertenecientes al área metropolitana madrileña, homogéneos desde la perspectiva de su trama urbana, cuyas tipologías conocidas podían ser interpretadas como casco antiguo, manzana cerrada, edificación abierta y edificación unifamiliar. El resultado obtenido puede observarse en la figura 14. Utilizando los valores medios de las distribuciones respectivas, se extrajeron los valores de las densidades medias, identificando el tejido urbano continuo como el valor medio de las categorías de casco antiguo y manzana cerrada; la estructura urbana laxa con la edificación abierta; y las urbanizaciones exentas con la edificación unifamiliar. Los resultados obtenidos para los pesos fueron los representados en la tabla 5:

Tabla 5. Pesos de las tramas residenciales utilizadas para los usos del suelo del Área Metropolitana de Madrid (1990, 2000 y 2006)

categorias	pesos
Tejido urbano continuo	5,5
Estructura urbana laxa	8
Urbanizaciones exentas	1

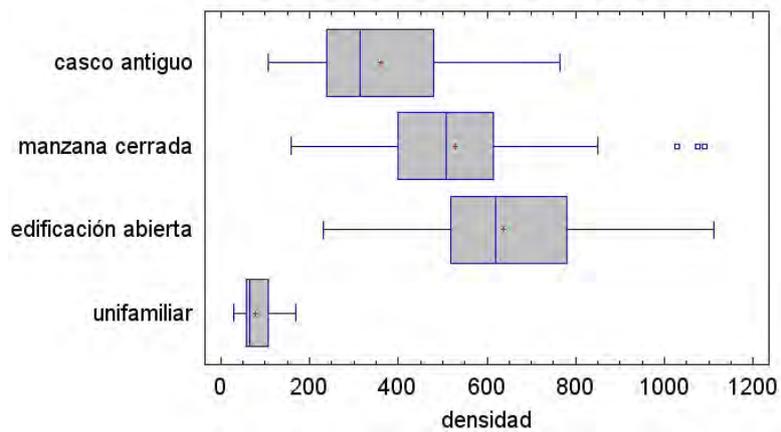


Figura 14. Distribución del valor de la densidad (hab/Ha) según tipología edificatoria.

El resultado de la desagregación de la población sería las imágenes de las figuras 15, 16 y 17.

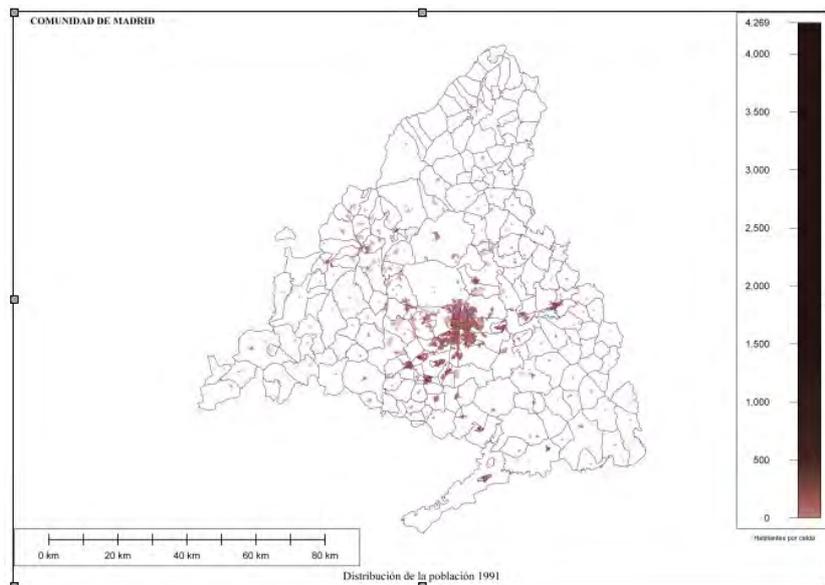


Figura 15. Distribución de población (habitantes por celda de la cuadrícula de referencia) en la Comunidad de Madrid en 1991

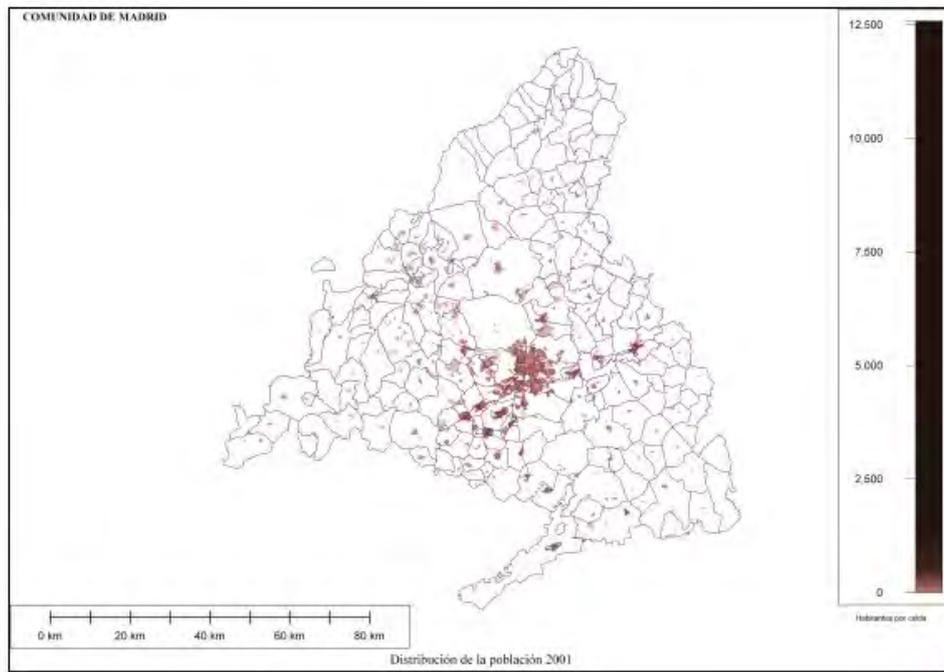


Figura 16. Distribución de población (habitantes por celda de la cuadrícula de referencia) en la Comunidad de Madrid en 2001

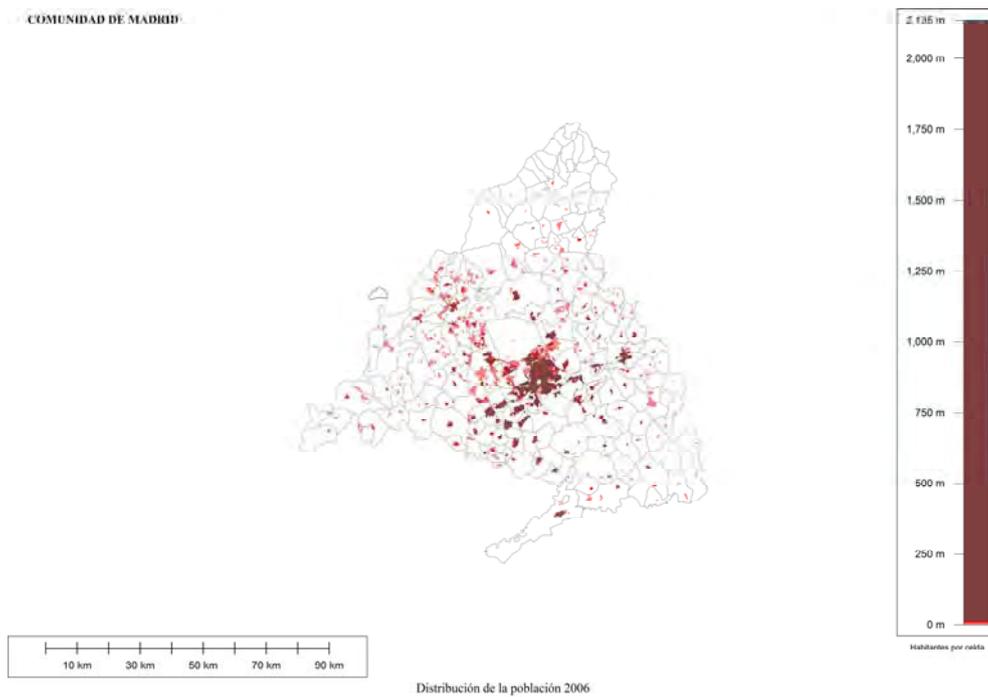


Figura 17. Distribución de población (habitantes por celda de la cuadrícula de referencia) en la Comunidad de Madrid en 2006

Distribución de la población en la Comunidad de Madrid. Corte temporal de 1981

La preparación de los datos correspondientes a este corte temporal fue, con mucho, la más laboriosa, por la escasez de datos digitales para estas fechas. Los datos de población se obtuvieron para este corte temporal a un nivel de agregación mayor, por distritos municipales, a través de un listado en papel del Censo de Población y Viviendas, proporcionado por el Instituto Nacional de Estadística.

No se disponía, en principio, de datos posicionales de las unidades administrativas a las que correspondían tales datos de población, ni en soporte digital ni en forma de mapas sobre papel. Dado que las secciones censales son subdivisiones de los distritos municipales, se recurrió a reconstruir la estructura de distritos de 1981, a partir del seccionado censal de 1991, teniendo en cuenta los cambios acaecidos entre ambas fechas, documentados en diversas fuentes que se reseñan en la bibliografía del proyecto.

Los pesos expresados en la tabla 5 hubieron de adaptarse a esta clasificación. El tipo de uso del suelo “*Multifamiliar*” engloba los tipos “*Casco antiguo*”, “*Manzana cerrada*” y “*Edificación Abierta*” previos a la clasificación definitiva de dicha tabla, por lo cual se hubiera tenido que asignar a este tipo de uso del suelo un peso promedio de los allí expresados (6,3). No obstante, al corresponder este tipo de uso del suelo con zonas fuera del Área Metropolitana, las alturas construidas se suponen menos elevadas que dentro de ésta, por lo cual se ha utilizado un peso menos alto (5,5). Las asignaciones finalmente adoptadas se enumeran en la tabla 6.

Tabla 6. Pesos asignados a los tipos de uso del suelo en la Comunidad de Madrid para el corte temporal de 1981

Uso del suelo	Peso asignado
Residencial unifamiliar	1
Residencial casco antiguo	4,5
Residencial manzana cerrada	6,5
Residencial edificación abierta	8
Residencial multifamiliar	5,5
Cualquier otro uso	0

Una vez generadas las capas de unidades administrativas (Distritos 1981), población (Población 1981) y pesos (Pesos 1981), se efectuó con ellas el proceso de desagregación dasimétrica genérico descrito en una sección anterior.

El resultado de la desagregación de la población sería la imagen de la figura 18.

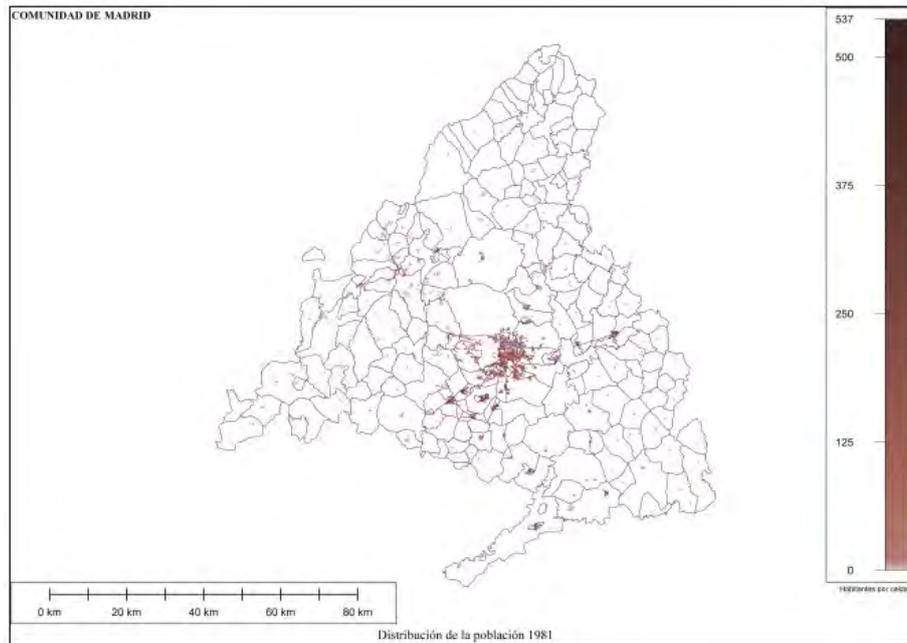


Figura 18. Distribución de población (habitantes por celda de la cuadrícula de referencia) en la Comunidad de Madrid en 1981

Verificación y corrección de la distribución de la población en la Comunidad de Madrid en los cuatro cortes temporales

La veracidad de las estimaciones de población desagregada, obtenidas mediante el reparto dasimétrico ponderado, depende de la exactitud de la ponderación de cada celda, esto es, de su capacidad de acoger población en términos relativos, comparada con el resto de las celdas contenidas en la misma unidad espacial de agregación de datos. Dado que estas ponderaciones se han establecido en función de los usos del suelo será, en último término, la exactitud en el establecimiento de dichos usos el factor determinante en la calidad de los resultados del proceso de desagregación.

En nuestro caso, el problema de que la desagregación de la población pueda contener errores tiene múltiples orígenes. En primer lugar, la diferencia de detalle en las capas de usos del suelo obtenidas mediante Coplaco, para el año 1978, respecto a las obtenidas mediante el Corine Land Cover (CLC) para los años 1990, 2000 y 2006. Además, existen distintas coberturas del suelo en el caso del CORINE, según el nivel de desagregación elegido. En el caso del nivel 1, CLC ofrece 5 coberturas del suelo: superficies artificiales, zonas agrícolas, zonas forestales, zonas húmedas, y superficies de agua. Las superficies artificiales se desagregan a nivel 2 en 4 coberturas adicionales: zonas urbanas, zonas industriales, comerciales y de transportes, zonas de extracción minera, vertederos y de construcción, y zonas verdes artificiales no agrícolas. A su vez, las zonas urbanas se desagregan a nivel 3 en dos clases: tejido urbano continuo y tejido urbano discontinuo. Sería de esperar que la práctica totalidad de la población fuera

asignada a las zonas urbanas (clases 111 y 112). Sin embargo, es necesario tener en cuenta que la unidad mínima cartografiada en *CLC* es de 25 Ha y que parcelas más pequeñas son incluidas en polígonos etiquetados con la cobertura dominante, y si no existe una clase dominante el polígono se etiqueta como “heterogéneo”, lo que ocurre en un 17.7% de la superficie nacional (clase 24 al nivel 2). Esto hace que la superficie reportada por el CORINE de 2006, como artificial, sea muy reducida, un 2.0%, y de esta sólo un 1,2% de la superficie es clasificada como zona urbana (clase 11 al nivel 2).

En principio, la única manera de verificar los usos del suelo habría sido contrastar los datos disponibles (capas CORINE y resultados de la digitalización efectuada en este trabajo) con otras fuentes, siquiera de modo parcial, sobre una muestra de las celdas del área de estudio de tamaño suficiente para ser significativa desde el punto de vista estadístico. Esta operación habría sido excesivamente laboriosa, encareciendo el costo de la investigación (en horas/persona) más allá de los recursos disponibles: además, es dudoso que hubiera podido disponerse de fuentes de datos alternativas coetáneas de las utilizadas, sobre todo en los cortes temporales menos recientes.

No obstante, existe una comprobación mínima, relativamente poco gravosa, que si se llevó a cabo sobre las estimaciones generadas, consistente en verificar que la suma de las poblaciones de todas las celdas contenidas en cada una de las unidades espaciales de adquisición de datos (distritos en 1981, secciones censales en 1991, sectores urbanos en 2001) coincida con el dato de población conocido inicialmente para la unidad espacial en cuestión, y que la población total contenida en las superficies desagregadas coincida con la población total del área de estudio conocida como dato.

Las diferencias en los dos valores del número total de habitantes (el que se conoce como dato y el que se obtiene sumando la población desagregada) se deben, si existen, a la ausencia total de suelo registrado como “residencial” en una o varias de las unidades espaciales de agregación de datos espaciales cuya población sea distinta de cero, por errores introducidos en la generación de los datos de usos del suelo.

Realizada la comprobación descrita en las estimaciones de los distintos cortes temporales, resultó ser correcta para los resultados de 1981; en cambio, en 1991 se observó la desaparición de la población de 91 secciones censales, suponiendo un total de 127.840 habitantes. En 2001, se advirtió la pérdida de la población de 882 sectores urbanos, con un total de 237.653 habitantes.

Cotejando las unidades espaciales cuyos datos se han perdido, con las capas de suelo residencial extraídas de los datos Corine para los años de 1991, 2001 y 2006, pudo observarse que en muchas de estas unidades, incluso pobladas, no aparecía suelo residencial alguno. Esto indica la existencia de errores en los datos Corine; para subsanarlos, se procedió a generar capas complementarias de uso residencial para las distintas fechas, a partir de las unidades espaciales perdidas en el proceso y de la

cartografía digital de la Comunidad de Madrid para la escala gráfica de 1:50.000 de fecha aproximada 1995. Las capas complementarias se superpusieron a los datos Corine, obteniendo versiones corregidas de los mismos, con las que se repitió el reparto de la población.

Las etapas de este proceso de corrección fueron las siguientes:

1. Construcción de una capa vectorial con las unidades espaciales perdidas.
2. Construcción de una capa vectorial con los polígonos de uso residencial contenidos en las unidades espaciales perdidas.
3. Conversión a formato raster de la capa vectorial anterior.
4. Fusión de la capa raster anterior con los datos Corine originales, corrigiendo éstos.
5. Repetición del reparto dasimétrico de la población, basándose en los datos corregidos de usos del suelo.

Una vez repetido el reparto dasimétrico para los dos cortes temporales afectados, se efectuó de nuevo la comprobación, confrontando los totales de población contenidos en las capas desagregadas con los datos conocidos. Pudo observarse una notable mejoría de los resultados de 1991, cuyo déficit de habitantes se redujo a 3.716 desde los 127.840 de la primera estimación; la distribución de 2001 y 2006 también mejoraron, pero en mucha menor cuantía, pues el déficit final de habitantes fue superior, en un error relativo del 2 %.

Distribución de Población en el Área Metropolitana de Granada

Para la estimación desagregada de la Población del Área Metropolitana de Granada, se siguió un proceso de desagregación dasimétrica idéntico al utilizado en la Comunidad de Madrid, sobre los datos que a continuación se detallan:

Datos de población:

- Por distritos para el corte temporal de 1981; por secciones censales para los cortes temporales de 1991 y 2001.

Datos de usos del suelo urbano:

- En el caso de la aglomeración urbana de Granada, se han utilizado las imágenes obtenidas por fotografía aérea de los años 1977, 1990 y 1999, digitalizando la misma, y empleando como información demográfica digital la correspondiente a los distritos urbanos del municipio de Granada y municipios de la región del censo de 1981 y las secciones censales de los años 1991 y 2001. La fotografía aérea de 1977 formaba parte de un vuelo a

escala 1:18.000, realizado por el Ministerio de Agricultura en dicha fecha, mientras que los correspondientes a 1990 y 1999 procedían del Mapa digital de Andalucía, comercializado por el ICA, a escala 1: 10.000.

Los usos de suelo residencial considerados y los pesos que se les asignaron para el reparto dasimétrico de la población se recogen en la tabla 7.

Tabla 7. Usos del suelo residencial y pesos asignados a los mismos en el Área Metropolitana de Granada, para los tres cortes temporales (1981, 1991 y 2001).

Uso del suelo	Densidad residencial (viviendas/Ha)	Peso asignado
Residencial alta densidad	65 a 70	2
Residencial baja densidad	25 a 35	1
Cualquier otro uso	0	0

Los resultados obtenidos de la desagregación son los correspondientes a las figuras 19, 20 y 21.

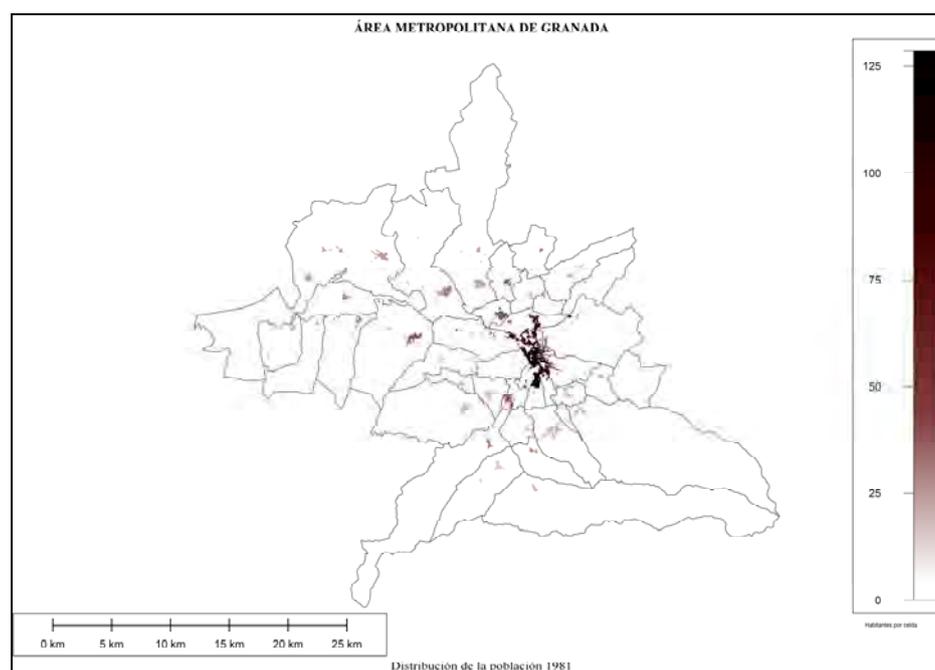


Figura 19. Distribución de población (habitantes por celda de la cuadrícula de referencia) en el Área Metropolitana de Granada en 1981

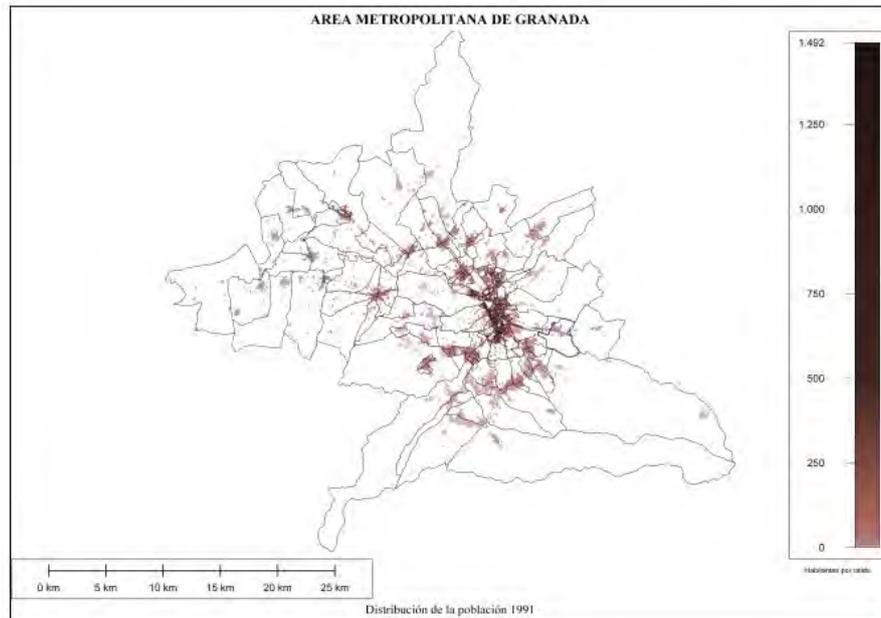


Figura 20. Distribución de población (habitantes por celda de la cuadrícula de referencia) en el Área Metropolitana de Granada en 1991

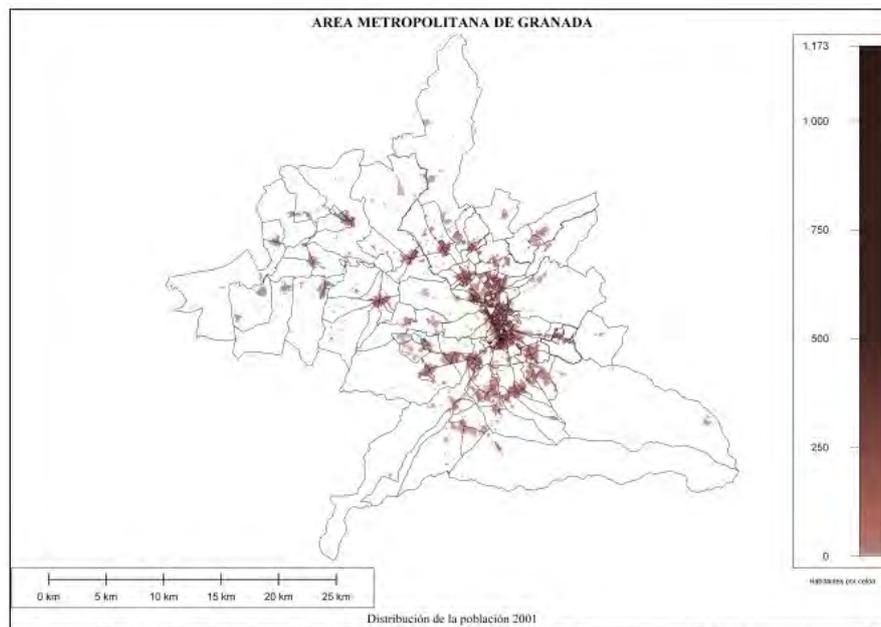


Figura 21. Distribución de población (habitantes por celda de la cuadrícula de referencia) en el Área Metropolitana de Granada en 2001.

Verificación y resultados

Las estimaciones de población desagregada se sometieron a unas operaciones de verificación idénticas a las que se han descrito para la Comunidad de Madrid, sin que fuera preciso en este caso introducir correcciones.

4. METODOLOGÍAS DE MEDIDA DE LA DISPERSIÓN, EN EL MODELO DE LA CIUDAD ACTUAL

Con objeto de juzgar el grado de acercamiento al patrón de la ciudad dispersa, comparando los diversos momentos de la evolución en el tiempo, hemos definido una metodología cuantitativa que permite expresar los aspectos fundamentales de la estructura urbana de cada una de las dos áreas metropolitanas de Madrid y Granada. Mostramos, a continuación, alguno de los principales procedimientos de trabajo que hemos aplicado a nuestra investigación.

4. 1. Medición de la estructura urbana dispersa y su evolución en el tiempo

4. 1. 1. Caracterización del patrón de crecimiento de la ciudad, de acuerdo al modelo de ciudad dispersa

Tuvimos ocasión de exponer, en el capítulo introductorio, que en los últimos años, el modelo territorial de los países más desarrollados, por motivo de los recientes procesos de innovación tecnológica, la universalización del acceso del automóvil y el abaratamiento del coste del transporte, ha sufrido una evolución muy importante, pasando de un modelo urbano de áreas más compactas, propio de las áreas metropolitanas clásicas, a un modelo de ciudad difusa. Entre los términos propuestos, el más aceptado, sin duda, es el de “urban sprawl” o “ciudad dispersa” que se refiere a una realidad incontestable en la mayoría de las aglomeraciones urbanas occidentales.

En la construcción del espacio de la ciudad dispersa, desde un punto de vista físico y urbanístico, se detectarían los siguientes rasgos:

1. Un *creciente consumo de suelo, sin un paralelo crecimiento demográfico* que lo justifique;
2. La *descentralización progresiva de amplios sectores terciarios* (oficinas, comercio, etc.), que se ha producido a la par que la creación de centros periféricos alternativos;
3. La constitución de *estructuras policéntricas*, reticuladas o malladas, ha superado las antiguas estructuras metropolitanas monocéntricas o con un núcleo principal. El modelo policéntrico generado es indisociable de la transformación de los antiguos esquemas viarios radiales, focalizados en un centro único, con conexiones tangenciales muy débiles, a los esquemas radiocéntricos y, progresivamente, a las mallas viarias reticuladas;
4. La suburbanización residencial está teniendo lugar con claro *predominio de las bajas densidades y la vivienda unifamiliar*;

5. La *descentralización de la actividad industrial* ha generado un proceso de dispersión y deslocalización de las empresas dedicadas a la transformación de bienes. Esta realidad se ha verificado, de forma paralela, a la existencia en el interior de la ciudad de un tejido industrial altamente tecnificado que busca localizaciones más centralizadas.
6. Finalmente, esta transformación de la estructura urbana periférica se ha producido de manera *fragmentada en el territorio*, donde las diversas piezas que integran el mosaico urbano aparecen como áreas de contrastada funcionalidad, sin una zonificación clara respecto a un modelo global bien definido.

En general, admitiendo los rasgos del modelo descrito, podemos convenir que estamos asistiendo a un proceso de cambio, desde la aglomeración urbana a la red urbana, en el que la centralidad, antes localizada en el espacios más concentrados, se distribuye de forma individual y fragmentaria, merced a las nuevas infraestructuras que amplían la ocupación del espacio en un territorio cada vez más autoorganizativo e interdependiente.

Antonio Font (1997) define, en una obra de gran interés sobre el tema, las nuevas tendencias existentes en la construcción de la ciudad de Barcelona, que podrían servir de base para definir los rasgos del cambio de la estructura metropolitana clásica al modelo de ciudad dispersa en nuestro país. De forma sintética, los procesos contemporáneos que podrían adivinarse en las nuevas morfologías urbanas de la ciudad actual se podrían agrupar en cuatro grandes apartados:

- La expansión del núcleo central y de los núcleos históricos de la región metropolitana, con caracteres de continuidad espacial y promiscuidad de usos (residencial, industrial, servicios, etc.), resultado de los procesos de extensión y densificación de las mallas existentes y que fueron característicos hasta principios de los años setenta del pasado siglo. Este crecimiento se estaría produciendo en mancha de aceite, conurbando los asentamientos más próximos, siguiendo la tendencia dominante de las ciudades mediterráneas o sureuropeas.
- Las transformaciones por sustitución o reforma o por reutilización de los vacíos existentes, principalmente en la ciudad central, pero con un amplio eco en los núcleos principales metropolitanos, sobre todo desde la llegada de las administraciones democráticas.
- Los nuevos emplazamientos o lugares de las actividades de la innovación o de la centralidad dispersa, en enclaves de alta accesibilidad o exposición visual, o a lo largo de los elementos principales de la infraestructura vial y del transporte público. Podrían contemplarse las grandes superficies comerciales, los grandes equipamientos y dotaciones (hospitales, universidades, etc.), las sedes

representativas de las principales empresas del sector servicios o de la producción, junto a los nuevos espacios productivos innovadores (parques de actividad, tecnológicos, etc.).

- Las formas del crecimiento disperso, fundamentalmente la edificación aislada de la segunda residencia, que consume importantes superficies de territorio, gracias a la accesibilidad de la nueva red viaria construida.

En el intento de individualizar los modos o mecanismos de la transformación reciente, dicho autor deduce la existencia de los siguientes elementos a considerar

- *Aglomerados*: Asentamientos urbanos cuya característica principal es la continuidad de sus tramas, su relativa densidad y la mezcla de usos, de formación histórica o reciente, que albergan los servicios y las actividades que se identifican con la centralidad. Serían los «nuevos y viejos lugares centrales que en nuestro caso se corresponden con la ciudad central, encerrada ahora por las Rondas, y las polaridades metropolitanas que suponen las ciudades «maduras» y «recientes
- *Extensiones* de las tramas urbanas de los anteriores por prolongación de sus mallas viarias, generalmente de carácter más monofuncional (residencia, industria), y que por su relativa posición central están también sometidas a procesos recientes de densificación y transformación
- *Hilos o filamentos*: Formaciones lineales a lo largo de infraestructuras viarias históricas (carreteras o caminos) o a lo largo de elementos geográficos singulares (ríos, elementos orográficos, etc.). En su evolución, producen la soldadura entre asentamientos próximos y dan lugar a sistemas urbanos conurbados
- *Desagregados*: Asentamientos en forma arbórea o en paquetes más o menos cerrados sobre topografías diversas, de carácter predominantemente residencial, aunque sean frecuentes también con el uso industrial y de almacenamiento en la segunda y tercera coronas metropolitanas
- *Asentamientos dispersos*: Como resultado de la ocupación individualizada del territorio rústico, según una lógica autoorganizativa y sin las características de marginalidad o de autoconstrucción que fueron significativas en épocas anteriores
- *Elementos arteriales*: Fibras o canales de comunicación o movilidad, que representan fundamentalmente las infraestructuras viarias y de transporte, y las

de los sistemas energético y de telecomunicaciones, cada vez más relevantes para la organización territorial

- *Enclaves o nodos*: Edificios o agrupación de edificios e instalaciones, situados en puntos estratégicos del territorio (enlaces de autopistas, intercambiadores de transporte, etc.), de máxima accesibilidad y/o significación metropolitana. Son los «nuevos lugares centrales

Si nos centramos en el crecimiento del tejido residencial de las aglomeraciones urbanas actuales, podríamos identificar, de forma sintética, los distintos patrones de desarrollo urbano que a continuación se describen:

1. En primer lugar, uno de los principios básicos que guían el crecimiento residencial de una ciudad es el aprovechamiento de los recursos ya existentes. Es evidente que el desarrollo de la actividad residencial resulta mucho más económica si se continúa el modelo de asentamientos ya establecido. Este hecho explicaría el crecimiento en mancha de aceite, como expansión del tejido urbano preexistente.
2. Otra forma o patrón de crecimiento residencial estaría relacionado con la mejora de accesibilidad, que pasa por facilitar las interacciones entre diferentes lugares, algunos distantes entre sí, posibilitando la difusión en el territorio. Esta difusión territorial de la accesibilidad se realiza de forma discreta; es decir, se genera la estructura de collar de perla, aprovechando los nodos de conexión o simplemente en la proximidad de la red viaria.
3. Finalmente, derivado de otros factores relacionados con la elección por parte de las clases medias por un nuevo modelo de vida suburbano, las periferias metropolitanas más recientes se caracterizan por las bajas densidades (netas) residenciales, asociadas a esas tipologías de edificación cada vez más dominantes de viviendas unifamiliares y complejos residenciales de poca altura, con amplios espacios abiertos y equipamientos intersticiales (zonas ajardinadas, piscinas, pistas deportivas). Pero, además, las áreas residenciales se sitúan de forma discontinua, dejando espacios intersticiales entre sí, de lo que resulta un paisaje fragmentado y disperso. Las tipologías de viviendas unifamiliares, el predominio de las bajas densidades netas en las áreas residenciales y el esponjamiento de este tejido suburbano tienen el efecto conjunto de producir un territorio en el que también las bajas densidades brutas de población son su nota distintiva (Gutiérrez Puebla y García Palomares, 2007)

Simplificando, el desarrollo urbano disperso se realiza, generalmente, de acuerdo a estos tres patrones básicos de unión de las celdas representativas del desarrollo urbano disperso: 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) (Harvey and Clark, 1971) (figura 22).

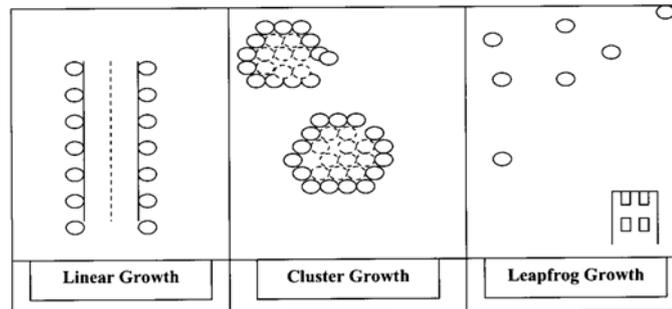


Figura 22. Principales patrones del crecimiento urbano disperso (Harvey and Clark, 1971).

Este planteamiento nos permite la posibilidad de diseñar una metodología de identificación de los nuevos patrones de crecimiento urbano en una ciudad concreta. En nuestro caso, se trataría de analizar, comparativamente, la evolución sufrida por las aglomeraciones urbanas de Madrid y Granada durante los periodos de tiempo transcurridos entre 1981-1991, 1991-2001 y 2001-2006. El primer paso del análisis del desarrollo urbano debería realizarse, identificando, en primer lugar, los píxeles en donde habrían habido cambios (fundamentalmente de suelo no urbano a suelo urbano; en sentido inverso es muy raro que tal circunstancia se produzca) y tratando de agrupar estas zonas de crecimiento, asimilándolas de acuerdo a algún patrón que facilite la descripción.

Esta forma habitual de agruparse las nuevas celdas generadas por el crecimiento de la ciudad permite referirse a diversos tipos de unidades estructurales en el conjunto urbano. Así, tendríamos la posibilidad de un desarrollo urbano compacto monocéntrico, o policéntrico, a otro de tipo lineal a otro más o menos disperso (figura 23).

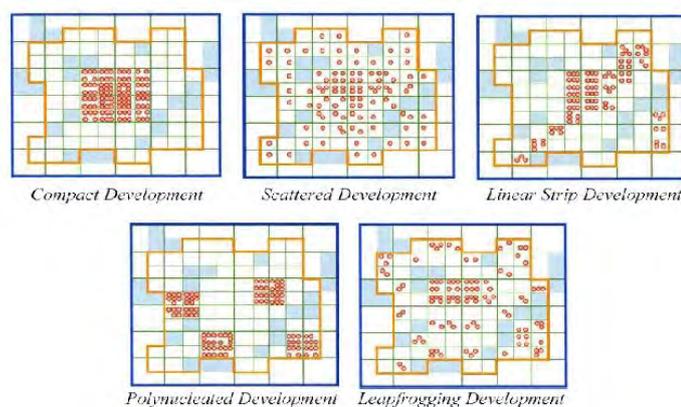


Figura 23. Formas más habituales del crecimiento urbano disperso

Esta forma de actuar podría permitirnos extraer una serie de unidades estructurales, tratando de asimilar el nuevo crecimiento urbano a las unidades

estructurales ya existentes o a otras nuevas de reciente creación. Para ello, se debería aplicar una metodología de medición sobre la contigüidad a otros píxeles ya existentes. Así podríamos definir:

- El *núcleo urbano fundamental*, integrado por las celdas de este núcleo y las que se añadieran por contigüidad (que en un entorno o radio determinado existieran un porcentaje de píxeles urbanizados).
- Los *núcleos urbanos secundarios*, integrados por las celdas de estos núcleos y las que se añadieran por contigüidad (que en un entorno o radio determinado existieran un porcentaje de píxeles urbanizados).
- El *desarrollo urbano lineal*, caracterizado por el nuevo crecimiento, cuyo porcentaje en la proximidad de las vías básicas de tráfico superaran un determinado umbral previamente fijado.
- El *desarrollo urbano disperso*, caracterizado por el nuevo crecimiento cuyo porcentaje en la proximidad de otros píxeles ya existentes no superaran un determinado umbral previamente fijado.

4. 1. 2. Medición del gradiente de densidad de la ocupación del suelo con la distancia al centro urbano

Desde el punto de vista de la Geografía Urbana, el referente clásico para el estudio de las variaciones espaciales intraurbanas de densidad de población es el conjunto de trabajos desarrollados por Colin Clark en los años cincuenta del pasado siglo. Clark (1950) sugirió, con notable lucidez, que la densidad de población urbana declinaba exponencialmente conforme se incrementaba la distancia respecto al centro de la ciudad. La llamada Ley de la Variación Espacial de Densidades Urbanas ha estimulado, desde entonces, numerosos análisis empíricos y múltiples elaboraciones teóricas y metodológicas (Garrocho, 1996).

El uso de esta metodología ha llevado a comprobar que el modelo de la disminución de la densidad poblacional con la distancia se cumple en gran parte de las ciudades donde la misma ha sido aplicada (Jordon, Ross y Usowski, 1998; Mills, 1970). Este comportamiento puede, incluso, ser generalizado a la variación del gradiente de una ciudad a través del tiempo, lo cual permite afirmar que el hecho en sí posee un carácter más universal.

Esta variación temporal del gradiente de densidad llevó a Newling (1978) a proponer la existencia de cuatro etapas en la evolución de la densidad de población intraurbana (figura 24). En la primera etapa, cuando la ciudad es joven, el centro experimentaría incrementos sostenidos en su densidad, aumento de su gradiente y un

patrón espacial altamente diferenciado. En la segunda etapa, de madurez, se alcanzaría un máximo de densidad en el centro de la ciudad y su gradiente sería, también, máximo. Durante la tercera fase, de madurez postrera, se registraría una disminución en el centro de la ciudad, que concluiría, en la cuarta fase, cuando la ciudad es vieja, en que el máximo de la densidad se aleja del centro.

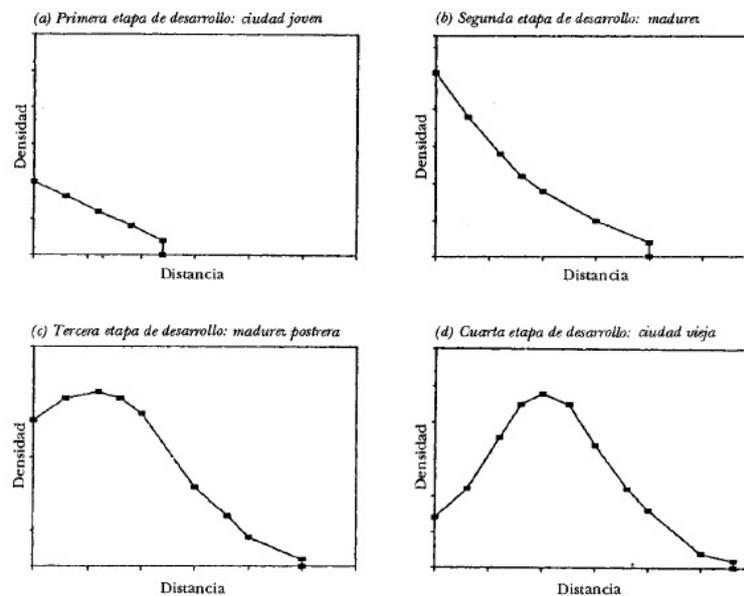


Figura 24. Evolución del gradiente de densidad de una ciudad a lo largo del tiempo (Newling, 1978).

Este modelo de dispersión urbano puede aplicarse a las ciudades actuales que han experimentado recientemente una acentuada fase de expansión urbana. El crecimiento urbano consecuente se ha caracterizado por una disminución de la concentración de la población en el área urbana central y la expansión de la misma hacia la periferia. Es, por ello, que parece apropiado aplicar el modelo de la disminución de gradiente poblacional, con objeto de medir la estructura urbana de una ciudad y su variación a través del tiempo.

A causa de la importancia de tales gradientes, en todas las escalas geográficas, se ha intentado definir la forma de esta relación, mediante numerosas formalizaciones matemáticas. La idea subyacente es la de definir una repartición espacial de la variable (en este caso, la población), como una función de la distancia que separa a los lugares de implantación del centro o el eje que se tome como referencia. La elección de la función de interacción debe tener en consideración las especificidades espaciales del fenómeno al cual corresponde la distribución espacial. Para formalizar esta disminución de la interacción con la distancia, se han analizado diferentes funciones.

Normalmente, se asume que la densidad de población (o su logaritmo) sigue una función potencial con la distancia:

$$Población = \alpha * distancia^{\beta}$$

o puesto de otra manera

$$\log(Población) = \alpha + \beta * distancia + \varepsilon$$

donde α es una constante, β es el valor estimado del gradiente de densidad y ε es el error o diferencia de ajuste a la ecuación de regresión. El valor de la densidad se expresa habitantes por unidad de superficie (Ha) y la distancia en unidades de longitud (Kilómetro).

Otra función igualmente aplicable es la función exponencial:

$$Población = \alpha e^{\beta * distancia}$$

O la función logarítmica:

$$Población = \alpha + \beta \ln distancia$$

De esta manera, tal como puede observarse en la figura 25, se podría comparar, para dos o más momentos distintos en el tiempo, la variación de la densidad de población de acuerdo a la distancia al centro urbano principal de la ciudad.

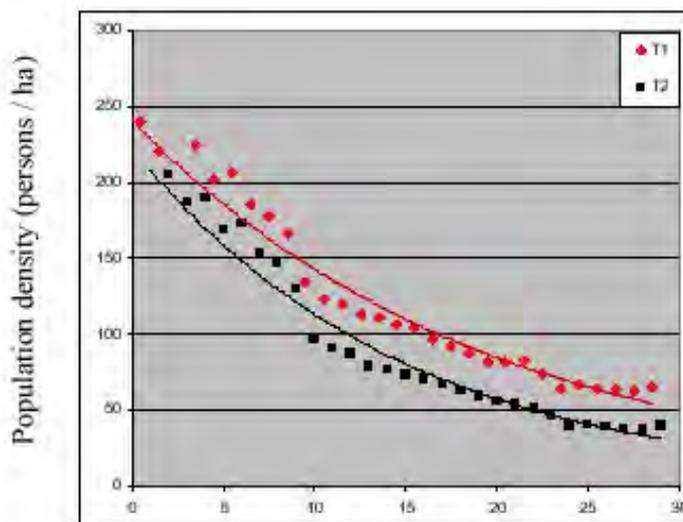


Figura 25. Gradiente de la densidad de la población de acuerdo a la distancia al centro urbano.

La aplicación del modelo del gradiente de densidad puede ser realizado para poner de manifiesto otras regularidades espaciales respecto a otros elementos estructurantes de la ciudad. La discusión actual se centra en conocer si las áreas

metropolitanas en crecimiento mantienen los clásicos modelos monocéntricos o tienden a modelos híbridos o absolutamente policéntricos. En este sentido, se ha mencionado que en las ciudades pequeñas el modelo monocéntrico puede constituir una buena aproximación, pero el modelo teórico de referencia actualmente ha pasado a ser el policéntrico, más aún cuando se ha asociado a la dispersión del crecimiento urbano.

Existen trabajos recientes, de naturaleza cuantitativa (García-López y Muñiz, 2005), donde el policentrismo se incluye como una de las dimensiones de la dispersión. Significa ello que el fenómeno de la dispersión en el territorio habría tenido lugar en fases, de manera, que al gradiente de dispersión más puro del CBD de una ciudad, se sobrepondría la estructura policéntrica, para originar nuevos gradientes a considerar con el anterior (figura 26).

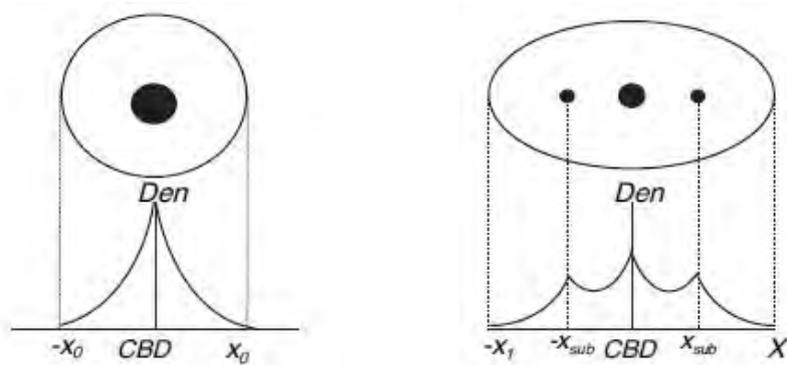


Figura 26. Gradiente de densidad puro, desde el CBD de la aglomeración urbana, y variación del mismo gradiente una vez superpuestos los subcentros (García-López y Muñiz, 2005).

En consecuencia, esta metodología podría aplicarse, igualmente, al desarrollo urbano respecto a los centros secundarios metropolitanos existentes en la ciudad, con objeto de comprobar, además de la estructura general de la ciudad, la estructura del desarrollo urbano parcial en cada uno de los municipios más importantes de la región. Y, más allá, a la comprobación de la densidad poblacional respecto a otros elementos que estructuran el territorio, como las carreteras, los nodos principales de la red viaria o los principales servicios ubicados en la ciudad.

De igual manera, podría realizarse un estudio, analizando el desarrollo urbano por sectores. Este tipo de análisis estaría más que justificado en el caso de Madrid, ya que en determinados sectores (zona norte y sobre todo oeste) el desarrollo disperso ha tenido una presencia muy superior al resto.

El concepto de gradiente de densidad y el modelo teórico que lo sustenta han sufrido numerosas críticas, pero como muy bien escribía Muth (1969), "un patrón exponencial negativo de densidades brutas de la población en relación a la distancia es

tan buena aproximación a los patrones reales como cualquier otra". La literatura empírica resumida por McDonald, veinte años después, confirma esta convicción, si bien reconoce la debilidad de algunos de sus supuestos y subraya el impacto de importantes cambios en la estructura productiva de las ciudades, los costes de recolección de información y proceso para las distintas actividades o los cambios en la composición de los hogares, sobre la distribución espacial de la población y el patrón observado de la densidad.

El modelo del gradiente urbano negativo con la distancia podría ser utilizado con otro tipo de información. Así, se podrían obtener una serie de índices, que permitirían comparar la evolución de la estructura de la ciudad, exponiendo, en tablas distintas, los valores resultantes correspondientes a las coronas circulares, de 10 en 10 km (o de 5 en 5 km), a partir del centro. Los índices a comparar podrían ser:

- Porcentaje de espacio total construido respecto al total.
- Porcentaje del crecimiento del área de nueva urbanización respecto al total.
- Porcentaje del área residencial edificada respecto al total.
- Porcentaje del crecimiento del área residencial edificada respecto al total.
- Densidad de población.
- Cambio de la densidad de población.
- Superficie edificada por persona residente.

4. 1. 3. Medición del cambio de usos del suelo

El territorio de las grandes áreas metropolitanas occidentales está sufriendo una modificación notable de las ocupaciones del suelo, debido a que la expansión urbana es uno de los hechos que ha influido de manera decisiva en los cambios de usos del suelo registrados en las últimas décadas en todo el mundo y, por ende, en las aglomeraciones urbanas españolas (Barredo *et al.*, 2003; OSE, 2006). La descripción detallada de este proceso es un paso esencial para su entendimiento, su explicación, en base a muy diversos tipos de factores (Plata y otros, 2009) y a su control mediante alguna forma de ordenación del territorio (Gómez y Barredo, 2005).

En general, el estudio de la dinámica de cambio de los usos del suelo se basa en el análisis del cruce de categorías de dos imágenes temporales diferentes. Si las dos imágenes disponen de idénticas categorías, es posible obtener una matriz de transición que reúna en las filas a las categorías de la primera fecha y en las columnas las de la segunda fecha, indicando el contenido de cada celda la superficie de los cambios o de la estabilidad detectada. Las casillas de la diagonal principal muestran la estabilidad de las situaciones entre las dos fechas o estados; es decir, el no cambio. Las casillas fuera de la diagonal muestran el cambio espacial ocurrido entre los dos estados, justamente el

aspecto que se desea medir. Todos estos datos permiten estimar la persistencia, el cambio neto, las pérdidas, las ganancias, el intercambio en cada categoría y el cambio total.

		Tiempo 2						
	1	2	3	4	5	6	7	
1	Tiempo 1	Clase 1	Clase 2	.....	Clase n	Suma T ₁	Perdidas
2	Clase 1	P ₁₁	P ₁₂	.....	P _{1n}	P ₁₊	P ₁₊ - P _{ij}
3	Clase 2	P ₂₁	P ₂₂	.....	P _{2n}	P ₂₊	P ₂₊ - P _{ij}
4	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
5	Clase n	P _{n1}	P _{n2}	.....	P _{nn}	P _{n+}	P _{n+} - P _{ij}
6	Suma T ₂	P ₊₁	P ₊₂	.....	P _{+n}	P	
7	Ganancias	P ₊₁ - P _{ij}	P ₊₂ - P _{ij}	.....	P _{+n} - P _{ij}		

Figura 27. Matriz de tabulación cruzada para dos mapas de distinta fecha (Pontius et al., 2004),

Para cada categoría sería posible, por tanto, identificar la magnitud de las pérdidas (y su transformación en nuevos usos del suelo) y ganancias (a partir de otros usos del suelo primitivos) (figura 28).

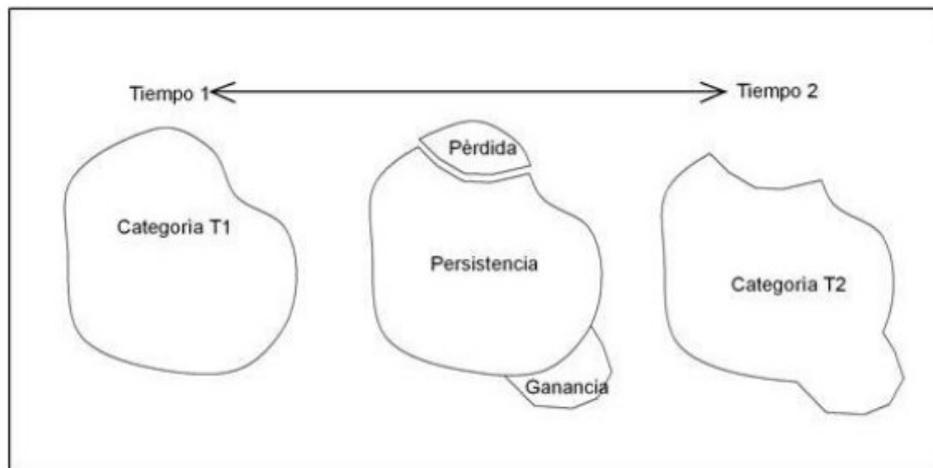


Figura 28. Transformación de una categoría de uso del suelo entre dos momentos diferentes en el tiempo (Plata Rocha, Gómez Delgado y Bosque Sendra, 2009).

El estudio de este fenómeno se ve favorecido si se dispone de la información digital en formato raster. La solución más sencilla que ofrecen los SIG raster al respecto es tratar al tiempo como una nueva dimensión cartográfica a añadir a las dos tradicionalmente consideradas en los mapas. Esta dimensión se superpondría, de manera independiente, a las anteriores. De esta manera, el mapa espacio-temporal, que el SIG representa de manera digital, presenta tres dimensiones independientes (dos espaciales y una temporal), cada una de las cuales ofrecería un nuevo valor para localizar la posición de un fenómeno; en este caso, la localización espacio-temporal del hecho en cuestión (Sancho et al., 1993). En este contexto, podemos considerar que el modelo de la

secuencia de mapas (Langran, 1992) es la concepción del tiempo más adaptada a su tratamiento en un SIG. Así, cada estado de los hechos geográficos se representaría como un mapa o estrato temático de la base de datos (figura 29). El cruce de las categorías de dos imágenes temporales diferentes permitiría cuantificar, para el conjunto del total de las celdas, los cambios de uso del suelo acaecidos. El procedimiento usualmente recomendado para estudiar el cambio espacial en esta concreta situación es la denominada tabulación cruzada e intersección de los dos mapas. Una precaución importante, que facilita en gran medida la interpretación de los resultados, es que ambos mapas/estratos de la base de datos del SIG raster, tengan la misma o parecida leyenda.

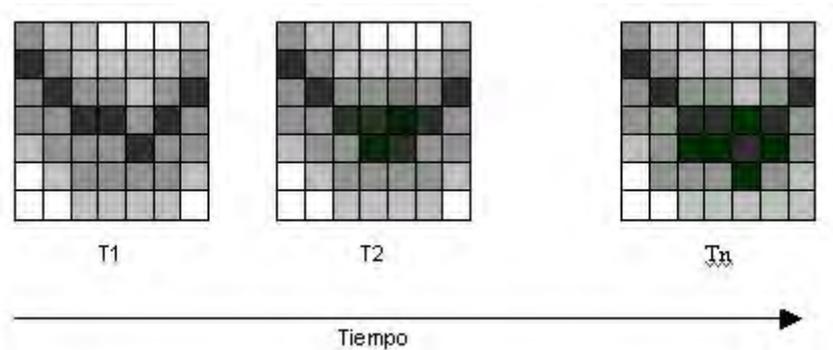


Figura 29. Modificación de una estructura espacial raster a lo largo del tiempo.

4. 1. 4. Medición de la estructura del suelo ocupado mediante índices

Una de las formas de medir el grado de dispersión de una ciudad es el de analizar el grado de compacidad o fragmentación del territorio, mediante un conjunto de índices o indicadores capaces de concretar la forma y relación de las manchas urbanizadas existentes en el mismo. Se entiende por indicador aquella medida que resume la información sobre una cuestión en particular, pudiendo mostrar tendencias generales de manera cuantificada. Existen diversos indicadores de análisis urbano que permiten definir algunas de las características inherentes a los modelos de ciudad: morfológicas, ambientales, demográficas, funcionales, sociales, económicas, de movilidad, comunicación, densidades y superficies, usos, aglomeración, entre otras.

Este planteamiento enlaza con la visión desarrollada desde la ecología del paisaje que se fundamenta en una aproximación de carácter estructural-morfológica y a la vez funcional. Desde el mismo, se analizan las características estructurales y morfológicas de un territorio en un momento determinado y/o su evolución a lo largo del tiempo, infiriendo a la vez en su incidencia a nivel de funcionalidad ecológica (Vila Subirós et al., 2006). El elemento básico para la interpretación del paisaje sería el mosaico, y estaría compuesto por *fragmentos* como diferentes unidades morfológicas

que se pueden diferenciar en el territorio y *corredores* o conexiones existentes entre unos fragmentos y otros.

Los resultados de la aplicación de métodos cuantitativos en ecología del paisaje se agrupan en los denominados «índices de paisaje». Este tipo de índices aportan interesantes datos numéricos sobre la composición y la configuración de los paisajes, la proporción de cada cubierta del suelo o la superficie y la forma de los elementos del mismo. Además, los índices de paisaje permiten una útil e interesante comparación entre distintas configuraciones paisajísticas, la misma área en distintos momentos temporales o la definición de escenarios futuros (Gustafson, 1998).

Los métodos cuantitativos en ecología del paisaje son aplicables a un triple nivel:

- a) A nivel de fragmento individual (*patch level*). Los cálculos se aplican a cada fragmento de forma aislada. Es el nivel adecuado, por ejemplo, para determinar cual es el fragmento de mayor superficie entre todos los representados, su forma, etc.
- b) A nivel de clase (*class level*). Los cálculos se aplican a cada conjunto de fragmentos de la misma clase, es decir, a aquellos que tienen el mismo valor o que representan el mismo tipo de uso del suelo, hábitat, etc. Es el nivel apropiado para calcular cual es la superficie que ocupa una determinada cobertura del suelo, como podrían ser los bosques, o cual es la extensión media ocupada por los fragmentos de bosque.
- c) A nivel de paisaje (*landscape level*). Los cálculos se aplican al conjunto del paisaje, es decir, a todos los fragmentos y clases a la vez. El resultado nos informa del grado de heterogeneidad o de homogeneidad del conjunto del área que se ha cuantificado.

Centrándonos en el estudio de la estructura y morfología urbana de un territorio y su posible acercamiento al modelo disperso, un primer grupo de índices o indicadores a emplear, perteneciente a la conjunción de los dos primeros niveles, es el relativo al consumo de suelo de cada una de las categorías citadas. Se trataría, mediante el mismo, de identificar en qué medida los suelos artificiales se encuentran ligados a los núcleos urbanos. Para ello, se podrían elaborar distintos indicadores que establecieran el peso relativo de cada uno de los distintos usos sobre el total del suelo artificial. El análisis se podría completar, estudiando cómo ha evolucionado la localización de los distintos usos. El primero de los indicadores, *peso relativo del suelo urbano*, establece el cociente entre la superficie destinada a zonas urbanas y la superficie de suelo artificial. De manera similar, el resto de los indicadores analizarían el peso relativo del suelo industrial y comercial, del suelo de infraestructuras, de los usos extractivos y de vertido

y suelo en construcción, y por último del suelo verde y recreativo. Estos índices podrían establecerse por habitante, lo que daría una idea superior de la ocupación del suelo.

En esta misma línea, Galster et al., (2001) emplearon, con objeto de describir la estructura y morfología de los usos urbanos de un espacio geográfico concreto, un conjunto de diversas variables: densidad, continuidad, concentración, centralidad y diversidad. En el caso de analizar el tejido residencial urbano, la *densidad* pertenecería al primero de los niveles citados de medición cuantitativa del paisaje y serviría para establecer la relación existente entre el volumen de población y la superficie ocupada. La disponibilidad de información demográfica hace posible diferenciar, con mayor exactitud, las áreas de mayor densidad respecto a las de densidad inferior, pudiendo obtenerse, mediante diferentes indicadores la relación existente entre las zonas de alta y baja densidad o el porcentaje de tejido de baja densidad respecto al total existente.

Otra importante medida de la aproximación al modelo urbano disperso es la *continuidad* o grado en el que el nuevo desarrollo urbano es contiguo o discontinuo. Supondría ya una forma de medir la relación mutua de los fragmentos entre sí. La forma tradicional de ocupación del suelo en las ciudades españolas ha sido la de la ciudad compacta, en la que el patrón de crecimiento urbano se producía en mancha de aceite, generándose el nuevo tejido urbano de manera continua con el ya existente. En el modelo disperso, la configuración del espacio urbano se ha visto modificada, como consecuencia de la creación de un nuevo tejido urbano a una cierta distancia sin solución de continuidad. La medición de este fenómeno podría realizarse a partir de evaluar la distancia de las nuevas celdas relativas a la expansión del suelo urbano respecto al tejido ya consolidado.

Por su parte, la *concentración* o en su caso la *fragmentación* (como propiedad opuesta) miden la proporción de nuevo tejido urbano concentrado en un área reducida. El crecimiento reciente de los sistemas urbanos ha abandonado plenamente el paradigma de crecimiento por continuidad para generar un nuevo modelo de ocupación del territorio, caracterizado, además de por la baja densidad (mayor consumo de suelo por hogar o lugar de trabajo), por la existencia de importantes intersticios no urbanizados. La conjunción de estas características configura lo que podría llamarse la ciudad fragmentada. Esta fragmentación podría entenderse desde diferentes dimensiones o posicionamientos. En primer lugar, la fragmentación física supone la ruptura de los tejidos edificados y de los sistemas de espacios de comunicación, frecuentemente interrumpidos por barreras arquitectónicas de tipo natural y artificial. En segundo lugar, la social, en tanto los espacios de interacción presencial, como los espacios públicos, han sido sustituidos por otros contenedores (como los centros comerciales), o han perecido porque la baja densidad del tejido edificado los hace poco operativos. En tercer lugar, la ambiental, porque la aparición de urbanizaciones, áreas urbanizadas e infraestructuras ha irrumpido en el funcionamiento sistémico de los espacios naturales y agrícolas.

La fragmentación física, entendida en términos físico-relacionales, puede ser definida “como la tendencia de la estructura de la ciudad hacia una pérdida de la coherencia y de cohesión del todo a causa de una disociación de las partes de que la componen” (Vidal Rojas, 1997). Este hecho, que se relaciona con las discontinuidades espaciales del proceso de expansión urbana más reciente, ha supuesto un proceso de deconstrucción del conjunto urbano que conlleva la singularización de áreas y su separación del continuo de la ciudad.

Por su parte, la *centralidad* indicaría el grado en el que el nuevo desarrollo urbano está próximo a las zonas más centrales. El sistema espacial urbano puede ser entendido, preliminarmente, como un conjunto de unidades espaciales discretas, distribuidas de manera jerárquica por el espacio, que concentran unas determinadas funciones que les confieren la capacidad de organizar el territorio. Es bien conocido que el modelo urbano disperso ha generado un sistema polícéntrico que ha supuesto la descentralización de funciones (como el comercio) antes centralizados en el CBD de la ciudad. La medición de la relación de accesibilidad del nuevo tejido urbano generado respecto a estos nodos constituye sin duda una buena referencia de la estructura del modelo urbano actual.

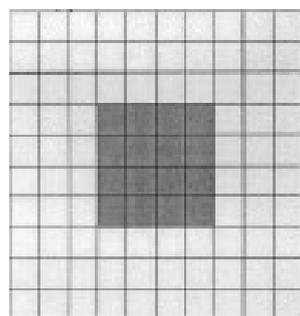
Finalmente, la *diversidad* se refiere a una característica fundamental y definitoria de los asentamientos urbanos, relativa a la heterogeneidad y mezcla de usos del suelo y contraria a la especialización. En general, el índice de diversidad urbana muestra el grado de madurez y centralidad de cada territorio. Las áreas con los valores más elevados constituyen los polos de mayor atracción ciudadana: espacios de estancia, equipamientos culturales, equipamientos educativos, actividades comerciales, etc. y suponen una mayor mezcla de áreas de residencia y empleo en una zona determinada.

El acercamiento al modelo urbano disperso debe abundar en la consideración de que los índices empleados reflejen una realidad acorde con las cinco dimensiones que exponemos a continuación (Muñiz et al., 2006):

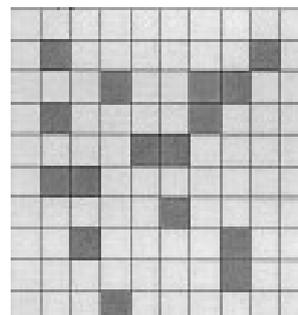
- a) *Baja densidad*. La mayoría de trabajos consultados asocian el crecimiento urbano disperso a la aparición de áreas periféricas residenciales poco densas con un importante peso de la vivienda unifamiliar. Este enfoque pone de manifiesto como se ha transformado el primitivo crecimiento de las ciudades en forma de mancha de aceite, con un nuevo modelo basado en las densidades decrecientes a medida que aumenta la distancia al centro urbano.
- b) *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.

- c) *Baja proximidad.* La dispersión no sólo puede suponer un creciente alejamiento del centro, sino también del total de empleos y personas de 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.
- d) *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.
- e) *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.

La utilización de un SIG raster, en el análisis del crecimiento del tejido urbano de una ciudad, facilita el estudio de la evolución de la morfología de la mancha de suelo ocupado, así como la posición relativa de los fragmentos allí representados. En la figura 30, puede observarse, como las celdas, que se suponen han sido afectadas por la expansión urbana, permiten intuir si los nuevos patrones de crecimiento se adecuan más a modelo compacto o a un modelo disperso. La medición de este hecho se completa aún más si en vez de categorías binarias, que diferencien existencia o inexistencia de un uso del suelo determinado (0: ausencia; 1: presencia) dispusiéramos de categorías múltiples que identificaran, tanto el tipo de suelo (industrial, comercial, residencial, etc.) como la intensidad de la ocupación del mismo. En nuestro caso, la disponibilidad de información relativa al volumen de población existente en cada celda nos va a permitir diferenciar en el tejido residencial la ocupación del espacio de acuerdo a la intensidad de la misma.



modelo compacto



modelo disperso

Figura 30. Tipo de modelo de crecimiento urbano, de acuerdo a la estructura y forma de las celdas ocupadas por los usos del suelo de una ciudad.

Existe una gran variedad de software desarrollado con la finalidad de cuantificar las características de la estructura del paisaje. En este sentido, se puede destacar el software Fragstats, creado el año 1995, y desarrollado por el Dr. Kevin McGarigal y Barbara Marks en la Universidad estatal de Oregon. Este software funciona esencialmente en formato raster y es considerado el programa más completo por lo que se refiere a la diversidad y capacidad para desarrollar cálculos métricos. Se trata de un programa de acceso libre disponible en la red (www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html) que ha sido diseñado para computar patrones categóricos de un mapa, constituyendo una interesante herramienta para el cálculo de índices de esta naturaleza.

5. RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS PROPUESTAS EN LAS AGLOMERACIONES URBANAS DE MADRID Y GRANADA

5. 1. Caracterización del patrón de crecimiento de la ciudad, de acuerdo al modelo de ciudad dispersa.

5. 1. 1. Introducción

En los últimos años, el modelo territorial urbano ha experimentado una clara evolución, desde un modelo territorial urbano de áreas más compactas, de centros definidos y carácter autónomo, a un modelo de articulación espacial cada vez más fragmentada y desconectada. Este crecimiento urbano disperso, identificado, en numerosas ocasiones, como sinónimo de un desarrollo no planificado, se ha asimilado en general con la realidad de las periferias de las ciudades estadounidenses, consecuencia del rápido crecimiento del parque automovilístico y la preferencia por casas aisladas con jardín de comienzos del siglo XX. En comparación con la mayor parte de las ciudades norteamericanas, en Europa, las ciudades han sido, tradicionalmente, mucho más compactas, organizadas alrededor de un denso centro de carácter histórico.

Sin embargo, a partir de los años ochenta del pasado siglo, comenzó a manifestarse una cierta tendencia a la dispersión de las ciudades europeas con la aparición de procesos de crecimiento urbano discontinuo, dominados por un paisaje residencial de baja densidad. En un primer momento, los incipientes rasgos de la dispersión urbana se interpretaron como un fenómeno asociado al proceso de *suburbanización* metropolitano. Los investigadores comenzaron a poner el foco de atención en el análisis del binomio *descentralización-dispersión*, como si de una realidad de doble efecto se tratara. Así, tan importante era explicar la presencia de barrios suburbanos de baja densidad como la crisis de los centros urbanos. La principal conclusión de este grupo de trabajos fue que la descentralización y la dispersión asociadas eran el resultado del cambio en la base económica de las ciudades (desindustrialización, terciarización), las políticas de suelo y vivienda y la caída del tamaño medio de los hogares. Esta radiografía de la situación, así como las causas apuntadas, encajaban perfectamente en el marco de análisis de “Ciclo de Vida Urbano” (Muñiz et al, 2006).

En la actualidad, a pesar de la escasa o nula presión demográfica existente en Europa, diversos factores han seguido impulsando la expansión del tejido urbano, más allá de los límites de lo que tradicionalmente conocíamos como ciudad. La dispersión del crecimiento del espacio urbano se ha acelerado en respuesta a la mejora de las conexiones de transporte y al aumento de la movilidad personal. La mejora de la accesibilidad ha propiciado la posibilidad de residir en zonas cada vez más alejadas del centro de las ciudades. Todo ello ha supuesto la existencia de procesos de ocupación del

territorio de carácter disperso, de periurbanización del espacio productivo, los servicios, la nueva residencia, etc., “El relevo de la ciudad central por las coronas metropolitanas en el crecimiento de la población, a partir de los años setenta, y la descentralización de buena parte de la actividad productiva y del terciario no estratégico, ayudada por la creación de una infraestructura viaria de primer orden, han producido en las últimas dos décadas procesos de periurbanización, residencial incluida, que han significado el refuerzo de la estructura polinuclear discontinua, han alargado su ámbito funcional y han comprometido una configuración espacial compleja y heterogénea para el futuro” (Font, A., 1997).

Desde el punto de vista teórico, hay diferentes maneras de conceptualizar el fenómeno del crecimiento disperso de la ciudad. Para algunos autores, dicho crecimiento ha ido asociado a conceptos como el de suburbanización, rururbanización y periurbanización, interpretando el fenómeno como la continuación de una fase más de la expansión metropolitana hacia el exterior, mientras que otros asumen como pertinente su tipificación como un fenómeno totalmente nuevo.

Sea cual sea la interpretación, la generalidad de los recientes procesos de urbanización dispersa (y de consiguiente expansión del fenómeno periurbano) está dando lugar a la aparición de unas periferias urbanas muy diferentes de aquéllas que se habían formado en Europa desde la Revolución Industrial hasta la década de 1960. En el espacio urbano europeo, como se recoge en el amplio informe de la Agencia Europea de Medio Ambiente de 2008, se está experimentando un progresivo fortalecimiento de la importancia de estos nuevos espacios periféricos. En realidad, las dos formas históricas principales de la suburbanización occidental europea (la anglosajona y la mediterránea) están convergiendo en un único modelo, el cual, bajo una diversidad de denominaciones (ciudad dispersa, ciudad difusa, periurbanización, ciudad reticular), presenta, en toda Europa, caracteres comunes e innovadores. En dicho informe, se constata como los densos barrios de la ciudad compacta, tradicionales en el modelo metropolitano anterior, han sido reemplazados por bloques de apartamentos independientes, casas aisladas y casas adosadas. En la mitad de las áreas urbanas estudiadas en el proyecto, más del 90% de las zonas residenciales construidas después de mediados de los años cincuenta eran áreas de baja densidad. Las tendencias hacia nuevos entornos de baja densidad también son evidentes por la cantidad de espacio utilizado por persona en las ciudades europeas durante los últimos 50 años, que ha aumentado más del doble (AEMA, 2008).

Ahora bien, ¿cuáles son los rasgos dominantes de este nuevo tipo de ciudad? Para la mayoría de los autores, la dispersión urbana se caracteriza, fundamentalmente, por el predominio de densidades poblacionales bajas y por la presencia de construcciones de muy diverso tipo, tales como industrias, universidades o centros comerciales, fuertemente vinculadas a infraestructuras viales adecuadas, separados por amplios espacios libres o carentes de edificaciones, en una estructura urbana altamente fragmentada e inconexa. En este sentido, A. Shlomo, a partir de la aportación de diversos autores, define la dispersión “como un patrón de crecimiento urbano y

metropolitano caracterizado por: el carácter ilimitado de su desarrollo hacia fuera, la baja densidad de las viviendas, el desarrollo comercial, la fragmentación del uso de la tierra, la fuerte congestión y contaminación ambiental, la creciente concentración de la pobreza y un sentido de pertenencia a la comunidad cada vez más decreciente entre los residentes en el área” (Shlomo, 2007). En esta definición, se enumeran gran parte de los costes de la dispersión, pero, a la vez, el autor destaca la necesidad de reconocer los beneficios en términos del bienestar de las nuevas periferias urbanas: los residentes de estas áreas de la ciudad se ven favorecidos por la baja densidad, por las facilidades para viajar regularmente del lugar de residencia al lugar de trabajo, por el acceso a los centros comerciales, así como por librarse de algunos problemas asociados a la vida urbana, como la pobreza, los conflictos raciales, etc.

5. 1. 2. Identificación del nuevo desarrollo de la ciudad dispersa

La cuestión de la dispersión urbana constituye hoy un tema de investigación de primera magnitud, alrededor del cual se ha ido concentrando el interés disciplinar y académico de los investigadores. La investigación afronta el tema de las urbanizaciones dispersas de ámbito metropolitano, pretendiendo dar respuesta a diversas cuestiones previas, tales como: ¿qué es la dispersión de los asentamientos urbanos?, ¿cómo se traduce ésta en términos de organización territorial?, ¿existen unos patrones de crecimiento que reflejan la forma en que han venido construyéndose las nuevas periferias de los ámbitos metropolitanos?

La identificación de patrones de crecimiento y ocupación constituye una importante herramienta para estimar y medir el cambio de modelo que ha tenido lugar en los espacios metropolitanos (Font, 2004). El objetivo de esta parte de nuestro proyecto es, precisamente, el de asentar las bases para la definición de una metodología de análisis, aplicable al fenómeno de la dispersión territorial, que nos sirva para medir, en ámbitos urbanos tan diferentes como el Área Metropolitana Madrileña y la aglomeración urbana de Granada, el grado de profundización del mismo. En nuestro caso, hemos tratado de identificar los distintos patrones del crecimiento urbano disperso, a partir, exclusivamente, de cuantificar e identificar, morfológica y estructuralmente, el nuevo tejido residencial que caracteriza a las periferias urbanas.

Diversos autores han tratado de definir, con la máxima precisión posible, el término *dispersión*. Para algunos, el concepto se identifica con un proceso específico de urbanización de baja densidad, relativamente reciente como fenómeno en Europa, caracterizado por la fragmentación, segregación y especialización monofuncional del espacio urbanizado, por el salpicado de localizaciones residenciales y productivas, y también por la heterogeneidad de la imagen espacial que se produce, que, junto a áreas agrícolas, alterna áreas residenciales, productivas y terciarias (AEMA 2008). Por su parte, el grupo coordinado por Galter, G. (2001) elaboró la siguiente definición de dicho concepto, diseccionando sus componentes más importantes. “El *sprawl* (dispersión)

sería un modelo de uso del suelo en un área urbanizada, resultado de una combinación de diversas dimensiones: densidad, continuidad, concentración, agregación, centralidad, nuclearidad, uso mixto y proximidad”. La ventaja que esta definición ofrece es la posibilidad de considerar tipologías territoriales diferentes de *sprawl*: lineal, en mancha de aceite, radial, esparcido, etc. Además, considera el fenómeno de la dispersión como un proceso resultante de la diferente combinación de los ocho factores mencionados y no como modelo de urbanización. Las urbanizaciones dispersas, de hecho, constituirían una tipología de ocupación del territorio que comportaría: discontinuidad de lo urbanizado, segregación funcional y social, consumo de recursos territoriales no justificado por las dinámicas de crecimiento demográfico y ocupacional, y elevados costes colectivos en términos de dotaciones en infraestructuras y servicios.

De todo ello, deducimos la necesidad de que el análisis de la dispersión de asentamientos en los nuevos espacios urbanos conlleve la elaboración de categorías de análisis que faciliten su estudio sistemático de este fenómeno particular.

5. 1. 3. Definición de una metodología de medición del fenómeno de la dispersión urbana

La definición y desarrollo de una metodología que permita establecer los patrones de crecimiento disperso, de acuerdo a los rasgos descritos del mismo, constituye un importante instrumento para comparar los desarrollos urbanos de distintas áreas metropolitanas y los cambios en las estructuras urbanas de distintas ciudades. La identificación de dichos patrones de crecimiento permite detectar y comparar formas de crecimiento en distintas metrópolis y también en la misma metrópoli en distintos periodos de tiempo. Para ello, hemos intentado reconocer los principales patrones de ocupación urbana en los espacios metropolitanos recientes, entendidos como un útil o herramienta capaz de describir las formas, procesos y tiempos del desarrollo urbano más actual.

Para describir la realidad correspondiente a la metrópoli madrileña y a la aglomeración urbana de Granada, de manera que podamos juzgar el grado de acercamiento al patrón de la ciudad dispersa, comparando diversos momentos de la evolución en el tiempo, hemos definido una metodología que combina diversos rasgos definitorios del crecimiento urbano disperso, como la densidad, la continuidad, la concentración y la proximidad, en sintonía con el planteamiento del grupo coordinado por Galster, con el objetivo de identificar el nuevo suelo urbano en las áreas de estudio.

Para llevar a cabo esta labor, hemos utilizado las nuevas Tecnologías de la Información Geográfica, como herramientas de tratamiento y manipulación de la información georreferenciada, ya que permiten una gestión del territorio de manera más completa y eficaz. La complejidad inherente a los sistemas urbanos dificulta la adecuación de una metodología única de medición de los cambios que ocurren en

dichos sistemas. En este sentido, diversos autores (Allen et al, 2003) han subrayado la idoneidad de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para medir los cambios que acontecen en los sistemas urbanos, ya que permiten manejar tipos de datos espaciales muy variados (población, usos del suelo etc.), de manera racional y efectiva, adecuándose la utilización de este tipo de útiles informáticos georreferenciados al estudio y medición de la complejidad del crecimiento urbano.

En general, el empleo de datos referentes a población y a usos del suelo y su gestión territorial mediante un SIG, ha permitido a algunos investigadores del tema (Sudhira et al, 2004) definir y clasificar las nuevas áreas de crecimiento urbano, según diferentes patrones de crecimiento (compacto, disperso, lineal, a saltos, etc.). Las áreas con mayor densidad y contiguas deberían ser consideradas como referentes del crecimiento compacto, mientras las áreas con una densidad media o baja y menor conectividad, se definirían como áreas indicativas de un patrón de crecimiento “a saltos”; los nuevos desarrollos urbanos, tanto con alta como con media o baja densidad cercanos a la vías de comunicación se establecerían como patrones lineales.

De acuerdo a este marco general de actuación, proponemos la aplicación de un procedimiento de análisis, en la perspectiva de definir el patrón del modelo urbano disperso, clasificando el nuevo tejido residencial generado en diferentes momentos del tiempo, en una serie de unidades espaciales fundamentales que caractericen la estructura de las nuevas aglomeraciones urbanas: núcleo urbano principal o secundario; crecimiento disperso desconectado; crecimiento lineal, etc., con la intención de concretar, de esta manera, la estructura urbana de la ciudad en cada uno de los momentos históricos seleccionados. Para ello, se aisló el crecimiento urbano residencial en tres periodos diferenciados en el tiempo: 1981-1991; 1991-2001 y 2001-2006 (figura 31).

Una de las novedades de nuestra investigación ha consistido en asociar la población al nuevo espacio residencial, por el procedimiento de desagregación espacial ya reseñado en apartados anteriores, a las zonas de crecimiento residencial. Así, una vez identificadas las zonas o manchas de crecimiento (píxeles dónde ha habido cambio de uso no urbano a urbano residencial), se trasvasó la información relativa a la población, lo que nos ha permitido contar con una doble información: capas de suelo residencial y de población, con las que definir las nuevas zonas de crecimiento urbano.

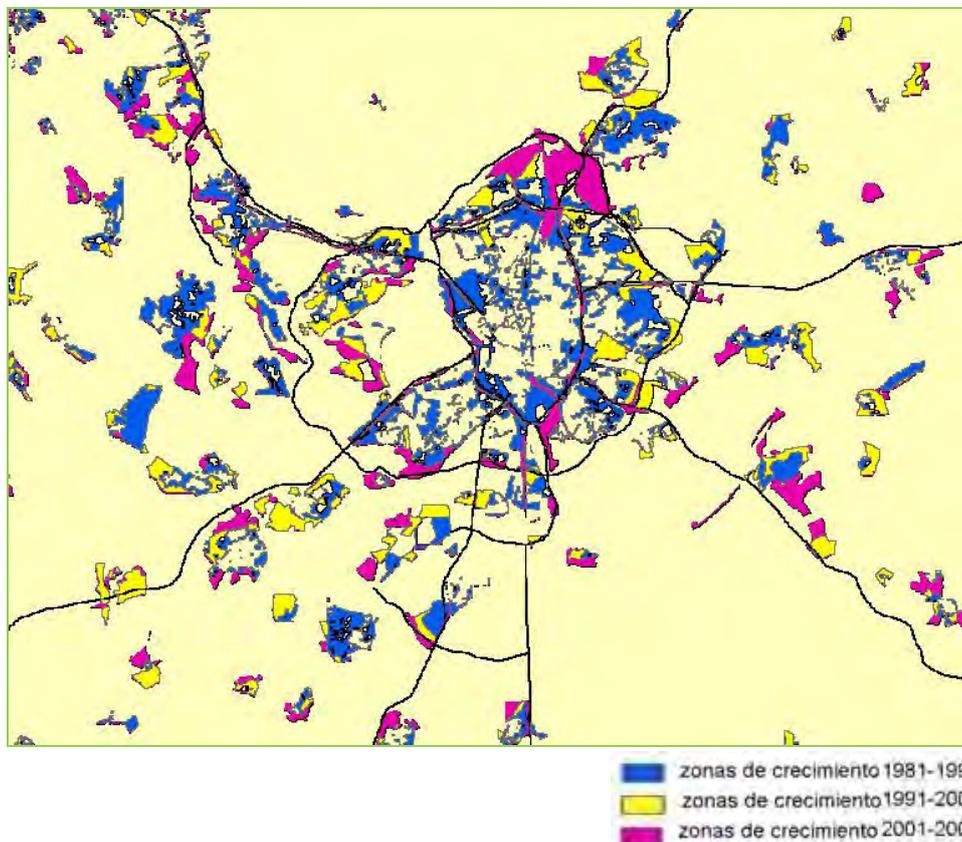
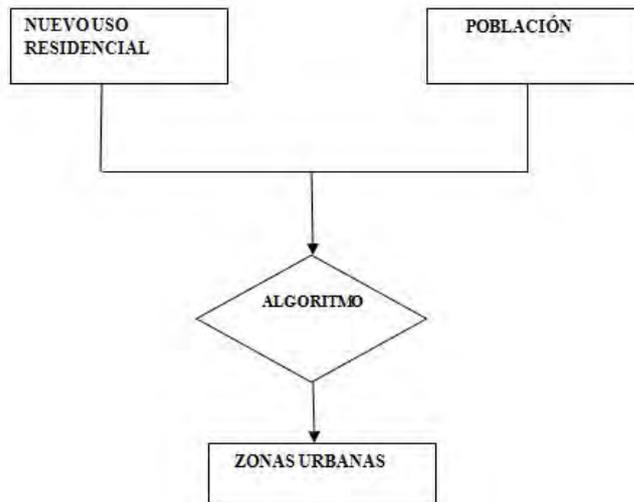


Figura 31. Zonas de crecimiento urbano residencial en los periodos 1981-1991, 1991-2002 y 2001-2006, en el área metropolitana de Madrid

El segundo paso de la metodología consistió en clasificar estas zonas de crecimiento urbano, de acuerdo a alguno de los rasgos que definen el crecimiento urbano disperso: la densidad, la continuidad, la concentración, la agregación, la centralidad, y la proximidad que nos pudieran revelar el tipo de patrón de crecimiento que se había producido. Para ello, se seleccionaron los atributos 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 fragmentación 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 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 difusa del territorio. La mayoría de trabajos consultados asocian el crecimiento urbano disperso a la aparición de áreas periféricas residenciales poco densas, con un importante peso de la vivienda unifamiliar. Este enfoque 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 se desagregó la capa de población a la correspondiente al nuevo crecimiento urbano, obteniendo la población de cada una de las zonas nuevas de crecimiento.

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 Benavente, 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” (leapfrog). 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 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, 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.



Figura 32. Principales operaciones realizadas con las capas de información para definir los patrones de desarrollo urbano.

Para el cálculo de los diferentes factores (atributos) y su representación espacial se generaron sucesivas capas de información de acuerdo a las siguientes categorías (figura 32):

- Densidad*: se obtuvo la densidad media (habitantes /ha) para cada zona de crecimiento urbano, en cada periodo, reclasificando las zonas como de alta densidad si superaban los 30 habitantes por Ha y baja densidad sino alcanzaba dicha cifra.
- Contigüidad*: se establecieron áreas de 100 metros alrededor del espacio construido, identificando las zonas del nuevo espacio construido que interseccionaban con dichas áreas, clasificándolas en contiguas y no contiguas.
- Distancia*: se estableció un buffer de distancia a los centros de los núcleos antiguos de los municipios, que nos permitió identificar como zonas cercanas las que estuvieran a menos de 3000 metros y como zonas alejadas las que se encontraran a más de 3000 metros de cada centro urbano.

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.

Para formalizar el desarrollo de las diversas operaciones se utilizó un Sistema de Información Geográfico¹. Como puede apreciarse en la figura 33, 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

¹ Se empleó el SIG raster Idrisi Taiga

periodo 1991-2001. De manera similar, se realizó para los otros dos periodos del análisis, correspondientes a 1981-1991 y 2001-2006.

La información de partida 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 (áreas de igual valor temático, cuyos píxeles son contiguos en el espacio) existentes, que fueron utilizadas a modo de unidades elementales del análisis.

La desagregación de la población correspondiente al año 2001 (sectores urbanos), siguiendo el procedimiento descrito en el apartado 3. 1. 4., nos permitió extraer, para cada celda del territorio de análisis, el valor de la población total residente. Dichos valores pudieron agruparse, para cada zona, obteniendo 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 conocida². Deducido el valor medio de la densidad de población de cada zona, 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”.

Para reclasificar las zonas, 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, 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 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 hizo posible clasificar las mismas de acuerdo a los tres criterios seleccionados: densidad, contigüidad y distancia.

² 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.

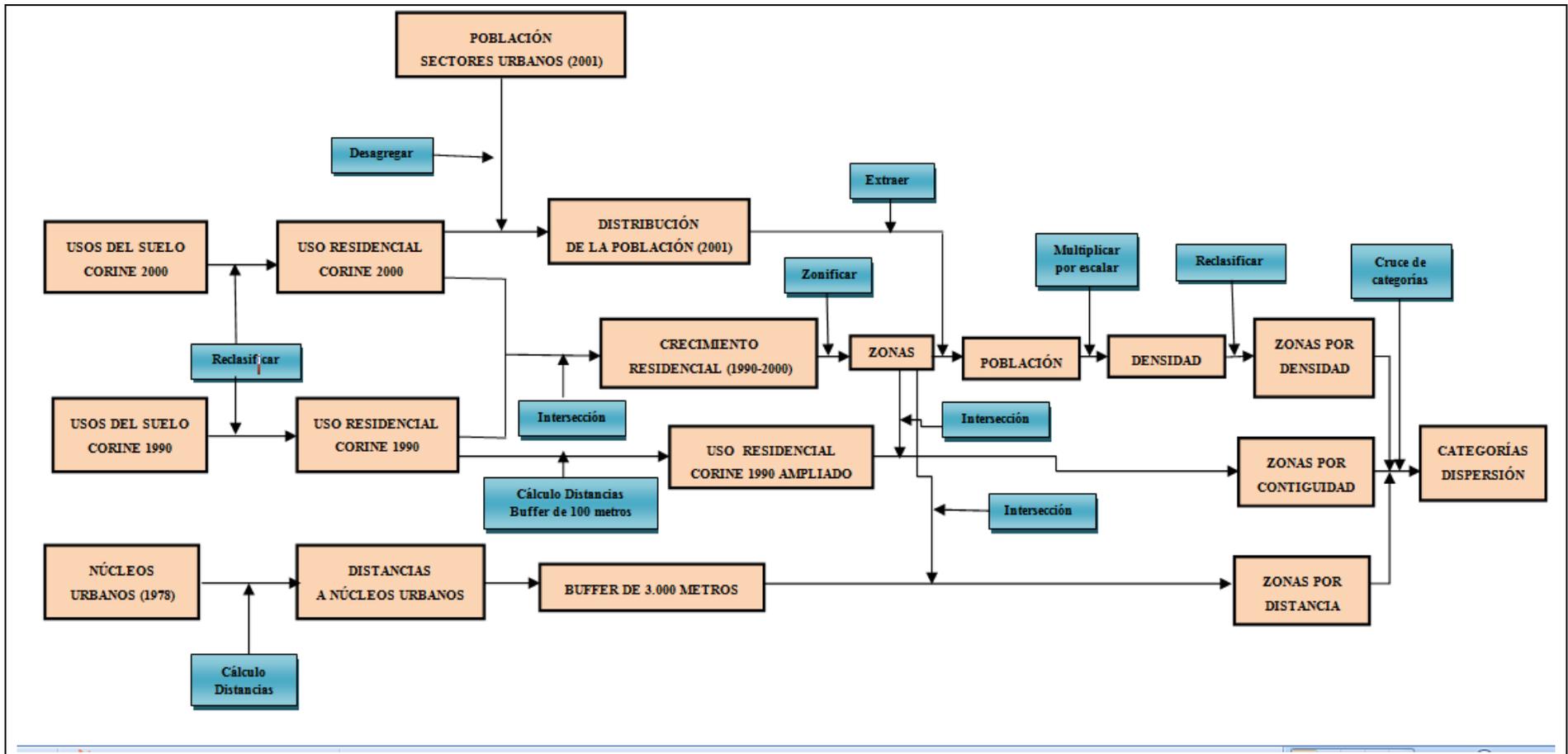


Figura 33. Operaciones realizadas, mediante un SIG, para obtener las categorías relativas a la dispersión, en el periodo 1991-2001.

Tabla 8. Cruce de categorías para establecer los patrones de desarrollo urbano

DENSIDAD	DISTANCIA	CONTIGÜIDAD	TIPO
Baja	Lejos	SI	1.DISPERSO
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 DENSO LEJANO
Alta	Lejos	NO	6.ALTA DENSIDAD LEJANO AL CENTRO
Alta	Cerca	SI	7.COMPACTO DENSO CERCANO
Alta	Cerca	NO	8.ALTA DENSIDAD CERCANO AL CENTRO

De esta forma, una vez completado el análisis, se clasificaron las zonas según las categorías resultantes, relacionando cada categoría obtenida con un tipo de patrón de crecimiento urbano.

Los patrones de desarrollo urbano disperso.

Incluye urbanizaciones de baja densidad residencial generalmente asociadas a tipologías edificatorias unifamiliares o de bloques residenciales, pero también desarrollos alejados de mayor densidad que evidencian la fragmentación del territorio asociada al crecimiento disperso. Estarían incluidas, con claridad, en este tipo de desarrollo urbano, las categorías de los desarrollos de tipo 1, 2, 4. La categoría 3 corresponde a desarrollos unifamiliares o de bloques bajos, agregados a los centros urbanos, mientras que las categorías 5 y 6 evidencian densidades edificatorias altas pero dispersas, manifestando uno de los rasgos del crecimiento difuso del espacio, su fragmentación.

Los patrones de desarrollo urbano compacto.

Hacen 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.

Estos patrones de crecimiento guardan similitud con los identificados en trabajos previos realizados sobre el mismo tema (Font, 2004 y Aguilera, 2008). Este hecho viene

a confirmar que la dinámica de crecimiento de las áreas urbanas europeas comparte procesos similares de transformación urbana.

5. 1. 4. La evolución de los patrones de crecimiento urbano en la Comunidad Autónoma de Madrid

Con objeto de analizar el crecimiento de la Comunidad de Madrid, respecto al patrón de dispersión urbana residencial descrito, hemos reclasificado el crecimiento de este tejido urbano en los periodos de tiempo 1981-1991, 1991-2001 y 2001-2006 (figura 34), de acuerdo a las ocho categorías del modelo descrito en el apartado anterior (figuras 35, 36 y 37).

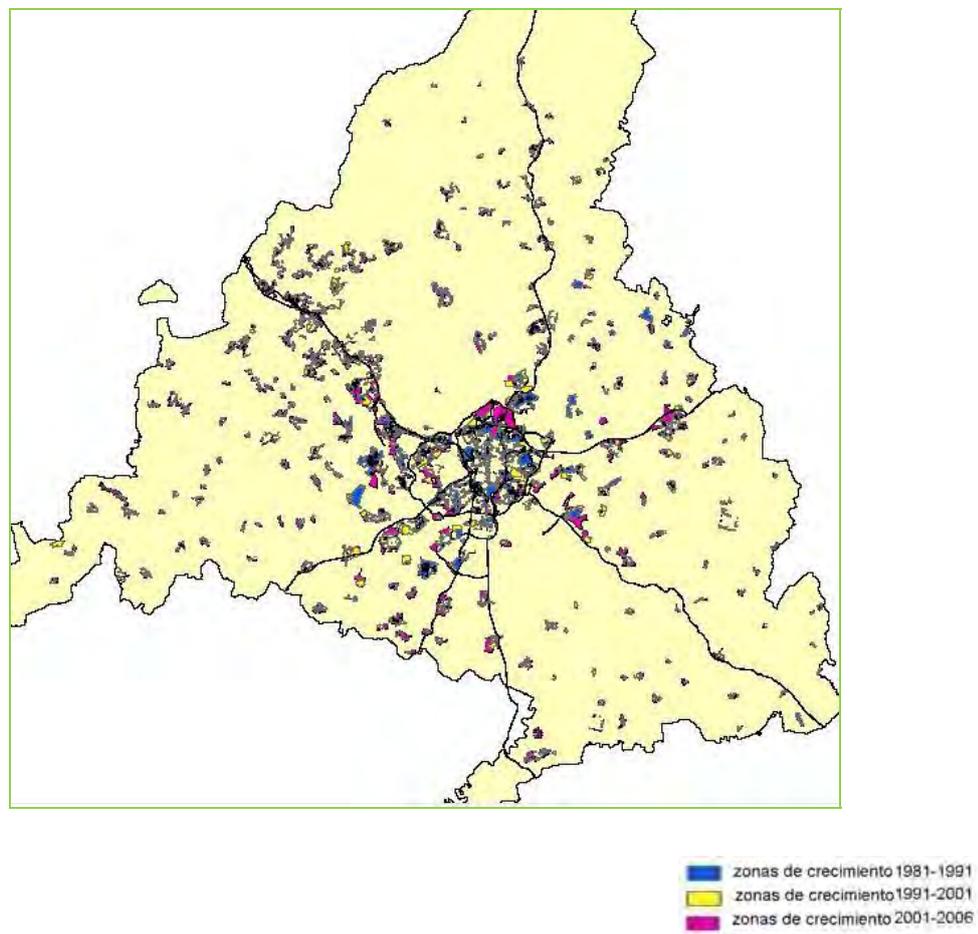
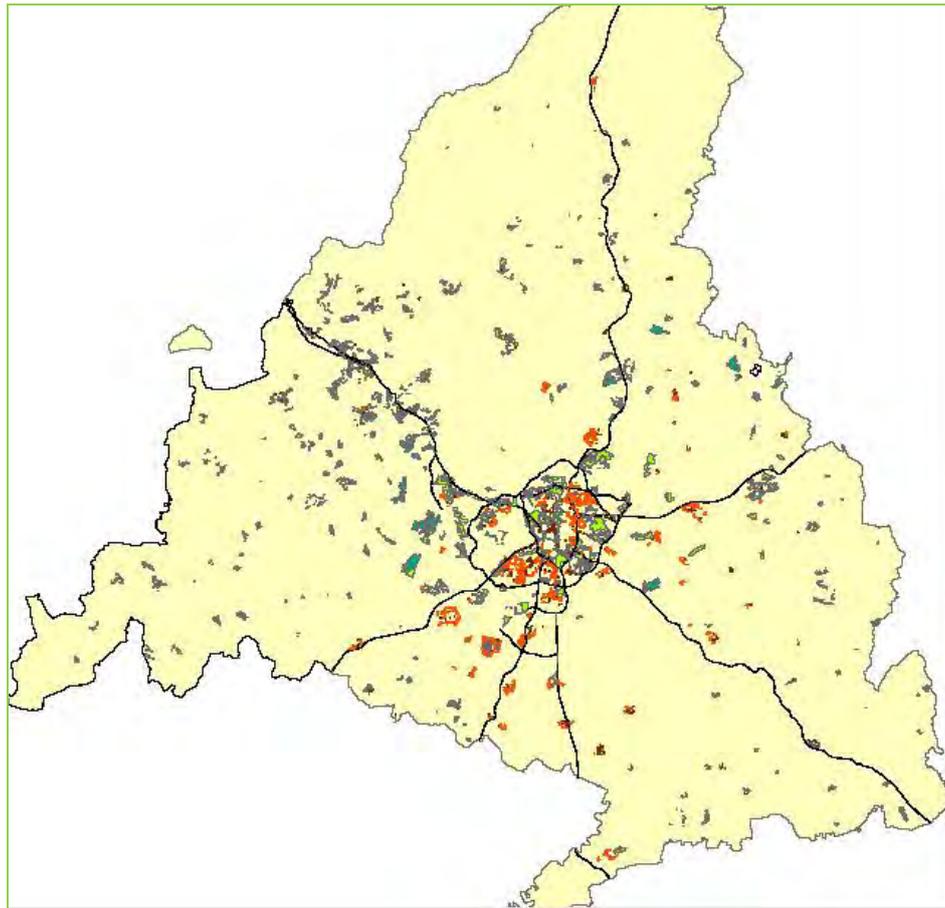


Figura 34. Zonas de crecimiento del tejido residencial de la Comunidad de Madrid en los periodos 1981-1991, 1991-2001 y 2001-2006.



- BAJA DENSIDAD CONTIGUO CERCANO
- BAJA DENSIDAD NO CONTIGUO
- COMPACTO DENSO CONTIGUO LEJANO
- COMPACTO DENSO CERCANO NO CONTIGUO
- DISPERSO CONTIGUO
- DISPERSO NO CONTIGUO
- DENSO NO CONTIGUO
- DENSO ALEJADO

Figura 35. Patrones de crecimiento residencial de las nuevas zonas urbanas de la CAM en el periodo 1981-1991



- BAJA DENSIDAD CONTIGUO CERCANO
- BAJA DENSIDAD NO CONTIGUO
- COMPACTO DENSO CONTIGUO LEJANO
- COMPACTO DENSO CERCANO NO CONTIGUO
- DISPERSO CONTIGUO
- DISPERSO NO CONTIGUO
- DENSO NO CONTIGUO
- DENSO ALEJADO

Figura 36. Patrones de crecimiento residencial de las nuevas zonas urbanas de la CAM en el periodo 1991-2001

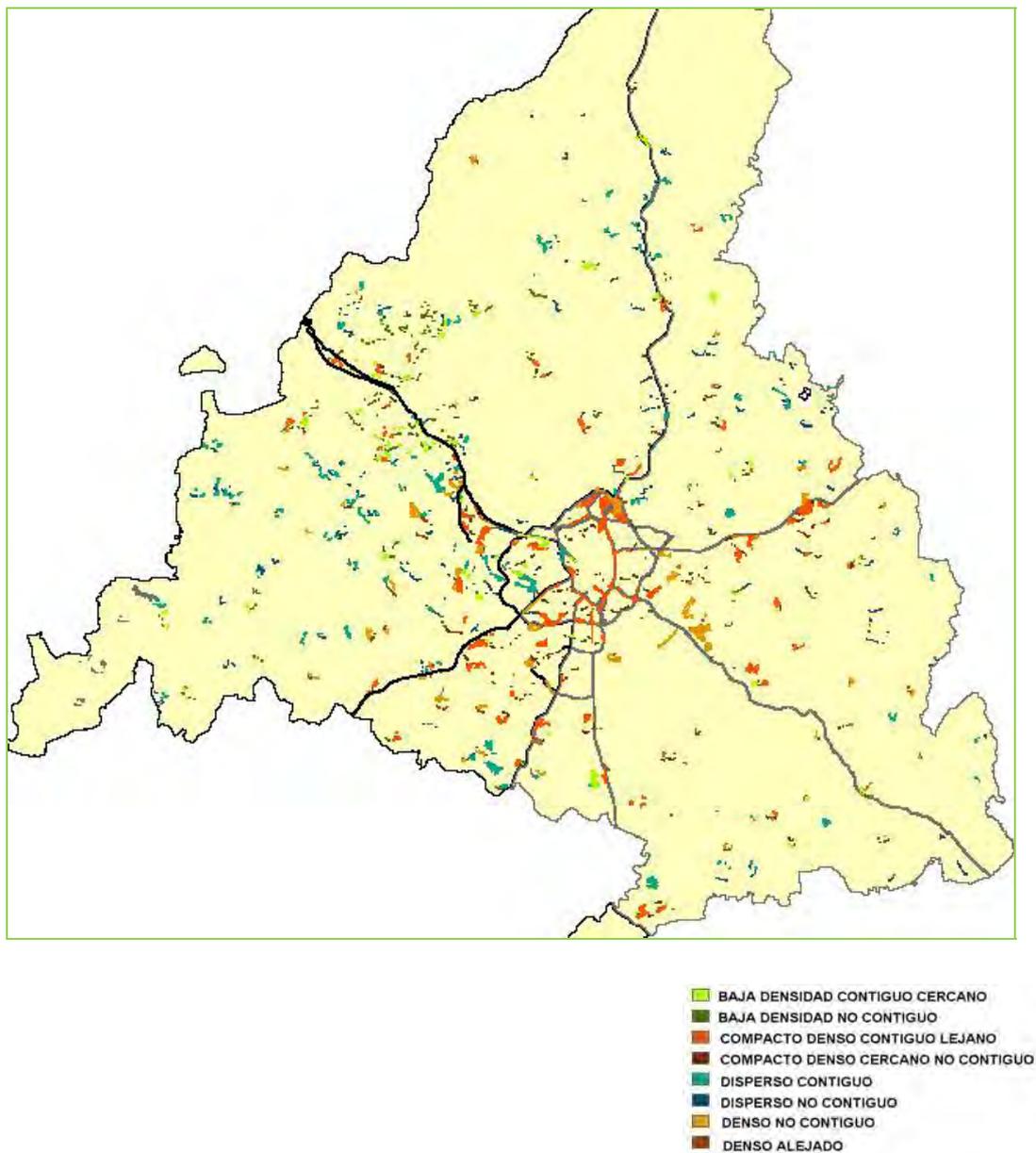


Figura 37. Patrones de crecimiento residencial de las nuevas zonas urbanas de la CAM en el periodo 2001-2006

Los valores de la distribución del crecimiento urbano residencial en las ocho categorías de referencia, una vez conocido el significado de cada una de ellas, respecto al modelo disperso (tabla 9), nos permite realizar un comentario acerca de las características dominantes del desarrollo urbano madrileño en los tres periodos de referencia.

Tabla 9. Distribución del crecimiento del suelo residencial, según los tipos de patrones de crecimiento de las zonas urbanas, por periodos, en la Comunidad de Madrid

TIPO DE DESARROLLO	1981-1991		1991-2001		2001-2006	
	HAS	%	HAS	%	HAS	%
1.URBANO DISPERSO CONTIGUO	17366	23,30	11743	25,11	9078	20,64
2.URBANO DISPERSO NO CONTIGUO	1018	1,37	60	0,13	1831	4,16
3.URBANO BAJA DENSIDAD CONTIGUO CERCANO	38028	51,01	11879	25,39	4414	10,03
4.URBANO BAJA DENSIDAD NO CONTIGUO	1294	1,74	71	0,15	1196	2,71
5.URBANO DENSO ALEJADO	268	0,36	11	0,02	568	1,29
6.URBANO DENSO NOCONTIGUO	863	1,16	5058	10,81	8331	18,94
7.URBANO COMPACTO DENSO CONTIGUO LEJANO	13899	18,64	17923	38,31	17346	39,43
8.URBANO COMPACTO DENSO CERCANO NO CONTIGUO	1814	2,43	30	0,06	1225	2,79

La evolución de los patrones de crecimiento de las zonas urbanas para toda la Comunidad de Madrid, tal como se refleja en la tabla 9, nos ponen de manifiesto que ya durante el periodo 1981-1991 comenzaron a tener gran relevancia los desarrollos urbanos ligados a un tipo de crecimiento más disperso (las manchas urbanas los patrones de crecimiento disperso y menos denso suponían más de un 70% del total). Ante este resultado tan evidente, debemos considerar que el modelo metropolitano madrileño tuvo su fase de máxima concentración espacial de las principales funciones urbanas, en las décadas de los años sesenta-setenta, produciéndose un cambio muy acentuado del modelo a partir de la década de los años 80. En 1960, la ciudad de Madrid contaba con una población de 2,26 millones de habitantes, lo que suponía el 87,5% del total provincial. A partir del censo del 70, Madrid capital fue disminuyendo progresivamente su peso de 67,4%, en 1981, al 61%, en 1991 y al 54,1%, en 2001, alcanzando únicamente la cifra del 52%, en 2006. Este hecho nos lleva a interpretar los datos obtenidos, bajo la hipótesis de que desde la década de los ochenta asistimos a una desconcentración del modelo metropolitano madrileño, en el sentido de un nuevo crecimiento disperso, no sólo descentralizado, que se ve reflejado en la aparición y presencia de nuevos patrones de crecimiento urbano, resultado del crecimiento urbano más fragmentado y de baja densidad de los municipios limítrofes a la capital.

Aún así, continuó produciéndose un porcentaje significativo, de más de un 20%, de crecimientos densos y compactos. Ello evidencia la importante inercia del modelo residencial propio de la década de los setenta, cuando se conformó el área metropolitana madrileña, con un claro patrón de crecimiento compacto y monocéntrico. Además, en este periodo, todavía resultaba revelador el peso ostentado por el municipio de Madrid

(más del 67%), en el cuál, la escasez de suelo urbanizable, su alto precio, y el modo de promoción inmobiliaria unitaria, condicionaron altas densidades edificatorias contiguas a lo ya construido, con un patrón residencial agregado.

En el periodo 1991-2001, los datos reflejan, de algún modo, la constatación de la existencia y afianzamiento del nuevo modo de urbanización. Los desarrollos dispersos se consolidan, llegando, en esta década, al 53% del nuevo espacio construido. Aunque, como en la etapa anterior, el desarrollo denso y contiguo continuó teniendo una significación importante, ligada, no tanto al peso del municipio madrileño 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 alta densidad.

En el último periodo analizado (2001-2006), continuó la dicotomía en los patrones de crecimiento del sistema urbano madrileño, aunque con una clara disminución del peso del modelo disperso. Este tipo de crecimiento supuso, únicamente, el 38,89 % del total, debido, fundamentalmente, al crecimiento de lo que algunos autores denominan “sistema suburbano propiamente dicho: el oeste metropolitano y la Hoya de Villalba” (López Lucio, 2007), mientras que se mantuvo, e incluso se incrementó, la edificación sobre nuevas tipologías más acordes con los patrones densos y compactos (42,22%).

Como conclusión, los resultados del análisis de la evolución de los patrones de crecimiento de los nuevos desarrollos urbanos en la Comunidad de Madrid revelan la coexistencia de los modelos de crecimiento: compactos y dispersos, que reflejan la complejidad de la génesis y el desarrollo del paisaje urbano madrileño en los últimos treinta años. Si algo caracteriza a la metrópoli madrileña es la coexistencia de paisajes urbanos densos y compactos con paisajes mas fragmentados, menos densos y de una homogeneidad mayor. Además de la multiplicidad de los desarrollos urbanos madrileños en su conjunto, es necesario analizar la diferenciación territorial en los patrones de crecimiento.

Contrastes por zonas, de acuerdo a la distancia y al sector metropolitano de la ciudad

“La región metropolitana de Madrid ha presentado, históricamente, una jerarquía marcada por la ciudad central (municipio de Madrid), aunque en las últimas dos décadas se ha podido constatar la pérdida del peso de la capital y el desarrollo de diferentes subáreas metropolitanas de gran concentración de población y empleo, con límites difusos y cambiantes. Esta situación ha dado lugar a situar el proceso que vive Madrid dentro del concepto, ampliamente utilizado, “de "ciudad difusa", donde se transita desde la ciudad monocéntrica hacia un modelo de organización donde no se distinguen pautas

claras en su proceso de reestructuración territorial”(Gallo Rivera et al., 2010). En este sentido, cabe referirse a la existencia de una clara dicotomía según sectores, así como de aureolas, de acuerdo a la distancia al centro de la metrópoli. Por ello, la constatación de la diferenciación del territorio madrileño nos lleva a completar el análisis, diferenciando los resultados por grandes zonas de la Comunidad. Para ello, hemos excluido el municipio de Madrid y dividido el espacio de la región en cuatro zonas: este, norte, oeste y sur, articuladas alrededor de las carreteras radiales, siguiendo los datos del Código de Corredores de Transporte editado por la CAM. El análisis, de forma diferenciada, del territorio de la Comunidad de Madrid, “aparece configurado por espacios claramente contrastados en sus características funcionales y la condición económica de sus habitantes. Además, dentro de la región conviven municipios urbanos con algunos de características aún rurales y otros muchos sometidos a rápidas transformaciones en relación con procesos de periurbanización” (Pozo Rivera, 2005).

Como han puesto de manifiesto diversos autores (García Palomares y Gutiérrez Puebla, 2007), la creación del territorio metropolitano madrileño no sólo estuvo marcada por su carácter compacto y monocéntrico, sino por una clara diferenciación territorial y social. Surgieron, durante los años sesenta y setenta del pasado siglo, un conjunto de ciudades dormitorio con altas densidades edificatorias, conformando una malla de núcleos urbanos en el sur de la Comunidad (Alcorcón, Móstoles, Leganés, Getafe, Fuenlabrada, Parla) y en el este (entorno al corredor del Henares (Coslada, San Fernando, Torrejón de Ardoz, Alcalá de Henares), dirigidos a albergar una población de bajo nivel socioeconómico. Sin embargo, en el oeste de la Región, se desarrollaron un conjunto de núcleos, vertebrados a través del eje de la carretera de La Coruña (A 6), de mayor nivel de renta. Este tipo de desarrollo residencial aparece también en el norte de la región, alrededor de la carretera de Burgos (A 1).

La dinámica poblacional, en ambos espacios geográficos, también manifiesta diferencias muy acusadas. “Dentro del espacio metropolitano, los fuertes incrementos se centran en los núcleos del sector oeste y en algunos periféricos de reciente consolidación metropolitana de los sectores norte, sur y este (Tres Cantos, Colmenar Viejo, Pinto, Rivas Vaciamadrid, Velilla de San Antonio). En contraste, la capital (Madrid) y los núcleos metropolitanos más antiguos de los sectores norte, sur y este; así como los municipios más alejados en los tres vértices de la región, donde la expansión urbano-metropolitana no ha llegado o es incipiente, se caracterizan por presentar tasas bajas e incluso negativas, coincidiendo con saldos migratorios que presentan esas mismas características “ (Pozo Rivera, 2005).

Los patrones de desarrollo urbano compacto en la Comunidad de Madrid

El crecimiento de la ocupación urbana, de acuerdo con un patrón de crecimiento agregado se corresponde, por una parte, con las formas de crecimiento de la ciudad tradicional, en las que prima, principalmente, la contigüidad espacial, de tal forma que

los nuevos desarrollos van apareciendo en las zonas adyacentes a las ya consolidadas. Este modelo de ocupación se caracteriza por la diversidad y la mezcla de usos del suelo. Pero esta forma de crecimiento, también se asocia con desarrollos densos no contiguos, que suelen corresponderse con paquetes residenciales inconexos con los desarrollos urbanos previos. En la Comunidad de Madrid, han sido las zonas sur y este, las que han tenido un tipo de crecimiento urbano ligado principalmente a este tipo de patrón de desarrollo.

Así, los patrones de crecimiento de la zona sur de la Comunidad de Madrid son un claro exponente de crecimiento urbano de alta densidad poblacional, con tipologías de vivienda de alta densidad edificatoria y desarrollo residencial compacto. El predominio de las formas de crecimiento más densas y compactas durante los tres periodos analizados es un claro exponente de ello. Sólo en la década de los noventa, se produce en la zona un pequeño atisbo de desarrollos menos densos (momento del boom de las urbanizaciones de chalets adosados). “De esta forma, en el entorno de las ciudades dormitorio, aparecen nuevas urbanizaciones de viviendas adosadas o bloques de pocas alturas, contrastando fuertemente con los desarrollos densos previos, en cuanto a densidades y tipologías edificatorias, y también en cuanto a nivel de renta” (Gutiérrez Puebla, 2007). Pero el peso de los patrones de crecimiento compactos y densos vuelve a ser predominante en los primeros años del siglo XXI, no habiéndose consolidado en la zona un tipo de desarrollo de tipo suburbano como ocurre en otras zonas de la comunidad madrileña.

En la zona este de la Comunidad, la aparición de este patrón de crecimiento fue más tardío. Durante la década de los ochenta, se construía, en esta zona del área metropolitana de Madrid, siguiendo un patrón de baja densidad, cercano y contiguo a las zonas ya construidas (61,37%). Ya en la década de los noventa, se pone en evidencia la preponderancia de formas de crecimiento propias de su incorporación a la dinámica metropolitana con predominio de desarrollos urbanísticos de alta densidad edificatoria alejados del centro urbano y no contiguos a lo ya edificado, consolidándose un conjunto de ciudades densas en el corredor del Henares (Coslada, San Fernando, Torrejón de Ardoz, Alcalá de Henares), cuya morfología recuerda a los desarrollos compactos del área sur metropolitana. En los primeros seis años del siglo XIX, los patrones de crecimiento se diversifican, si bien siguen teniendo una importancia significativa (más del 50%) los desarrollos compactos y aislados, también aparecen desarrollos de carácter menos denso y de tipologías edificatorias más laxas.

Tabla 10. Distribución del crecimiento del suelo residencial, según los tipos de patrones de crecimiento de las zonas urbanas, por periodos, en la zona sur de la Comunidad de Madrid

ZONA SUR	1981-1991	19812001	2001-2006
TIPO DE DESARROLLO %ha/zona			
URBANO DISPERSO CONTIGUO	18,68	20,35	7,02
URBANO DISPERSO NO CONTIGUO	0,12	0,09	1,49
URBANO BAJA DENSIDAD CONTIGUO	28,52	11,27	9,75
URBANO BAJA DENSIDAD NO CONTIGUO	0,29	0,09	0,62
URBANO DENSO ALEJADO	0,22	0	2,05
URBANO DENSO CERCANO	1,34	20,21	24,54
URBANO COMPACTO DENSO CONTIGUO	46,80	47,70	49,09
URBANO COMPACTO DENSO CECANO NO CONTIGUO	3,99	0,04	5,40

Tabla 11. Distribución del crecimiento del suelo residencial, según los tipos de patrones de crecimiento de las zonas urbanas, por periodos, en la zona este de la Comunidad de Madrid

ZONA ESTE	1981-1991	19812001	2001-2006
TIPO DE DESARROLLO %ha/zona			
URBANO DISPERSO CONTIGUO	21,93	11,00	15,75
URBANO DISPERSO NO CONTIGUO	0,88	0,48	4,59
URBANO BAJA DENSIDAD CONTIGUO	61,37	10,65	4,59
URBANO BAJA DENSIDAD NO CONTIGUO	0,65	0,02	2,95
URBANO DENSO ALEJADO	0,88	0,07	0,66
URBANO DENSO CERCANO	0	0	15,38
URBANO COMPACTO DENSO CONTIGUO	11,71	77,68	51,17
URBANO COMPACTO DENSO CECANO NO CONTIGUO	2,03	0,08	4,30

Los patrones de desarrollo urbano disperso.

En este patrón de crecimiento, se agrupan modos de ocupación que se caracterizan por un uso residencial de bajas densidades, generalmente aislado del resto de las zonas urbanas ya consolidadas. Suelen ser desarrollos urbanos unifamiliares o en bloques de poca altura. Constituyen, por tanto, los patrones de crecimiento que más se asemejan al modo de crecimiento urbano de los modelos suburbanos anglosajones.

Es en el oeste de la Comunidad de Madrid donde los patrones de crecimiento disperso evidencian claramente el proceso de suburbanización residencial que ha tenido lugar en la zona. Durante la década de los 80, dominaron los crecimientos dispersos y de baja densidad residencial (más del 90% del crecimiento del área se ajustó a un patrón de este tipo), fruto de la consolidación en esos años del área como zona residencial preferente de la clase media madrileña.

En los años noventa, comenzaron, sin embargo, a aparecer desarrollos urbanísticos de mayor densidad edificatoria y poblacional, poniendo de manifiesto una leve compactación de los patrones de crecimiento urbano, sobre todo en los municipios del área más cercanos a Madrid capital (Pozuelo de Alarcón y Majadahonda principalmente). “Se constata, pues, un proceso de convergencia entre ambos tipos edificatorios: la vivienda familiar 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). El patrón de crecimiento del norte de la Comunidad de Madrid (eje de nacional A1) se asemeja bastante a lo acaecido en el oeste de la misma (eje de la carretera de La Coruña), con predominio de densidades edificatorias bajas y dispersas, que revelan el proceso de suburbanización al estilo anglosajón que se ha producido en esta zona. “Se trataba de nuevas urbanizaciones residenciales de baja densidad, con viviendas unifamiliares independientes, ocupando una gran cantidad de espacio. Al mismo tiempo, se construyeron urbanizaciones de segunda residencia en espacios más alejados, sobre todo hacia la sierra, en las que las viviendas unifamiliares eran predominantes” (Gutierrez Puebla, 2007). En la década de los noventa, se aprecia, por tanto, un pequeño cambio, resultando significativa la presencia (más de 20%) de patrones de crecimiento de densidad edificatoria más elevada.

Esta tendencia continuó, entre 2001-2006, tanto en la zona norte como en la oeste, con una particular dicotomía entre los desarrollos dispersos en urbanizaciones de baja densidad, y los desarrollos de mayor densidad edificatoria, consolidándose desarrollos urbanísticos más compactos en toda la zona noroeste de la Comunidad de Madrid.

Tabla 12. Distribución del crecimiento del suelo residencial, según los tipos de patrones de crecimiento de las zonas urbanas, por periodos, en la zona oeste de la Comunidad de Madrid

ZONA OESTE	1981-1991	19812001	2001-2006
TIPO DE DESARROLLO %ha/zona			
URBANO DISPERSO CONTIGUO	31,62	31,69	33,62
URBANO DISPERSO NO CONTIGUO	21,33	0,06	5,49
URBANO BAJA DENSIDAD CONTIGUO	58,96	40,23	16,32
URBANO BAJA DENSIDAD NO CONTIGUO	3,25	0,36	5,18
URBANO DENSO ALEJADO	0,44	0	0,85
URBANO DENSO CERCANO	0,33	7,52	15,93
URBANO COMPACTO DENSO CONTIGUO	2,39	20,07	20,45
URBANO COMPACTO DENSO CECANO NO CONTIGUO	0,87	0,04	1,91

Tabla 13. Distribución del crecimiento del suelo residencial, según los tipos de patrones de crecimiento de las zonas urbanas, por periodos, en la zona norte de la Comunidad de Madrid

ZONA NORTE	1981-1991	19812001	2001-2006
TIPO DE DESARROLLO %ha/zona			
URBANO DISPERSO CONTIGUO	39,28	22,27	28,50
URBANO DISPERSO NO CONTIGUO	1,98	0,33	11,15
URBANO BAJA DENSIDAD CONTIGUO	41,04	26,67	18,39
URBANO BAJA DENSIDAD NO CONTIGUO	1,73	0,06	6,18
URBANO DENSO ALEJADO	0,31	0	2,10
URBANO DENSO CERCANO	0,01	5,78	5,54
URBANO COMPACTO DENSO CONTIGUO	13,58	24,69	25,3
URBANO COMPACTO DENSO CECANO NO CONTIGUO	2,04	0,02	2,96

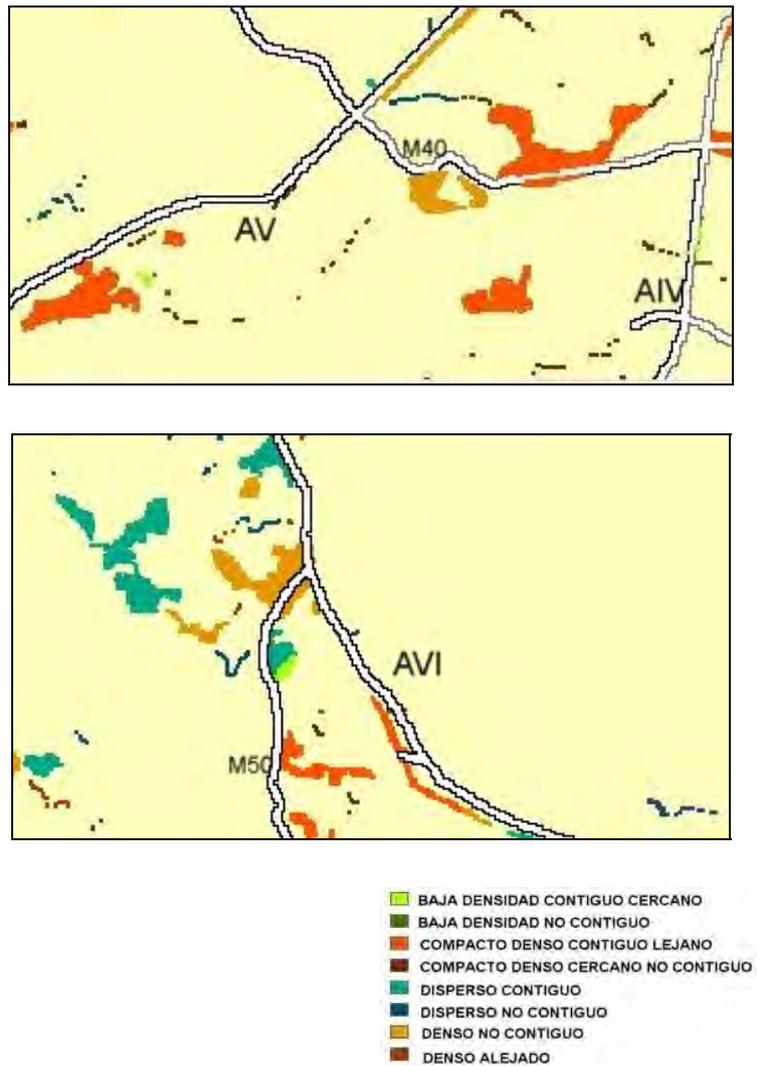


Figura 38. Comparación de los patrones de crecimiento de sur y oeste de la Comunidad de Madrid

5. 1. 5. La evolución de los patrones de crecimiento urbano en la aglomeración urbana de Granada

En el caso de Granada, los rasgos del proceso de metropolización del área urbana se diferencian en el tiempo con respecto al caso de Madrid. El proceso de transformación acontecido en la comarca de la vega de Granada ha sido de una importancia muy considerable, destacando el elevado crecimiento del suelo urbanizado experimentado en este período, lo que ha culminado con lo que algunos autores (Aguilera, 2006) han denominado la metropolización de la comarca granadina.

Desde el punto de vista de la estructura económica, el área objeto de estudio ha sufrido, en los últimos treinta años, una profunda transformación. La obsolescencia de los usos agrícolas, coadyuvada por otros factores como la deslocalización de las áreas productivas e industriales, y las intervenciones sobre el sistema de infraestructuras, han

sido potentes activadores de los procesos de dispersión de esta área. El resultado de este proceso ha sido el cambio de la trama del tejido agrario que, de esta manera, ha sufrido una profunda fragmentación. Además, la deslocalización de las actividades productivas y la realización de nuevos polígonos industriales en los municipios de la corona metropolitana han contribuido a la activación de un mecanismo de urbanización fragmentario, en el que áreas industriales, residencias y centros comerciales se sitúan a lo largo de los principales ejes de comunicación.

El motor de esta transformación ha sido, sin duda, la ciudad de Granada, que a lo largo de los años ha ido reforzando su papel de gran núcleo funcional de la comarca de la Vega, principalmente como prestadora de servicios especializados. A finales de la década de los 80, el crecimiento poblacional del área urbana de Granada reflejaba ya el inicio de un proceso centrífugo de crecimiento urbano. Mientras que Granada capital había incrementado, muy levemente, su población en este periodo (6,5% entre 1986 y 1995), muchos municipios de sus alrededores, fundamentalmente al norte y sur de la región, experimentaron crecimientos espectaculares como Cenes de la Vega (149%), Ogíjares (122%), Jun (68%), Otura (57%), La Zubia (52%), Cúllar-Vega (50%), Albolote (44%) y Gójar (41%). La proximidad mayor o menor de Granada capital resulta un factor decisivo para explicar el crecimiento del área urbana granadina. Así, a mediados de los años 80, se produce un fenómeno de consolidación de la periferia de la ciudad y la consiguiente formación de la aglomeración urbana de Granada. La ciudad, junto a varios de sus municipios más cercanos, como Maracena, Peligros, Albolote y Atarfe por el norte, y Armilla, Churriana y Ogíjares por el sur, comenzaron a configurar el área metropolitana de Granada.

La expansión demográfica en todos estos municipios, especialmente en la última década, está, sin lugar a dudas, relacionada con el menor crecimiento experimentado por la capital. Ésta, había expulsado una parte importante de sus efectivos demográficos, a causa de los altos precios del suelo y de la vivienda en su núcleo urbano, lo que unido al desarrollo de infraestructuras y equipamientos colectivos, a la expansión del vehículo privado y al menor coste de las viviendas, motivó la proliferación de núcleos-dormitorio, que acabaron de conformar el área metropolitana de Granada. El crecimiento urbano consecuente no se ha correspondido con un aumento similar, en lo que a población se refiere, sino que ha supuesto, sobre todo, un cambio en el modelo de crecimiento de la región, más acorde con alguna de las pautas del modelo de ciudad disperso.

La expansión del suelo urbano se ha realizado a un ritmo superior al del número de habitantes y ha llevado consigo un cambio en el modelo territorial. “Paralelamente, y en relación a éste proceso de expansión urbanística, lo novedoso con respecto a décadas anteriores, es que mientras antaño el crecimiento de la ciudad se producía en forma de “mancha de aceite”, vía arrabales y ensanches, durante la última década la expansión física de la ciudad se ha producido, mediante el denominado mecanismo de “salto de rana”, que genera un espacio urbano discontinuo separado por intersticios de espacios

rurales, de modo que frente a la dualidad campo ciudad de ayer, hoy nos encontramos con nuevas realidades como espacios periurbanos, rururbanos, etc. “(Sáenz Lorite, 1996).

Tabla 14. Distribución del crecimiento del suelo residencial, según los tipos de patrones de crecimiento de las zonas urbanas, por periodos, en la aglomeración urbana de Granada

TIPO DE DESARROLLO	1981-1991		1991-2001	
	HAS	%	HAS	%
URBANO DISPERSO CONTIGUO	8160	24,88	4532	27,65
URBANO DISPERSO NO CONTIGUO	397	1,07	856	5,22
URBANO BAJA DENSIDAD CONTIGUO	800	3,41	2484	15,16
URBANO BAJA DENSIDAD NO CONTIGUO	984	4,20	1136	6,93
URBANO DENSO ALEJADO	280	1,10	1740	10,61
URBANO DENSO CERCANO	4100	17,22	760	4,63
URBANO COMPACTO DENSO CONTIGUO	8392	35,87	4216	25,72
URBANO COMPACTO DENSO CERCANO NO CONTIGUO	284	1,27	664	4,05

Dentro de la aglomeración urbana granadina, aparentemente un área monocéntrica con una estructura de crecimiento ramificado a lo largo de los principales ejes de comunicación, se puede interpretar la fragmentación y dispersión del territorio según los cambios acaecidos en los patrones de crecimiento urbano (tabla 14).

Los patrones de crecimiento urbano reflejan el cambio de modelo concentrado y denso en el periodo 1981-1991 (los desarrollos compactos suponen casi el 70% de los nuevos desarrollos urbanos), mientras que en el periodo siguiente (1991-2001) los desarrollos de carácter disperso suponen ya más del 50%. El crecimiento urbano de algunos municipios que rodean a Granada se explica, en buena parte, por la gran oferta de viviendas unifamiliares, a precios bastante inferiores a los de la capital, que se desarrollaron, a partir de los años noventa. De ahí que una parte de la población de Granada decidió instalarse en su cinturón metropolitano. De hecho, Granada capital, durante la década de los noventa, ralentizó su crecimiento, enviando parte de su población a municipios cercanos donde el precio del suelo era más barato y donde había surgido una gran oferta de viviendas más económicas, lo que, unido a la generalmente mayor calidad ambiental (viviendas unifamiliares, jardines, piscina, vistas panorámicas, etc.) y a la mejora de las vías de comunicación con Granada, estimuló a mucha población a instalarse en alguna de las abundantes urbanizaciones de los

municipios que rodean a la capital, si bien el lugar de trabajo lo seguían teniendo en Granada capital.

Así pues, en el caso de Granada, se produjo un fenómeno de consolidación de la periferia sobre la capital con patrones de crecimiento disperso. Los nuevos desarrollos urbanos experimentados por algunos municipios están basados, fundamentalmente, en urbanizaciones de chalets adosados o individuales, que en muchos casos han surgido segregados de los núcleos de población tradicionales, a veces a unas distancias considerables de éstos, dando lugar a “ patrones de ocupación del territorio extensivos, mediante urbanizaciones unifamiliares, que se extienden por los núcleos que rodean la capital; generación de nuevas zonas comerciales en las cercanías de los nudos de la ronda de circunvalación; incremento del número de viviendas de segunda residencia; incremento del número de desplazamientos entre distintos núcleos y la capital, con 2,5 desplazamientos por persona y día, que apuntan, claramente, a la configuración de la Granada metropolitana como una ciudad dispersa, con una creciente segregación entre las zonas de trabajo y comercio y las de residencia” (Aguilera, 2006).

El proceso de urbanización fragmentario y disperso, que ha afectado a la historia reciente del la aglomeración urbana de Granada, ha producido un profundo cambio del área que, de un modelo espacial de tipo monocéntrico se ha convertido en la actual conurbación urbana, absorbiendo centros habitados y áreas rurales antes autónomas y separadas respecto de la ciudad principal y ya totalmente disueltas en el *continuum* urbanizado.

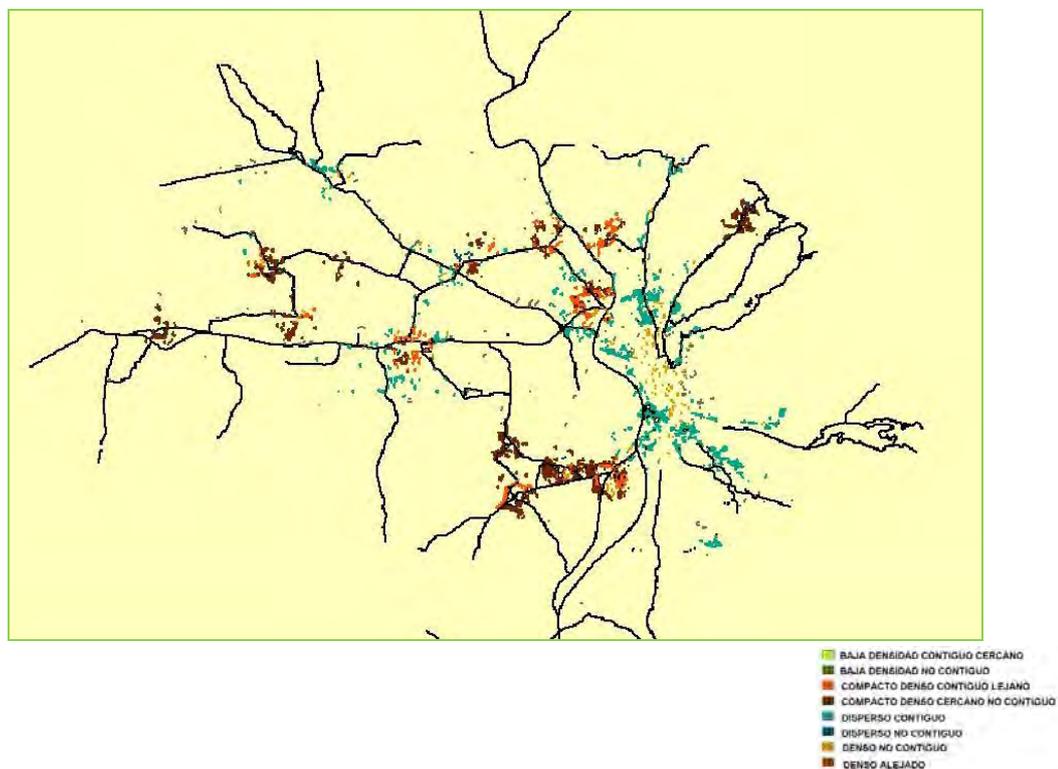


Figura 39. Patrones de crecimiento de la Aglomeración de Granada 1981-1991

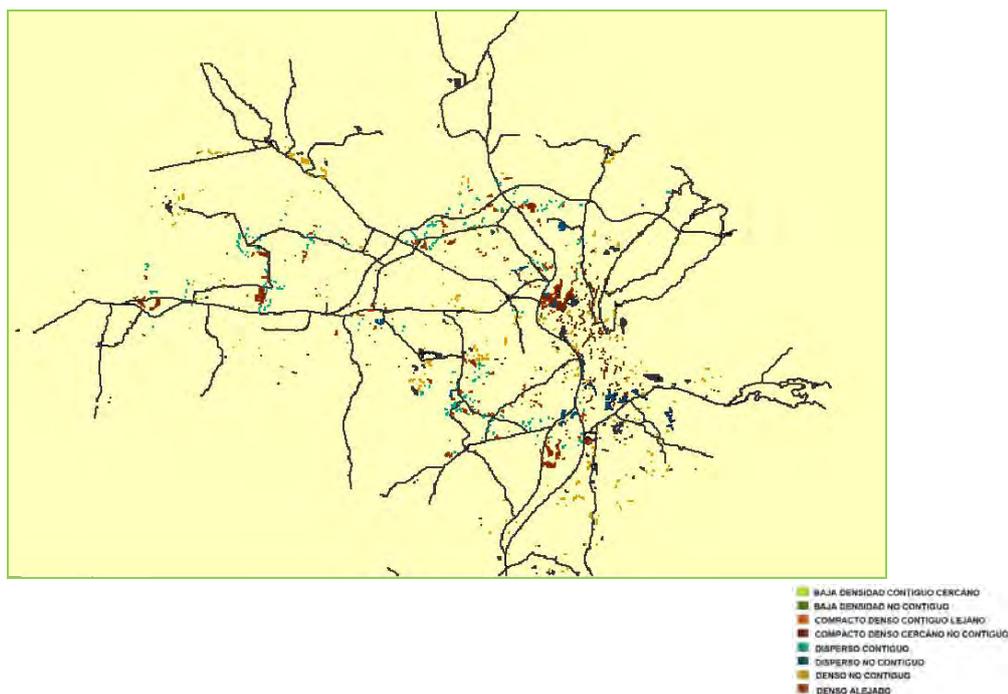


Figura 40. Patrones de crecimiento de la Aglomeración de Granada 1991-2001

5. 1. 6. Conclusiones

A través del trabajo de investigación realizado, se ido delimitando, progresivamente, el concepto de dispersión. Hemos visto que el fenómeno no sólo se corresponde con un modelo de urbanización de baja densidad, sino con un proceso de transformación que se está verificando en los territorios que comparten cambios en los patrones de crecimiento urbano, generados por múltiples factores, activo en ámbitos geográficos y administrativos tan diferentes como el área metropolitana madrileña o la aglomeración urbana de Granada.

Uno de los principales logros de nuestro proyecto es el haber definido la dispersión mediante la elaboración de una metodología que nos ha permitido englobar varias de las características reveladoras de los patrones de crecimiento urbano disperso. Así, se han individualizado, y verificado, empíricamente, diversas categorías descriptivas de los territorios dispersos de las áreas urbanas elegidas. La aplicación de estas categorías ha resultado útil para la investigación comparativa, permitiendo realizar una investigación sobre contextos diferentes, a través de parámetros unívocos.

Los resultados del estudio avalan la incipiente transformación de los patrones de crecimiento urbano. Los antiguos modelos urbanos densos, compactos y complejos se ven complementados por una multiplicidad de desarrollos urbanísticos menos densos y de mayor discontinuidad. Ello ha dado lugar al inicio de la configuración de un territorio urbano, en los ámbitos objeto de estudio, mas fragmentado y de extraordinaria complejidad, en consonancia con los patrones de crecimiento de la ciudad difusa; y al

mismo tiempo, a la consolidación de distintas periferias de tipo residencial, articuladas en general, en torno a los grandes corredores radiales de transporte.

5. 2. Medición del gradiente de densidad de la ocupación del suelo con la distancia al centro urbano

5. 2. 1. Introducción

A partir de la segunda mitad del siglo XX, el planeta ha experimentado un acelerado proceso de urbanización y concentración de la población en grandes ciudades, tanto en el mundo desarrollado como en las regiones en vías de desarrollo. Como ya tuvimos ocasión de señalar en la introducción general del capítulo, durante las décadas posteriores, este crecimiento urbano, que dio lugar originariamente a un modelo metropolitano monocéntrico compacto, sufrió una importante evolución, de manera que alejándose del centro de estas ciudades, el impacto de la expansión urbana se ha dejado sentir en las áreas rurales circundantes (Antrop 2004). La consecuencia ha sido un cambio de la ciudad en su conjunto, aunque es en las periferias donde las transformaciones están siendo más acusadas y donde gran parte de la dinámica del crecimiento metropolitano está teniendo lugar.

La estructura espacial de la ciudad ha pasado del modelo monocéntrico, de áreas urbanas compactas, de centros definidos y carácter autónomo, a un modelo donde los límites ya no son tan claros y dejan de circunscribirse a sus fronteras administrativas. “Estos límites deben buscarse en la intensidad de los flujos de personas, mercancías y de información que se producen entre las diferentes partes del territorio metropolitano, aún perteneciendo a diferentes unidades administrativas. En esta nueva realidad urbana, la estructura espacial intrametropolitana pasa a ser un elemento clave” (García-López, 2008). Estos profundos cambios que están experimentando las ciudades, se deben, en gran parte, a transformaciones derivadas de los procesos de globalización económica y cultural. En el marco de estos procesos, las ciudades crecen en extensión y sus límites son más imprecisos que nunca.

Esta realidad ha seguido ritmos de desarrollo muy diferentes, de acuerdo a la ideología urbanística imperante en cada país o territorio. Así, en los países anglosajones, los intensos procesos de transformación, sin parangón desde su creación, que las grandes ciudades experimentaron dieron lugar a un crecimiento urbano discontinuo, caracterizado por una ocupación de baja densidad de usos de suelo en las zonas marginales de las ciudades. Esta expansión urbana descontrolada es un fenómeno típico de los Estados Unidos a principios del siglo pasado, impulsado por el aumento del parque automovilístico y por la preferencia de casas aisladas con jardín. El concepto de “expansión urbana descontrolada” se refiere a la expansión de baja densidad de las ciudades, hacia las áreas rurales de su alrededor. Se trata de un crecimiento disperso y discontinuo, existiendo enclaves agrícolas y espacios vacíos que reflejan precisamente

este crecimiento urbano no planificado (AEMA, 2008). Con el paso del tiempo, la lógica del crecimiento disperso se ha extendido a los países europeos, e incluso a los mediterráneos, caracterizados, hasta entonces, por el desarrollo urbano compacto de elevadas densidades de ocupación del suelo.

Si tradicionalmente el crecimiento de las ciudades estaba motivado por el aumento de la población urbana, en la actualidad la expansión urbana descontrolada no está relacionada con el aumento de la población, sino que se encuentra impulsada por otros muchos factores. La generalización del uso del automóvil particular y la mejora de las infraestructuras de transporte en las periferias urbanas son premisas indiscutibles para la viabilidad del nuevo modelo. El precio más ventajoso del suelo en las periferias, frente al casco urbano, es otro de los principales factores a tener en cuenta. La búsqueda de una mejor calidad medioambiental y la existencia de unos servicios cada vez más diversificados en estos espacios periféricos, son también otros factores que inciden en esta dispersión urbana de los espacios residenciales de las grandes ciudades. Por último, la globalización de la economía y su estrecha relación con el desarrollo de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) comienzan a tener profundos impactos en la distribución espacial de la población y del empleo. En este sentido, varios autores creen probable que la generalización de las TIC influya en que el futuro desarrollo urbano sea todavía más expandido (Audriac, 2005).

El proceso no solo ha afectado a las funciones comerciales y de servicios, sino que uno de los rasgos que mejor definen el nuevo modelo de ciudad dispersa son las características de los nuevos espacios residenciales. La ciudad ha crecido en superficie, pero este crecimiento no ha ido acompañado de un aumento del volumen demográfico. El incremento de la proporción de viviendas unifamiliares en la periferia de las ciudades ha dado lugar a un paisaje residencial de bajas densidades. Si en el mundo anglosajón esta tipología residencial forma parte de su tradición urbanística, en las ciudades europeas este modelo también se está imponiendo, incluso en las ciudades mediterráneas, donde los tradicionales patrones de ubicación ofrecidos durante la etapa anterior, representaban actuaciones urbanísticas multifamiliares de alta densidad de ocupación del suelo. Estas tendencias hacia nuevos entornos de baja densidad resultan evidentes por el gran incremento del consumo de suelo utilizado por persona en las ciudades europeas durante los últimos 50 años, que ha aumentado más del doble. Concretamente, en los últimos 20 años, la superficie construida en muchos países de la Europa occidental ha aumentado un 20%, mientras que la población solo ha crecido un 6% (AEMA, 2008).

Este proceso de suburbanización, entendido como un cambio de localización desde el centro a la periferia, se ha realizado en el marco de diferentes patrones de crecimiento urbano. Siguiendo a García-López, “la suburbanización-descentralización, al menos teóricamente, puede llevarse a cabo a partir de dos modelos alternativos: el disperso y el policéntrico, con sus propios factores explicativos. En el primero, el centro pierde población y empleo, empujado por el elevado precio del suelo, la caída en los

costes de transporte y los problemas de congestión, dando como resultado un proceso de ocupación del suelo periférico mediante asentamientos fragmentados y poco densos. En el segundo, la pérdida de economías de aglomeración en las áreas centrales se ve compensada por la aparición de concentraciones periféricas o subcentros de agentes, ya sean formaciones reguladas o espontáneas” (García-López, 2008). Ambos procesos, dispersión y policentrismo no son mutuamente excluyentes.

Se puede definir “la dispersión urbana (*urban sprawl*) como un modelo de expansión caracterizado por al menos una de las siguientes pautas: a) una densidad de población decreciente acompañada de un mayor consumo de suelo, b) un peso creciente de las zonas periféricas respecto a las centrales, c) un mayor aislamiento (falta de proximidad) entre cada una de las partes de la ciudad, d) una menor concentración de la población en un número limitado de zonas densas y compactas, y e) una creciente fragmentación del territorio” (Muñiz et al. 2006). “Estas nuevas periferias metropolitanas aparecen como prototípicos de la ciudad dispersa, espacios diversos y monótonos al mismo tiempo, compuesto por piezas separadas físicamente pero integradas por redes de distinto tipo, en las que el automóvil juega un papel esencial. Frente a la dominancia de la ciudad central característica de las áreas metropolitanas tradicionales, la descentralización ha producido nuevas centralidades en la periferia, que modifican antiguos desequilibrios funcionales (centro-periferia) para crear otros nuevos a escala de mayor detalle (nuevas centralidades-espacios residenciales” (García Palomares et al. 2007).

En España, como está ocurriendo en toda la Europa mediterránea, estos procesos de cambio se producen también en las “nuevas periferias”, que se han transformado profundamente en las últimas décadas con unos desarrollos urbanos marcados por la dispersión, la fragmentación y las bajas densidades.

Es, en este marco de desarrollo urbano de la ciudad actual, donde hemos analizado las pautas del nuevo desarrollo residencial en las aglomeraciones urbanas de Madrid y de Granada, a partir de la medida de los gradientes de población desde los elementos fundamentales de su estructura urbana. Para ello, hemos seleccionado la situación correspondiente a cuatro momentos³ en el tiempo -los años 1978, 1990, 2000 y 2006- que consideramos importantes en el proceso de descentralización de la función residencial, con objeto de comparar la evolución del modelo de distribución de la población. El primero se corresponde con una fecha, donde el modelo metropolitano puede vislumbrarse aún relativamente compacto, mientras que en 1990 y sobre todo el año 2000, algunos de los rasgos del modelo de ciudad dispersa habían comenzado a dejar sentir sus efectos en estas aglomeraciones. Finalmente, el año 2006 nos ha servido de referencia para comprobar hasta qué punto la aparición del fenómeno de la dispersión aparece o no consolidado con el paso del tiempo.

³ Han quedado reducidos a tres en el caso de la aglomeración urbana de Granada, al no disponer, en el momento de la realización del trabajo, de información relativa al año 2006.

En la región urbana de Madrid, el centro de la ciudad está rodeado por una primera y segunda corona metropolitanas, ambas concéntricas, formadas durante el proceso de conformación del modelo metropolitano más puro. El resto del espacio se articula a través de los ejes radiales de transporte por carretera que lo conectan con el espacio central, de forma que se está generando un tejido residencial extensivo, cada vez a mayor distancia del espacio central. Se trata, por tanto, de una ciudad compleja, diversa, discontinua, policéntrica y también en parte dispersa.

En el caso de Granada, la descentralización de su población no presenta unos rasgos tan definidos, debido a la conformación de un modelo metropolitano, caracterizado por una periferia urbana de menor entidad. De cualquier manera, se observa, igualmente, la suburbanización progresiva de parte del tejido residencial, organizado en torno a los ejes de comunicación por carretera y a los núcleos urbanos situados en la proximidad al centro de la metrópoli, que han experimentado un fuerte proceso de aglomeración, en muchos casos a través de fenómenos de conurbación entre diversos municipios (Aguilera Benavente, 2008). Aquí también, buena parte de los crecimientos residenciales no han venido justificados por crecimientos de la población, lo que se traduce en un uso cada vez más extensivo del territorio y, por tanto, un consumo mayor de suelo. Así mismo, algunos municipios rurales, situados a mayor distancia, han llegado a convertirse en lugares de segunda residencia, generando un tejido extensivo de menor densidad edificatoria.

El resultado de la transferencia demográfica del volumen de la población a las zonas ocupadas por la función residencial, resultado del análisis realizado en el apartado 3. 1. 4., puede observarse en las figuras 41, 42 y 43 correspondientes a los cuatro años de referencia, reclasificadas de acuerdo a los intervalos de densidad que se muestran en las leyendas adjuntas.

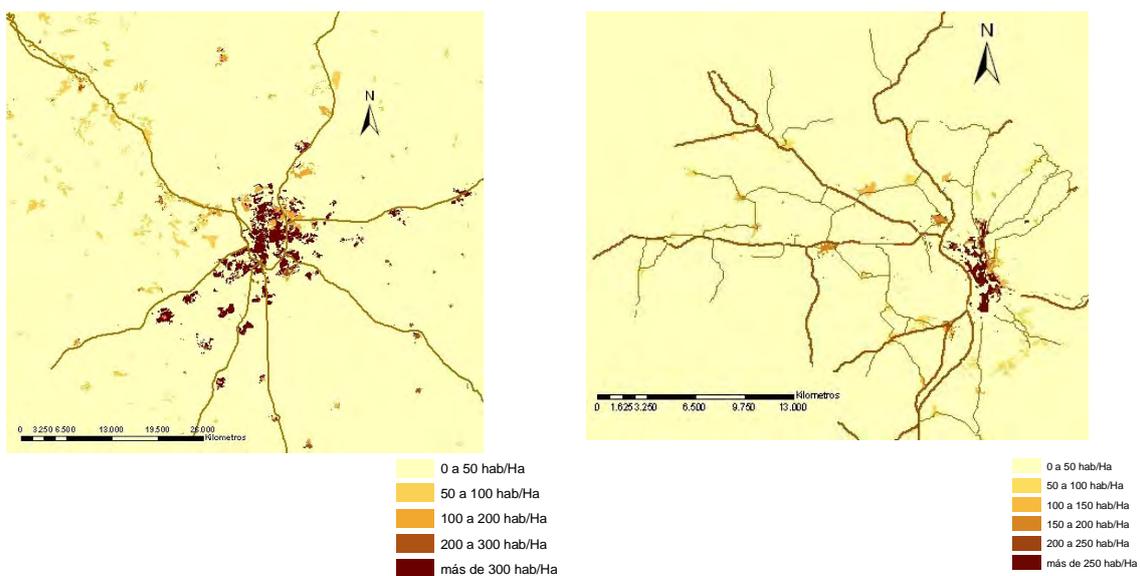


Figura 41. Densidad de población en las aglomeraciones urbanas de Madrid (gráfico izquierdo) y de Granada (gráfico derecho) en el año 1981.

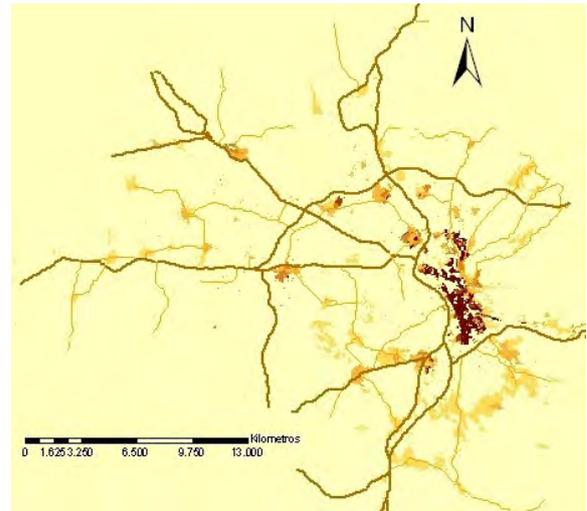
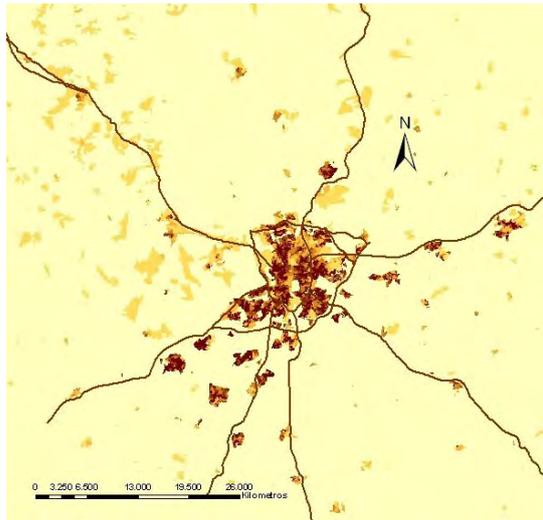


Figura 42. Densidad de población en las aglomeraciones urbanas de Madrid (gráfico izquierdo) y de Granada (gráfico derecho) en el año 1991.

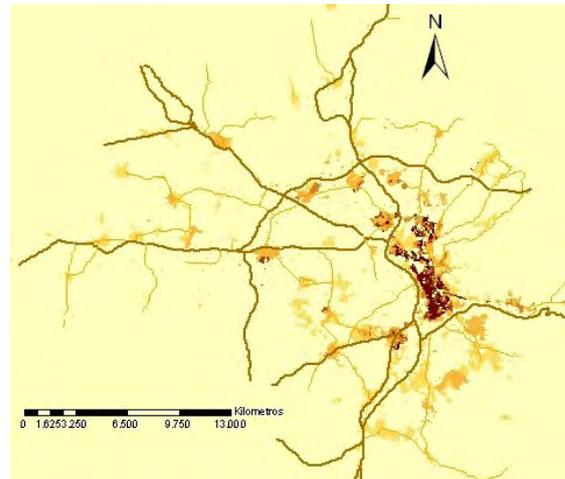
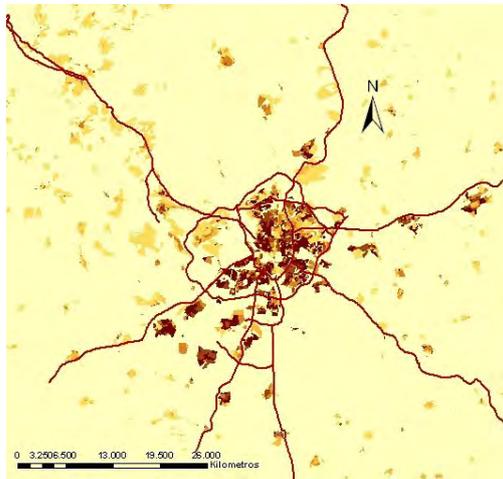


Figura 43. Densidad de población en las aglomeraciones urbanas de Madrid (gráfico izquierdo) y de Granada (gráfico derecho) en el año 2001

Una primera ojeada comparativa de la estructura de la distribución demográfica de la población, en los diversos momentos señalados, permite observar dicha tendencia y la existencia de varios elementos clave que estructuran el territorio. En primer lugar, podríamos destacar el CBD de la ciudad central, como elemento organizador fundamental, circunstancia que se pone de manifiesto en la gradación decreciente de la densidad poblacional existente desde el centro de la metrópoli a la periferia. En segundo lugar, la formación de núcleos secundarios de poblamiento durante el proceso de formación metropolitana (bastante visible, en el caso de Madrid, en los municipios de la malla del sur, integrada, fundamentalmente, por los municipios de Getafe, Leganés, Alcorcón, Móstoles, Fuenlabrada, Parla y Pinto, y el corredor del Henares, integrado por los municipios de Coslada, San Fernando de Henares, Torrejón de Ardoz y Alcalá de Henares) ha transformado estos subcentros en nuevos núcleos organizadores del crecimiento urbano posterior. Además, las carreteras principales (en este caso, consideramos, de forma exclusiva, las autovías de salida de Madrid y Granada) se han convertido, durante estos años, en elementos vertebradores del desarrollo urbano de la ciudad, al atraer, en su proximidad, por la importancia de la accesibilidad en la localización relativa de los usos del suelo, la implantación de las funciones urbanas más importantes (entre ellas la función residencial). Finalmente, puede observarse, en el caso de la región madrileña, una clara diferenciación sectorial en el desarrollo urbano de las zonas norte y oeste de la ciudad, estructuradas en torno a las autovías A1 y A6 (carreteras de Burgos y La Coruña), respecto a las zonas este y sur.

Vamos a considerar, por tanto, estos cuatro factores fundamentales en la organización del crecimiento urbano madrileño, que pueden servir de base para cuantificar la evolución de la estructura de la ciudad medida, tanto por la localización relativa de la población como por la tipología de la vivienda: la distancia al centro principal, la distancia relativa a los subcentros metropolitanos, la proximidad a las principales vías de comunicación por carretera y el sector de la ciudad en el que el mismo tiene lugar.

5. 2. 2. Factores básicos de la estructura residencial de Madrid y Granada. Aparición de algunos rasgos del modelo de ciudad dispersa.

Numerosos trabajos de sociólogos, economistas y geógrafos, desde diferentes puntos de vista, han estudiado el comportamiento de la densidad de población en las grandes áreas urbanas. Los primeros estudios fueron llevados a cabo por Bleicher en la ciudad alemana de Frankfurt. Estas investigaciones conocieron un enorme desarrollo, desde que Colin Clark documentase, de forma convincente, la relación que existe entre densidad de población y distancia. En los años setenta del siglo pasado se corroboraron estas observaciones en numerosas ciudades del mundo (se puede consultar más bibliografía al respecto en Mayor Fernández et al., 2000).

La razón subyacente a las variaciones de densidad en un modelo monocéntrico es evidente: todo el empleo se sitúa en el centro del núcleo urbano. “Los hogares que se localicen en el centro de la ciudad consumirán pequeñas cantidades de vivienda e incurrirán en reducidos gastos de desplazamiento al trabajo, mientras que aquéllos que elijan localizaciones alejadas del centro consumirán mucho más suelo y vivienda, a cambio de mayores desembolsos en transporte (Mayor Fernández et al. 2000). Como nos recuerdan estos mismos autores, el modelo de la ciudad monocéntrica implica que “el espacio se utilizará más intensamente cerca del centro y la densidad de su uso tenderá a disminuir en todas las direcciones al aumentar la distancia. Esta intensidad de uso en lugares cercanos refleja el valor alto (renta) de la tierra debido a la accesibilidad que caracteriza a estos lugares” (Richardson, 1978).

Las medidas de accesibilidad espacial más utilizadas son las distancias que separan cada lugar de los principales centros de referencia: centro (CBD), subcentros y vías de transporte. La influencia de cada una de estas concentraciones vendría medida por su parámetro estimado, denominado *gradiente de densidad*, así como por su nivel de significación. Existen varios modelos de gradiente de densidad que analizan la relación que hay entre la densidad de población y la distancia al centro (abundante bibliografía al respecto se puede encontrar en Zárte (1991). Normalmente, se asume que la densidad de población (o su logaritmo) sigue una función exponencial con la distancia, como ya en su día demostró Clark (1951).

Años más tarde, Sherratt y Tanner modificaron el modelo propuesto por Clark al constatar que la distancia disminuye lentamente cerca del centro, de forma más brusca lejos y suavemente junto a los límites más exteriores (Sherratt y Tanner, 1960). Casi una década después, Newling considera que la densidad es relativamente baja en el núcleo central y se incrementa hasta llegar a un máximo de densidad en los extremos del área central; este hecho da lugar a lo que él llama “crestas de densidad”. Desde allí, la población disminuye exponencialmente de forma negativa hacia los límites exteriores (Newling, 1969).

Para aplicar este procedimiento a la información digital elaborada, hemos utilizado determinados módulos disponibles en el SIG con el que hemos realizado el estudio⁴, que permiten la medición del volumen de población dentro de un buffer o área de proximidad a un elemento estructurante (punto, en el caso de un centro o subcentro urbano; y línea, en el caso de una carretera o vía de comunicación urbana) a una distancia dada, como suma de los volúmenes de población parciales existentes en cada uno de los píxeles comprendidos dentro de dicha zona de proximidad.

⁴ En nuestro caso, hemos utilizado el Sistema de Información Geográfica IDRISI, en su versión Taiga.

Gradiente de densidad desde el centro de la metrópoli

La mayoría de las grandes ciudades del mundo se encuentra en un proceso de suburbanización, caracterizado por el abandono del centro de la región metropolitana en favor de localizaciones más periféricas. Diversos factores han motivados estos cambios en las preferencias de localización de la población y las actividades económicas (costes de transporte, congestión, elevado precio del suelo, etc.). No obstante, los modelos teóricos adaptados a las ciudades norteamericanas se deben aplicar con cierta cautela a la realidad urbana europea. El CBD de una ciudad norteamericana, donde el empleo se concentra en grandes rascacielos, no es equiparable al “distrito central” de cualquier ciudad europea, donde residencia y empleo conviven, no solo en el centro sino en todo el municipio.

La mayor parte de la bibliografía sobre identificación de concentraciones periféricas de agentes económicos ha utilizado el factor “empleo” como la variable de análisis más significativa. “Probablemente esta forma de actuar está condicionada por el origen de las metodologías propuestas, principalmente de Estados Unidos, y a la influencia de los modelos teóricos de la Nueva Economía Urbana (NEU), tanto monocéntricos como policéntricos, donde el papel protagonista lo ostenta el empleo, mientras que la población sigue al empleo” (García-López, 2008).

En nuestra investigación, como hemos indicado anteriormente, utilizamos el factor residencial, al que se ha transferido el volumen de la población, como una importante variable para comprobar el grado de acercamiento de ambas ciudades al modelo de ciudad dispersa.

La medición de la densidad de la superficie residencial y la densidad de población desde el CBD ha sido realizada a través del SIG indicado, mediante las operaciones que quedan reflejadas en los diagramas adjuntos (figuras 44 y 45). A partir de la información relativa a los usos residenciales de cada año (capa digital de ocupación del suelo residencial), mediante un proceso de reclasificación, hemos seleccionado, en una nueva capa, el casco de la capital, o CBD, del que posteriormente se ha identificado su centroide. Desde éste, se han calculado las distancias y reclasificado en una serie de coronas sucesivas (de cinco en cinco kilómetros al centro de Madrid y de dos en dos kilómetros para el centro de Granada) (figura 46). La intersección de la información del uso residencial y la población en el número de píxeles de cada corona, nos ha servido para calcular los respectivos gradientes, tanto de la densidad de la superficie residencial como la densidad de población.

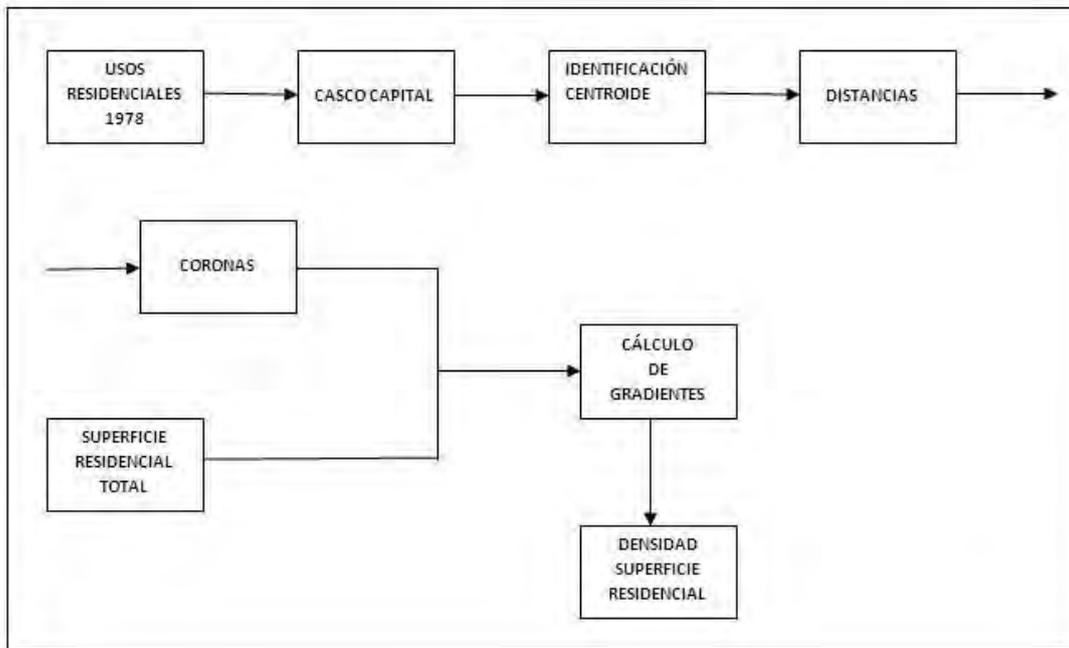


Figura 44. Procedimiento utilizado en la medición de los gradientes de densidad de la superficie residencial desde el CBD

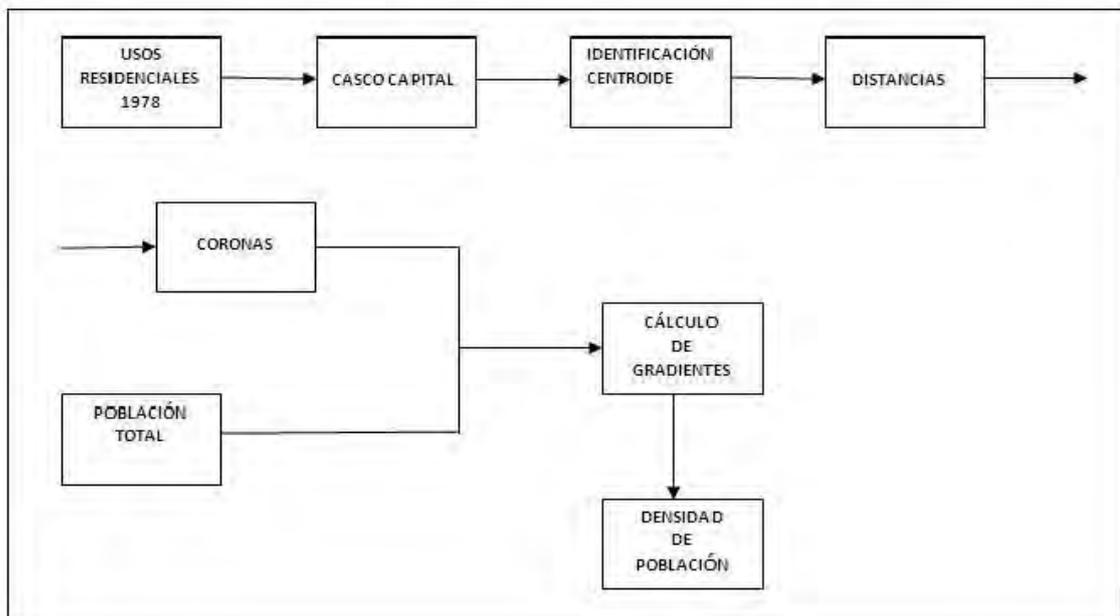


Figura 45. Procedimiento utilizado en la medición de los de los gradientes de densidad de la población desde el CBD

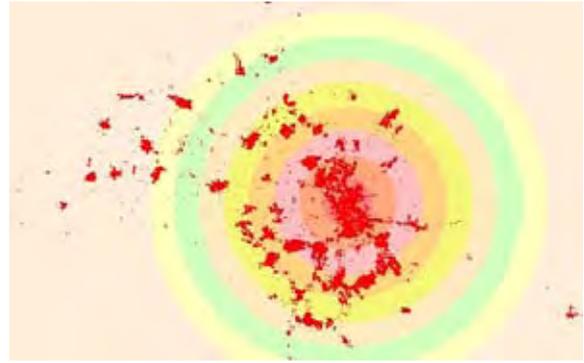


Figura 46. Identificación de coronas de distancia a los respectivos centros de las metrópolis de Madrid (buffers de 5000 metros) y de Granada (buffers de 2000 metros).

En una ciudad monocéntrica, el espacio se utilizará más intensamente cerca del centro de la ciudad y la densidad de su utilización tenderá a disminuir al aumentar la distancia. En el caso de Madrid, durante las últimas décadas, la aparición de ciertos rasgos, tendentes a la dispersión pueden comprobarse, con facilidad, si comparamos la evolución de la superficie de suelo residencial ocupada entre los años 1981, 1991, 2001 y 2006. Proporcionalmente, a medida que ha pasado el tiempo, el incremento de suelo residencial ocupado ha crecido más a mayor distancia del centro de la metrópoli (figura 47).

En cuanto al porcentaje de crecimiento de la superficie residencial, se constata, a partir de los años noventa, un aumento progresivo y más uniforme a lo largo de todo el territorio, que refleja un proceso incesante, y continuo en el espacio, de expansión urbana. Este crecimiento de la superficie residencial en el territorio de la Comunidad de Madrid ha estado, pues, marcado por un movimiento de difusión en ondas, que reduce de forma constante las cifras de la ciudad de Madrid y desplaza las mayores tasas de crecimiento a coronas cada vez más alejadas. La mejora de las infraestructuras de transporte y una mayor permisividad urbanizadora de las Directrices de Ordenación Territorial dieron lugar a una rápida expansión de la superficie residencial en coronas que superan ampliamente los municipios más cercanos a la ciudad de Madrid (Méndez, 2001-2).

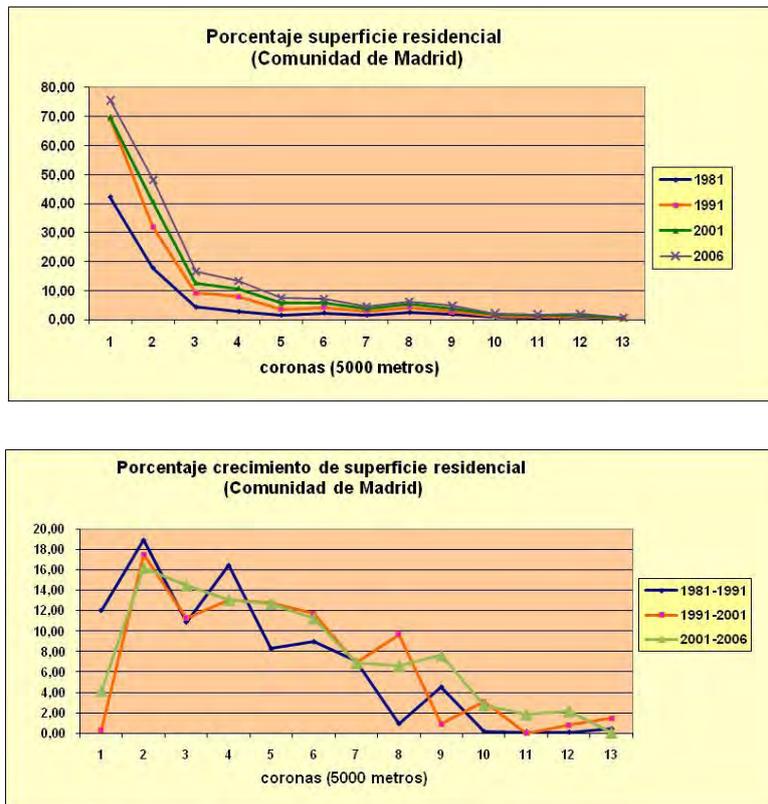


Figura 47. Evolución de la superficie de suelo residencial en la aglomeración urbana de Madrid

Un rasgo fundamental asociado a los nuevos modelos de crecimiento urbano se encuentra en la discontinuidad espacial de las nuevos territorios periféricos, donde predominan desarrollos residenciales aislados, entre los que permanecen espacios de usos mixtos (rural, servicios, industrias, etc.). Frente a un modelo de crecimiento de la ciudad en décadas anteriores, que se producía en forma de “mancha de aceite”, a partir de los ochenta (antes en la aglomeración madrileña que en Granada) la expansión de la ciudad se produce mediante el denominado mecanismo de “salto de rana”, que da lugar a un espacio urbano discontinuo, separado por intersticios rurales, donde la dualidad campo-ciudad ya no es tan visible (Menor Toribio, 1997). Este modelo de crecimiento y la fragmentación del tejido urbano obedecen a una serie de factores: por una parte, la expansión de la ciudad se justifica por la necesidad de mejorar el tipo de vivienda, por otra, la facilidad y la promoción de créditos hipotecarios accesibles propició también el acceso a este tipo de viviendas aisladas a un mayor número de habitantes, que se instalaron en distintas urbanizaciones en función de su poder adquisitivo.

Esta transformación del suelo no urbano a residencial ha seguido fielmente la tendencia típica del modelo de ciudad dispersa, al no existir una correspondencia del aumento de suelo para la vivienda con respecto al crecimiento de la población. Si, como acabamos de ver, el crecimiento del suelo residencial en la Comunidad de Madrid, ha ido aumentando progresivamente a unas distancias del CBD cada vez mayores, el

crecimiento de la población no ha seguido los mismos parámetros. Estamos asistiendo, actualmente, a que la descentralización de determinadas actividades en el territorio se traduce en un incremento espectacular del consumo de suelo, una de las manifestaciones más claras del fenómeno "sprawl", que conlleva un consumo exagerado de determinados recursos como el suelo y la energía, amén de los problemas de contaminación consecuentes. Por ello, no es de extrañar que la población, aunque se haya ido localizando en áreas cada vez más periféricas, no ha influido en variaciones espectaculares en cuanto a su densidad. En efecto, las cifras de crecimiento del número de viviendas son muy elevadas y apenas guardan relación con la dinámica poblacional: el número de habitantes creció en el decenio 1991-2001 un 9,6% y el de viviendas se incrementó un 26,7%, casi triplicando esa dinámica (Lopez Lucio, 2003). Se trata de un crecimiento superficial desproporcionado, en relación a la evolución de la población, que se explica no sólo por factores sociodemográficos, sino también y en gran medida por las características de estos nuevos espacios residenciales. La reducción del tamaño medio de los hogares, la baja densidad de los nuevos desarrollos urbanos y el continuo aumento del número de viviendas secundarias y vacías son factores que juegan un importante papel en la formación de estos espacios residenciales (García Palomares, Gutiérrez Puebla, 2006).

La tasa de crecimiento de la superficie residencial es mayor que la de la población, por lo que la densidad demográfica es menor en estos espacios. Si a este consumo de suelo se añade el espacio ocupado por las infraestructuras, por los espacios productivos y de ocio y los espacios de carácter rural, se tienen todos los elementos que caracterizan el crecimiento urbano disperso.

Desde un punto de vista de la distribución espacial de la población, como podemos observar en la figura 48, aunque la tendencia siga un gradiente claramente descendente con la distancia, su estructura ha sufrido también evidentes transformaciones. Si en el modelo tradicional, las densidades más elevadas se encontraban en el centro y descendían suavemente hacia la periferia, en la actualidad, el nuevo modelo de crecimiento se caracteriza por la existencia de varias áreas de densidades máximas, excéntricas y discontinuas (Escolano et al. 2006).

Se trata, pues, de un proceso de expansión urbana donde el principal responsable del creciente consumo de suelo es el sector residencial, apoyado sobre un importante aumento del suelo ocupado por infraestructuras de transporte y un cierto estancamiento de la población (García-Lopez, Muñiz, 2007).

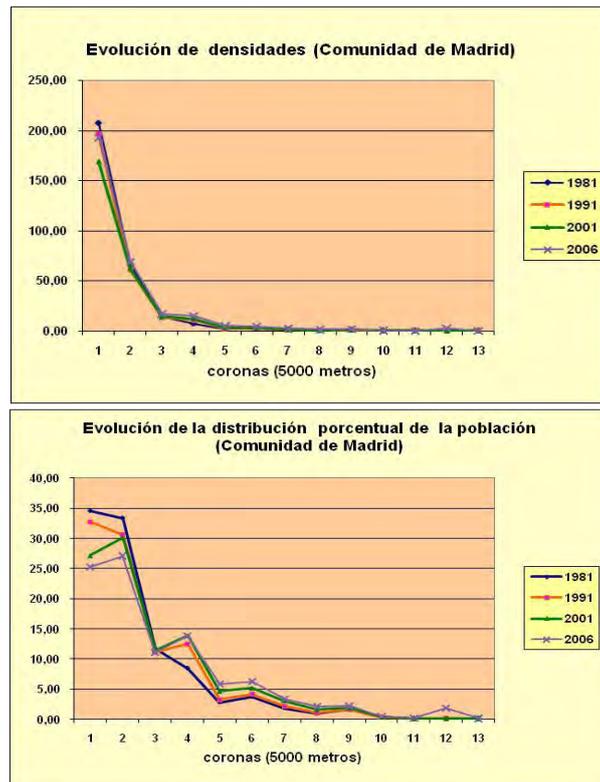


Figura 48. Evolución de la densidad de población (hab/ha), en la aglomeración urbana de Madrid.

Este nuevo modelo de expansión urbana, marcado por la dispersión, la fragmentación y las bajas densidades, característico de los ochenta y noventa, no fue uniforme en todo el territorio de la Comunidad de Madrid, como veremos más adelante; si en el Este y Sur predominaba un crecimiento urbano mucho más compacto, en el Oeste y Norte tuvo lugar un modelo de crecimiento urbano más disperso y aislado en el espacio.

Ya en la primera década del presente siglo, estas dos importantes variables - crecimiento suelo urbano disperso y estancamiento de la población - no se manifiestan con la misma intensidad; en la actualidad, en la Comunidad de Madrid se tiende a un desarrollo cada vez más compacto al mismo tiempo que existe un aumento del volumen de población a causa de la inmigración.

Parecido comportamiento lo podemos comprobar en la ciudad de Granada (figura 49, aunque se puede observar que la fuerte descentralización sufrida en el periodo 1981-91 no siguió los mismos parámetros en el periodo siguiente (1991-2001). En la década de los setenta, el sector de la construcción y un sector servicios cada vez más pujante, atrajo hacia la capital a numerosos inmigrantes de otras comarcas más deprimidas, consolidándose la centralidad de Granada. La aglomeración urbana de Granada se configuraba, en este periodo, como una comarca en la que la ciudad central era el único núcleo de importancia y principal consumidor de suelo, la cual se

encontraba rodeada de un conjunto de núcleos urbanos de carácter rural (Aguilera Benavente, 2008). A finales de la década, “el crecimiento urbano se produce por expansiones del núcleo central y de los núcleos históricos del área metropolitana. Se crea una continuidad espacial con los suelos urbanos ya existentes, y resulta un proceso de extensión de las tramas urbanas previas” (Fernández Caldera, 2004). Frente a este tipo de crecimiento “compacto”, en las décadas posteriores aparecen formas de crecimiento “disperso”, siendo las edificaciones aisladas de segunda residencia y polígonos industriales las más destacadas. Este proceso centrífugo de la capital, prácticamente universal en las sociedades post-industriales, contrasta con la fuerte capacidad centrípeta que hasta hace pocos años desempeñaba la ciudad central (Saenz Lorite, 1996). Así, a partir de los ochenta, en la aglomeración urbana de Granada se asiste a un proceso de suburbanización: el anillo urbano crece a costa del centro compacto principal, lo que desemboca en un modelo de crecimiento urbano más disperso, un elevado porcentaje de consumo extensivo del suelo y una mayor dependencia de las infraestructuras viarias. Asimismo, cuando las primeras coronas metropolitanas crecen a costa del centro compacto principal, pero a su vez se tiende a concentrar más el crecimiento en unos municipios que en otros, es cuando se podría hablar de policentrismo (Sánchez del Árbol, 1999).

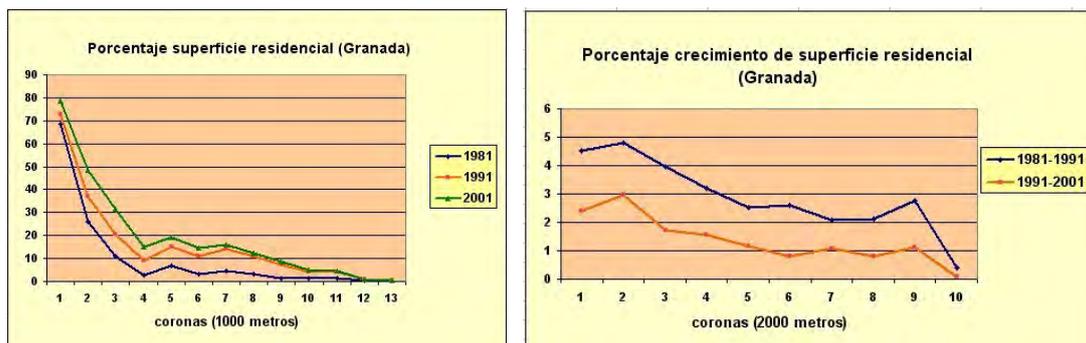


Figura 49. Evolución de la superficie de suelo residencial en la aglomeración urbana de Granada

Esta transformación del suelo no urbano a residencial ha seguido la tendencia típica del modelo de ciudad dispersa, al no existir una correspondencia del aumento de suelo para la vivienda con respecto al crecimiento de la población. Estamos asistiendo, actualmente, a que la descentralización de determinadas actividades en el territorio se traduce en un incremento espectacular del consumo de suelo, una de las manifestaciones más claras del fenómeno del "sprawl". Por ello, no es de extrañar que la población, aunque se haya ido localizando en áreas cada vez más periféricas, no ha influido en variaciones espectaculares de la densidad de población. Esta tendencia sigue un gradiente claramente descendente con la distancia, como podemos observar en la figura 50.



Figura 50. Evolución de la densidad de población (hab/ha), en la aglomeración urbana de Granada.

Debido a que para determinar mejor los factores se ha de conocer bien el comportamiento de las distintas variables, resulta necesario comprobar si existe una correlación entre la densidad de población y la distancia al centro urbano. En la figura 51, se refleja el elevado índice de correlación que existe entre ambas variables en el caso de la Comunidad de Madrid. El mismo comportamiento se atestigua en la aglomeración urbana de Granada, como lo podemos observar en la figura 52⁵.

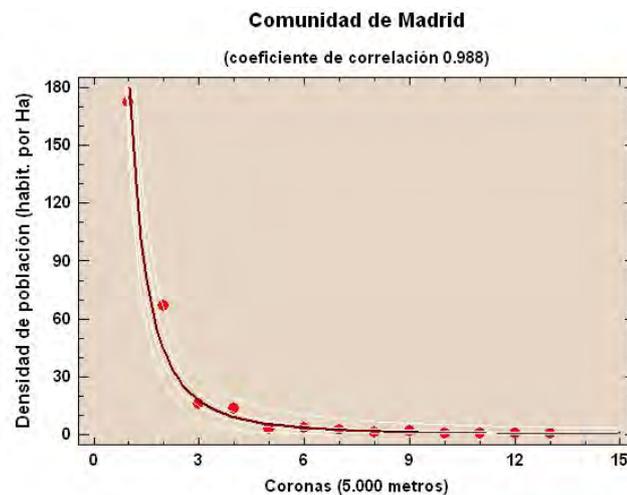


Figura 51. Coeficiente de correlación entre la densidad de población y la distancia al centro urbano, en la Comunidad de Madrid

⁵ Ambos coeficientes de correlación se han calculado utilizando el paquete de programas estadísticos Statgraphics, a partir de los valores medios de la densidad de la población, obtenidos mediante el SIG Idrisi.

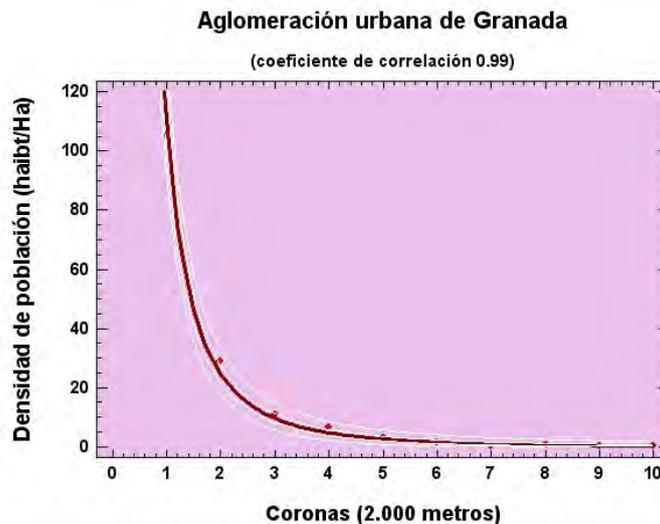


Figura 52. Coeficiente de correlación entre la densidad de población y la distancia al centro urbano, en la aglomeración urbana de Granada

Gradiente de densidad desde los principales subcentros de la metrópoli

Como ya antes indicábamos, en el marco de la estructura espacial de las ciudades, entendida como el grado de concentración de la población y del empleo y su distribución espacial en el territorio metropolitano, no existe una división neta y precisa que separe claramente policentrismo y dispersión.

Hoy en día, desde la perspectiva de la Nueva Economía Urbana (NEU) se proponen modelos más flexibles, donde policentrismo y dispersión son equilibrios posibles a los que se accede en función de una serie de fuerzas centrífugas y centrípetas que entran en juego (economías de aglomeración, congestión, costes de transporte, etc.) (White, 1999).

“El policentrismo –o multinucleación en la literatura europea- puede definirse, pues, como aquel proceso mediante el cual una ciudad se aleja paulatinamente de una estructura espacial caracterizada por la existencia de un solo centro de empleo, dirigiéndose hacia una nueva donde coexisten varios centros de empleo del mismo o de diferente orden jerárquico. La existencia de estructuras urbanas policéntricas resulta cada vez más evidente tanto en Europa como en Estados Unidos” (Muñiz, Galindo y Garcia, 2005). Siguiendo a estos autores, el policentrismo en Estados Unidos surge de la descentralización del empleo; en las periferias aparecen nuevos subcentros que recogen aquello que el CBD expulsa (*edge cities*, distritos industriales, parques tecnológicos, campus universitarios, etc.).

Los subcentros de los sistemas policéntricos europeos suelen ser ciudades de tamaño medio que cuentan con una larga historia. En Europa, la ciudad continúa

expandiéndose, espacialmente, aunque no tanto mediante un proceso de *absorción*, sino de *integración*. “Aquellos núcleos de población y actividad de menor tamaño, que en el pasado pudieron resistir la capacidad succionadora de la ciudad principal, gracias a disponer de una trayectoria de crecimiento propia y estar situados a una distancia suficiente, están siendo integrados en el ámbito de influencia de la ciudad principal”, como es el caso de Barcelona, donde existen varias ciudades policéntricas y un centro destacado. En el otro caso, ciudades de similares características, entre las que no existía un claro centro dominante, tienden a fusionarse: un claro ejemplo sería el Randstad holandés (Muñiz, Galindo, García 2005). La existencia de una desconexión entre ambos enfoques ha generado estrategias de investigación aplicada claramente divergentes.

En la actualidad, sigue abierto el debate acerca de las vinculaciones entre estos dos modelos de crecimiento. Si muchos autores los consideran como modelos alternativos, existe también numerosa bibliografía, de naturaleza cuantitativa, donde el policentrismo se considera como una de las formas que adopta la dispersión (García López y Muñiz 2007). Significa ello que el fenómeno de la dispersión en el territorio tiene lugar en fases, de manera, que al gradiente de dispersión más puro del CBD de una ciudad, se sobrepone la estructura policéntrica, para originar nuevos gradientes a considerar con el anterior.

La mayoría de los trabajos sobre identificación de subcentros utiliza el empleo como la variable de análisis más relevante. En nuestra investigación utilizamos la variable de uso residencial y de población como factor explicativo del proceso de transformación de una estructura espacial monocéntrica a otra de tipo disperso o policéntrica.

La metodología utilizada para hallar la densidad de la superficie residencial y la densidad de población, desde cada uno de los subcentros analizados, queda reflejada en los diagramas adjuntos de las figuras 54 y 55. A partir de la información digital de los usos residenciales del año 1978, mediante un proceso de reclasificación, hemos obtenido una nueva capa, donde quedan reflejados los cascos antiguos de cada uno de los municipios externos a la aglomeración urbana central. En esta capa, hemos identificado los centroides de cada uno de los cascos seleccionados, desde los que se han calculado las distancias y reclasificado en una serie de coronas de idéntico espesor (500 metros) (figura 53).

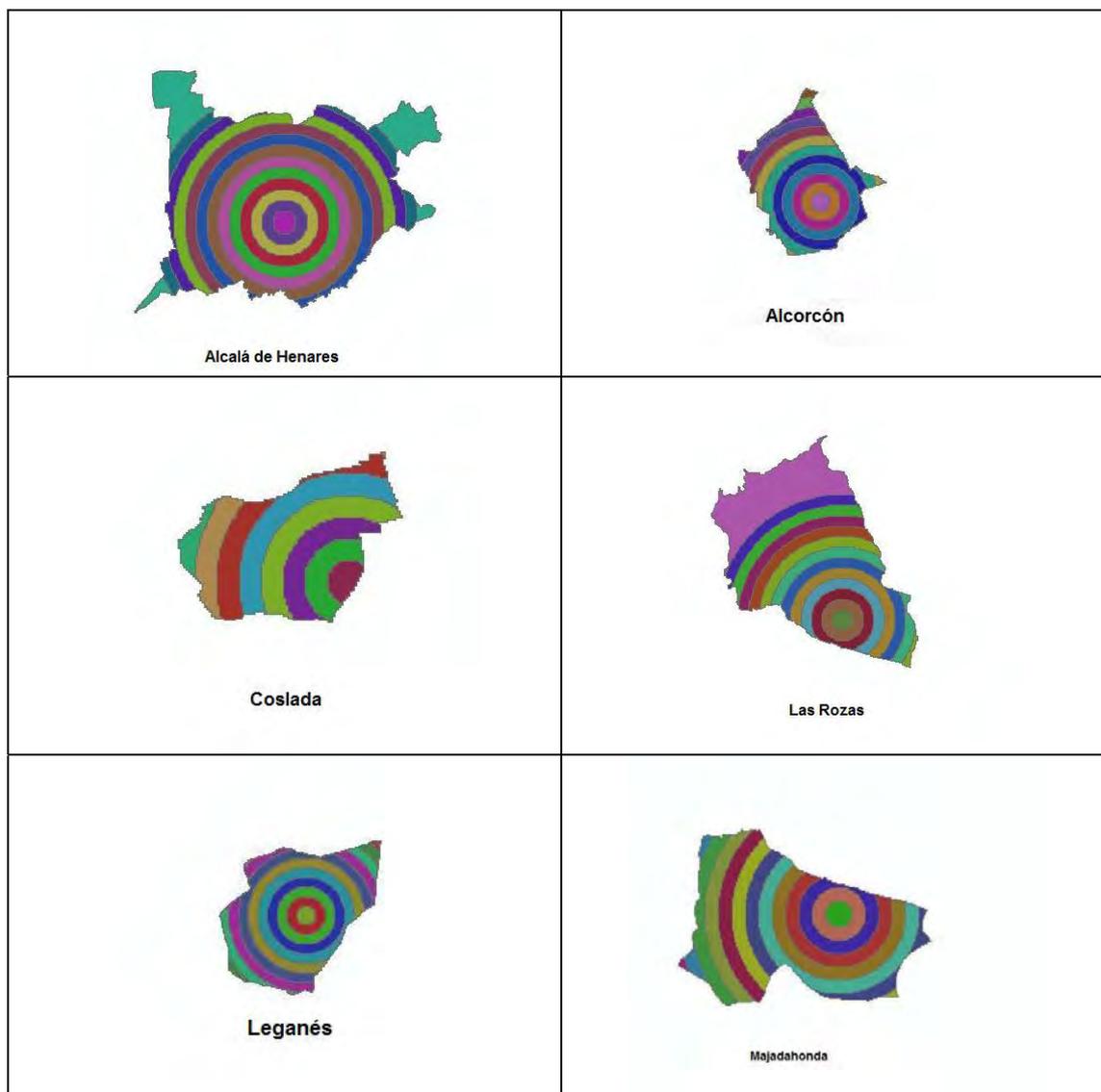


Figura 53. Identificación de coronas de distancia a los respectivos centros (500 metros) de algunos de los municipios seleccionados de la Comunidad de Madrid.

Para hallar la densidad de población y la densidad de superficie residencial de dichas coronas la metodología utilizada ha sido la siguiente. Una vez obtenida la imagen de cada uno de los municipios seleccionados, a partir de la reclasificación del mapa general de municipios, mediante una superposición con la capa de la población total, se obtiene una nueva capa de la población por cada municipio. Finalmente, mediante una intersección se vuelca la población o superficie residencial en el número de píxeles de cada corona, hallando, a partir de esta información, los respectivos gradientes de densidad de población.

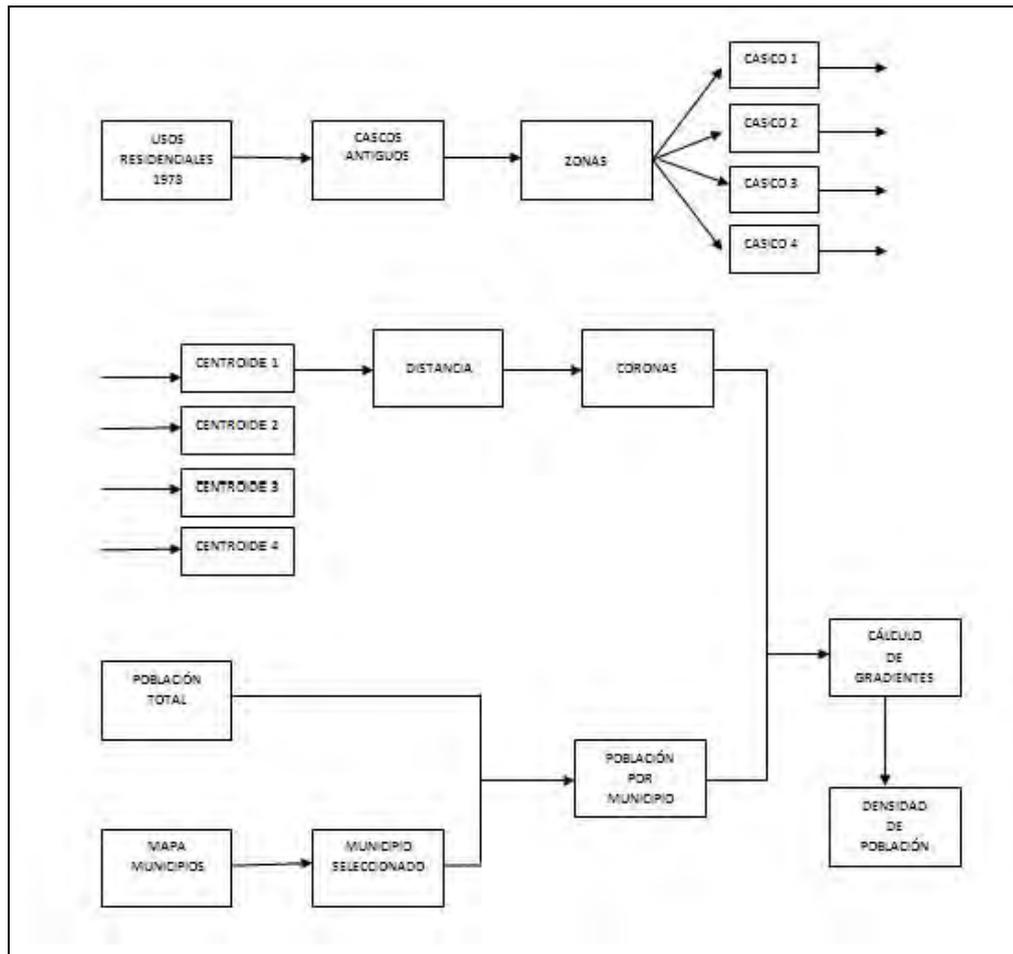


Figura 54. Procedimiento utilizado en la medición de los de los gradientes de densidad de la población desde cada uno de los subcentros seleccionados.

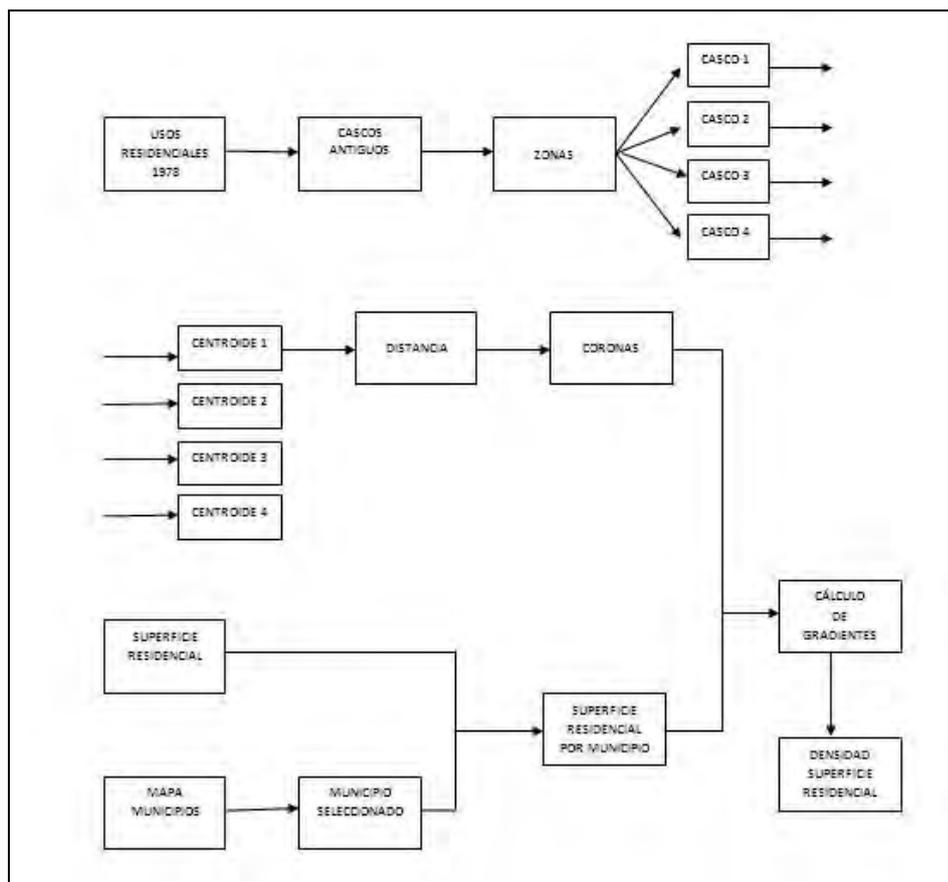


Figura 55. Procedimiento utilizado en la medición de los de los gradientes de densidad de la superficie residencial desde cada uno de los subcentros seleccionado.

En el caso de la aglomeración urbana madrileña, el modelo urbanístico, fruto de un largo periodo de maduración, se caracteriza por la existencia de un conjunto de núcleos urbanos secundarios, que surgieron en el momento de la consolidación del modelo metropolitano tradicional. Cada uno de estos subcentros, situados a una distancia de entre 20 y 40 kilómetros, respecto del municipio central, están formados por un elevado porcentaje del suelo urbano bajo la forma de casco antiguo y ensanche, al que se ha unido los últimos tiempos un relativo porcentaje de viviendas unifamiliares y polígonos de vivienda.

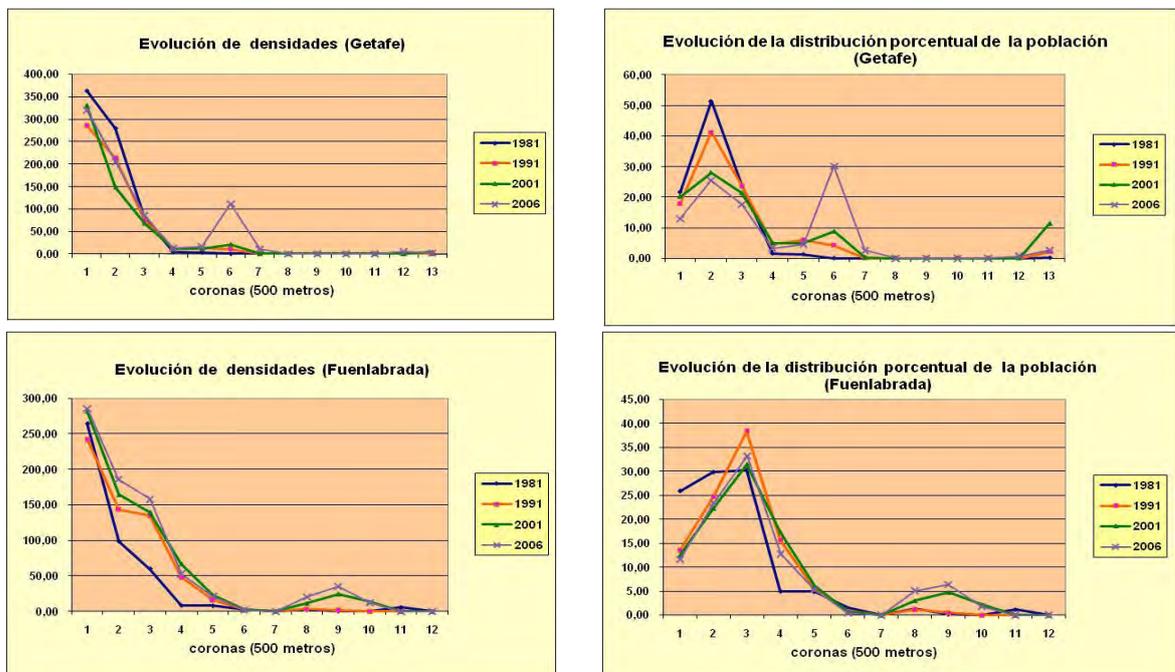
En las siguientes figuras (56 a 63), mostramos la evolución del gradiente de densidad de población y de la superficie residencial en una serie de municipios pertenecientes a cada uno de los sectores geográficos identificados de la Comunidad de Madrid. La principal conclusión que puede extraerse al contemplar estos gráficos es que la evolución de dichos gradientes se encuentra fuertemente influenciada por su situación en el sector geográfico correspondiente.

Desde los años sesenta del pasado siglo, el encarecimiento de los precios del suelo y de la vivienda provocó un flujo demográfico muy importante, de salida de la capital hacia los municipios de las primeras coronas. Este movimiento centrífugo se

regía por dos motivos claramente diferenciados en función de la situación geográfica de acogida. En el caso de los municipios del Sur y del Corredor del Henares (Getafe, Fuenlabrada, Leganés o Torrejón de Ardoz) la descentralización de la industria hacia estos espacios supuso un incentivo de primer orden. Por el contrario, en los municipios del Norte, y sobre todo del Oeste (Majadahonda, Las Rozas, Pozuelo) de mayor calidad ambiental y valoración social, ofrecen espacios menos congestionados (Méndez, 2001-2).

El gradiente de densidad de población desde cada subcentro sigue una línea decreciente, como en el caso del CBD, en todos ellos; sin embargo, existen diferencias notables en su evolución, tanto desde un punto de vista espacial como cronológico. Así, por ejemplo, los municipios del área Sur de Madrid y del Corredor del Henares se caracterizan por su mayor índice de compacidad: el gradiente de densidad sigue un pronunciado descenso con la distancia. En el municipio de Fuenlabrada y, en mayor medida, en el de Getafe se observa en el último periodo analizado (2001-2006) una mayor densidad demográfica en las coronas más alejadas, fruto de las nuevas operaciones urbanísticas llevadas a cabo en estos municipios.

Frente a ellos, los municipios situados en los sectores Oeste y Norte de la Comunidad presentan un tipo de crecimiento más disperso, que comienza ya a partir de la década de los ochenta. Pozuelo de Alarcón, Las Rozas o Alcobendas presentan una densidad poblacional más repartida por todo su territorio, fruto de urbanizaciones de baja densidad y bastante alejadas unas de otras.



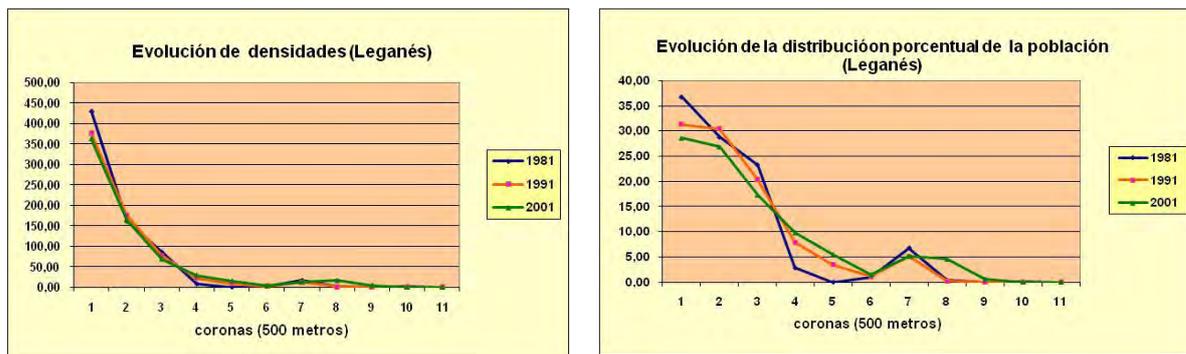


Figura 56. Evolución del gradiente de densidad de población (hab/ha) de los municipios madrileños de Getafe, Fuenlabrada y Leganés (Sector Sur).

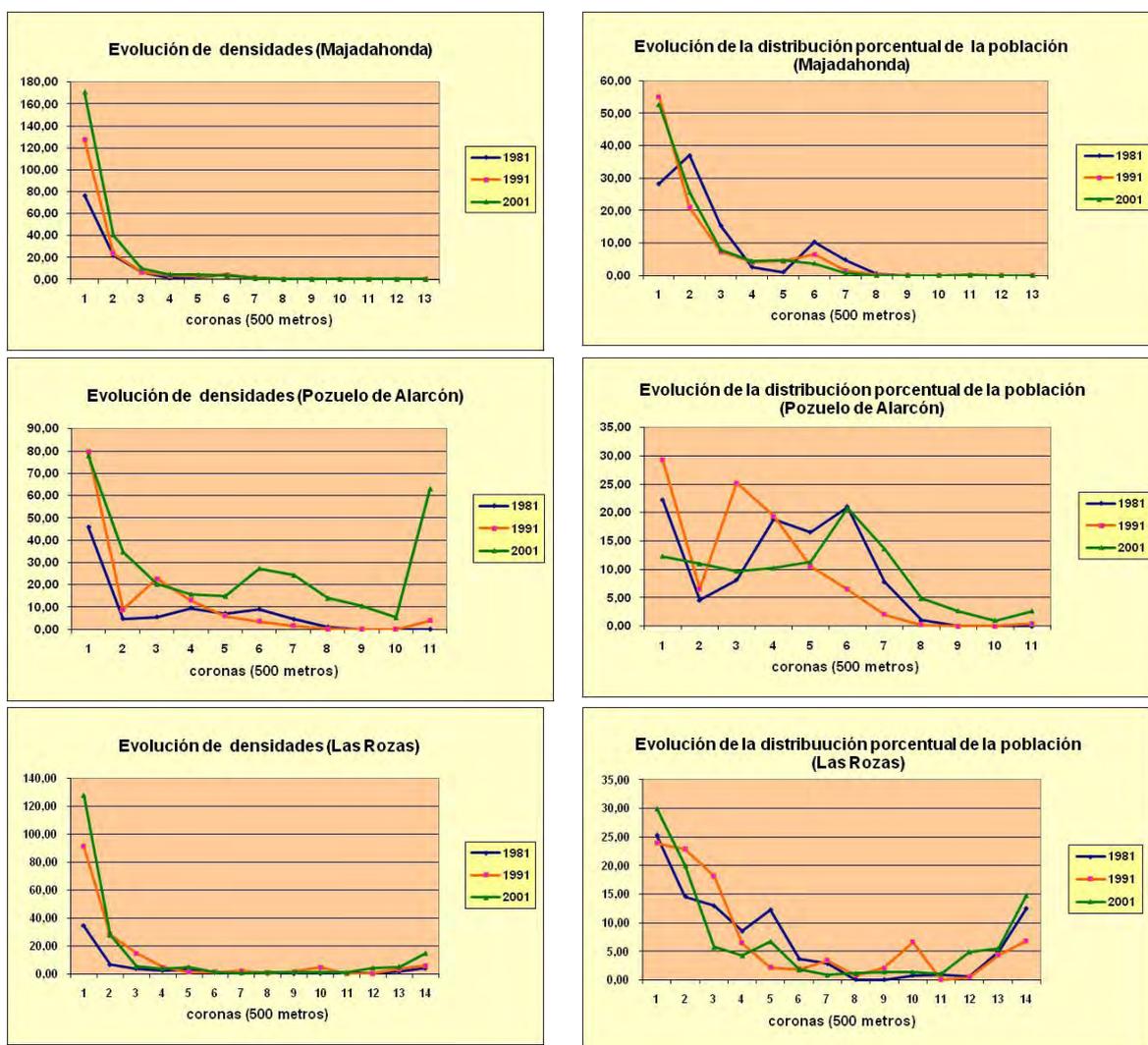


Figura 57. Evolución del gradiente de densidad de población (hab/ha) de los municipios madrileños de Majadahonda, Pozuelo de Alarcón y Las Rozas (Sector Oeste).

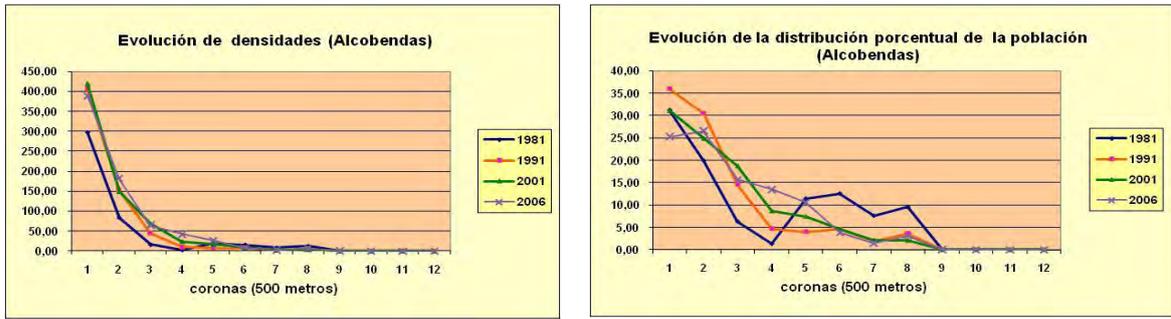


Figura 58. Evolución del gradiente de densidad de población (hab/ha) del municipio madrileño de Alcobendas (sector Norte).

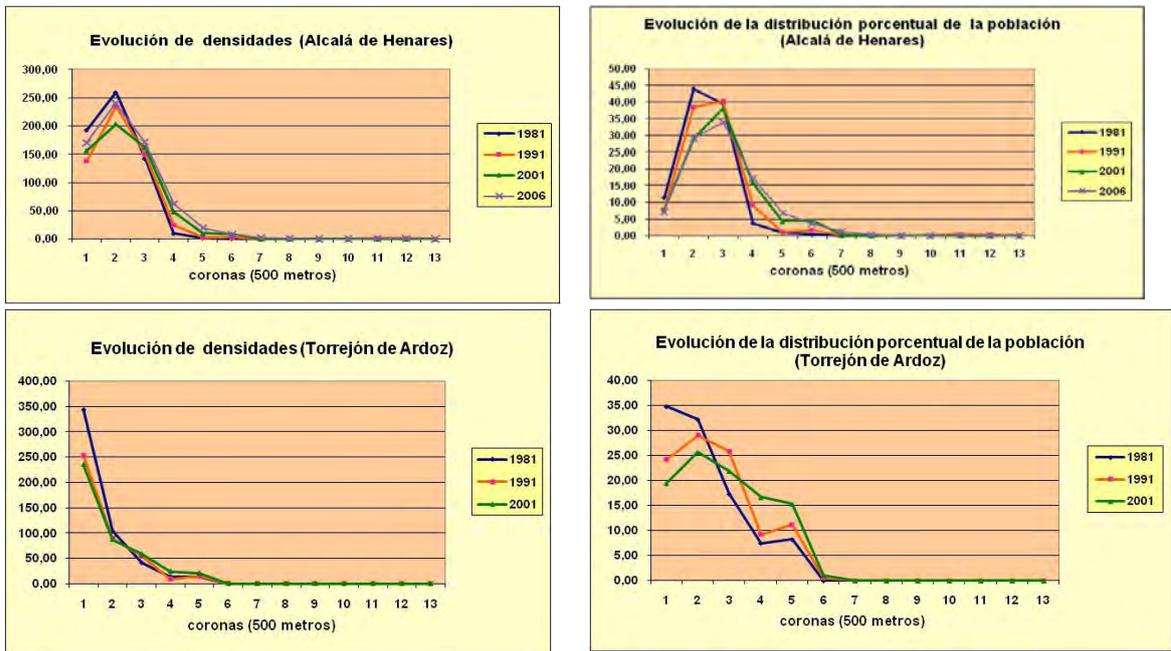


Figura 59. Evolución del gradiente de densidad de población (hab/ha) de los municipios madrileños de Alcalá de Henares y Torrejón de Ardoz (sector Este)

En cuanto a los gradientes de densidad de ocupación del suelo residencial desde los centros urbanos de cada uno de los municipios, de nuevo, existen patrones claramente diferenciados según el territorio donde el desarrollo haya tenido lugar. Los municipios situados en los sectores Sur y Este de la Comunidad presentan una mayor compacidad si bien, en los últimos años, se observan ya una serie de urbanizaciones cada vez más alejadas del casco urbano, como queda reflejado en el mayor peso que van adquiriendo las coronas exteriores.

Por el contrario, en los municipios de los sectores Oeste y Norte de Madrid, la superficie residencial se encuentra ampliamente repartida por todo el territorio; se trata de urbanizaciones con un excesivo consumo de suelo y una baja densidad población, rasgos que caracterizan a un tipo de crecimiento disperso, que data ya desde la década de los ochenta. El municipio de Las Rozas refleja fielmente este modelo de crecimiento

urbano, con un suelo mucho más ocupado que, por ejemplo, el municipio de Majadahonda.

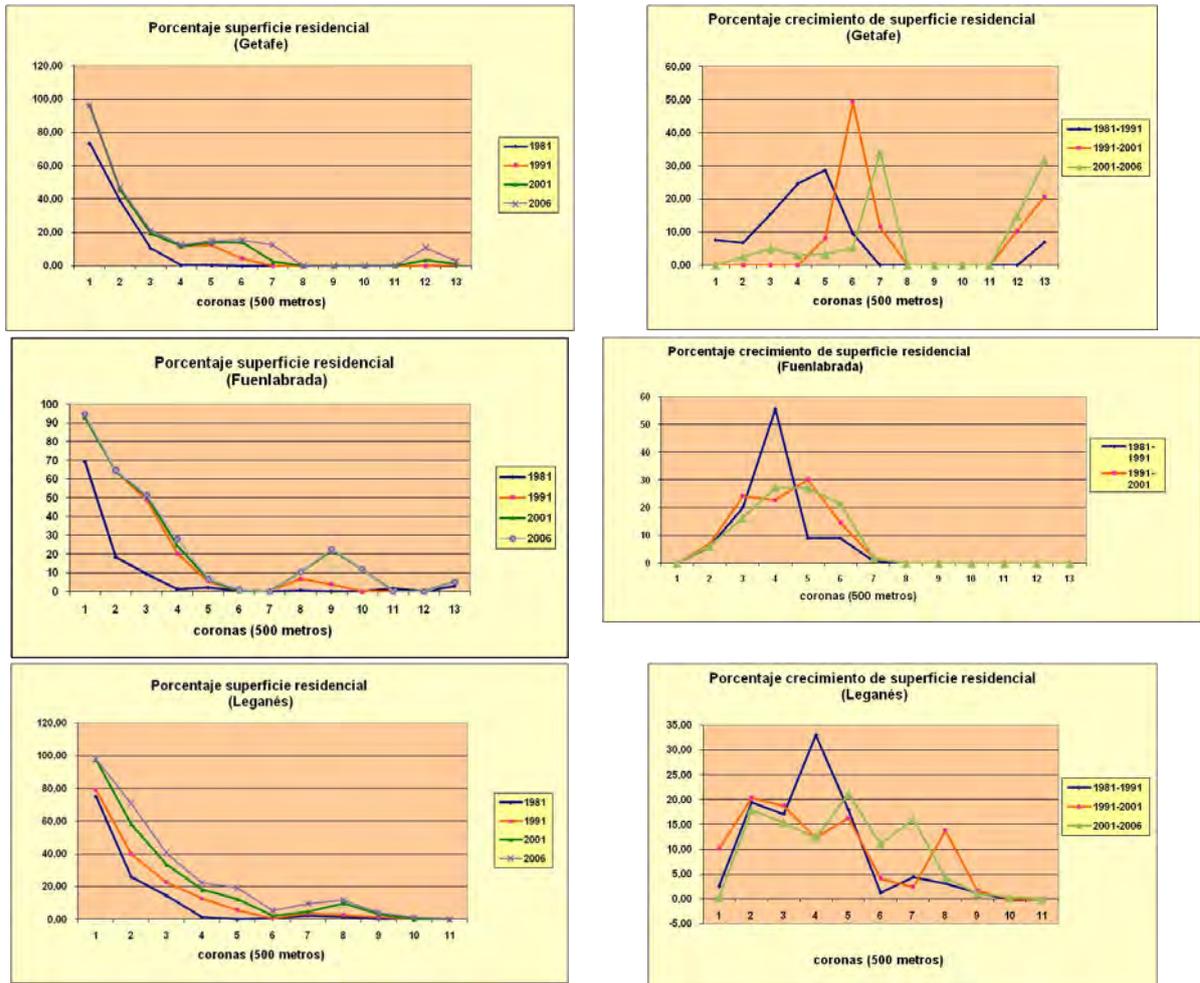


Figura 60. Evolución de la superficie de suelo residencial en los municipios madrileños de Getafe, Fuenlabrada y Leganés (sector Sur).

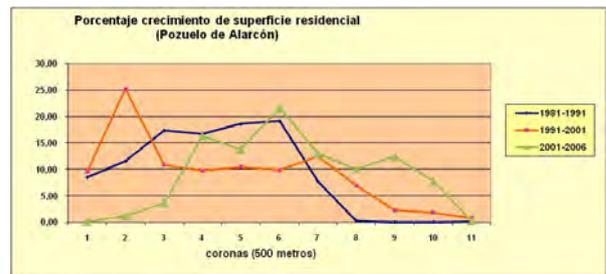
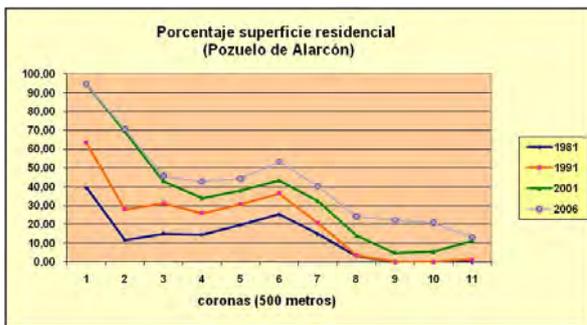
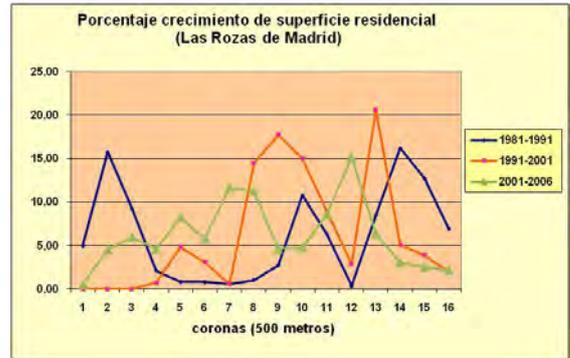
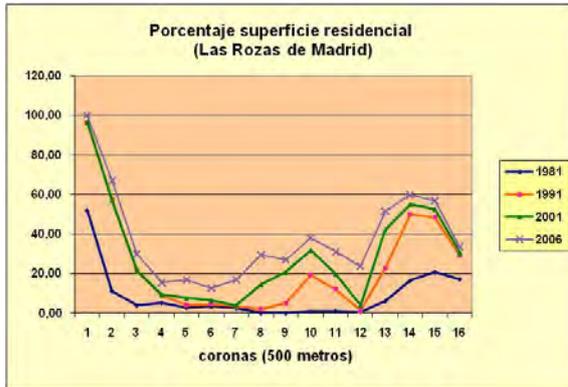
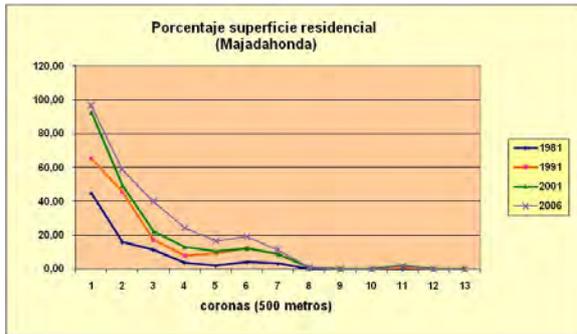


Figura 61. Evolución de la superficie de suelo residencial en los municipios madrileños de Majadahonda, Pozuelo de Alarcón y Las Rozas (sector Oeste).

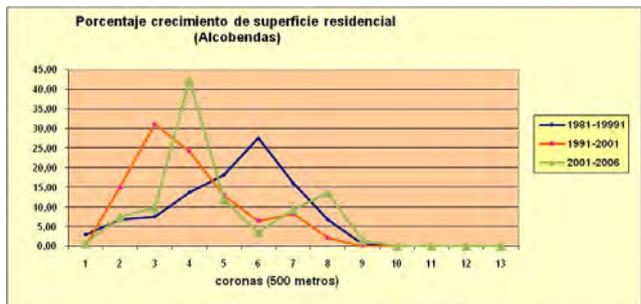
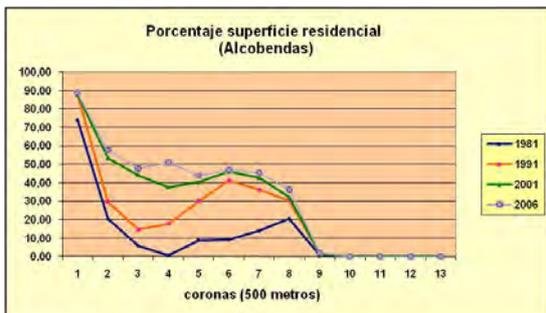


Figura 62. Evolución de la superficie de suelo residencial en el municipio madrileño de Alcobendas (sector Norte).

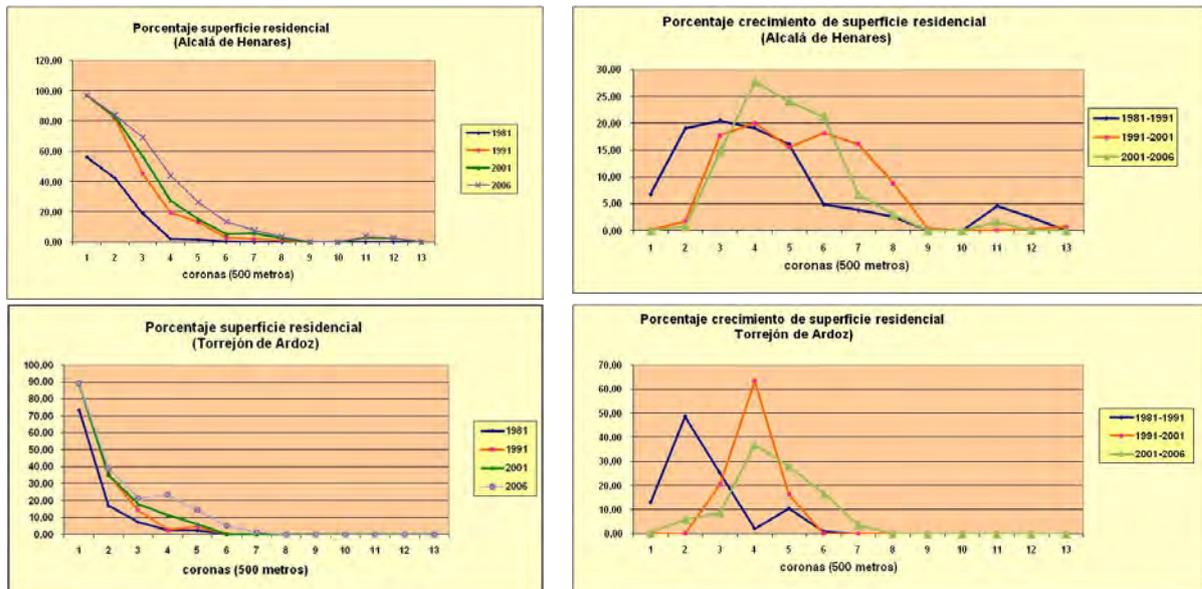


Figura 63. Evolución de la superficie de suelo residencial en los municipios madrileños de Alcalá de Henares y Torrejón de Ardoz (sector Este)

La principal conclusión que puede extraerse es que la disminución de densidad poblacional sigue patrones bastante diferenciados, según el territorio donde el desarrollo haya tenido lugar. Así, por ejemplo, en el municipio de Leganés, en el sector Sur de la aglomeración madrileña, que se caracteriza por su mayor índice de compacidad, el gradiente de densidad sigue un pronunciado descenso con la distancia, que refleja, sin embargo, un crecimiento periférico limitado, fruto de determinadas operaciones urbanísticas de baja densidad, que han tenido lugar a una distancia prudencial del centro. Por el contrario, Pozuelo de Alarcón, situado en la zona Oeste, destaca por el crecimiento del suelo urbano en todo el límite municipal, consecuencia de una dispersión pronunciada de las nuevas urbanizaciones residenciales.

A modo de ejemplo, para el año 2001, podemos comprobar cómo el gradiente de densidad demográfica se acomoda con mayor facilidad a una curva, en el caso del municipio de Alcobendas o Majadahonda, como consecuencia de la concentración de la población en el centro del núcleo urbano y su descenso brusco con la distancia, con un índice de correlación que supera el valor del 95%, que en el caso de Pozuelo de Alarcón, debido a la dispersión del tejido municipal por la totalidad de su territorio (figura 64).

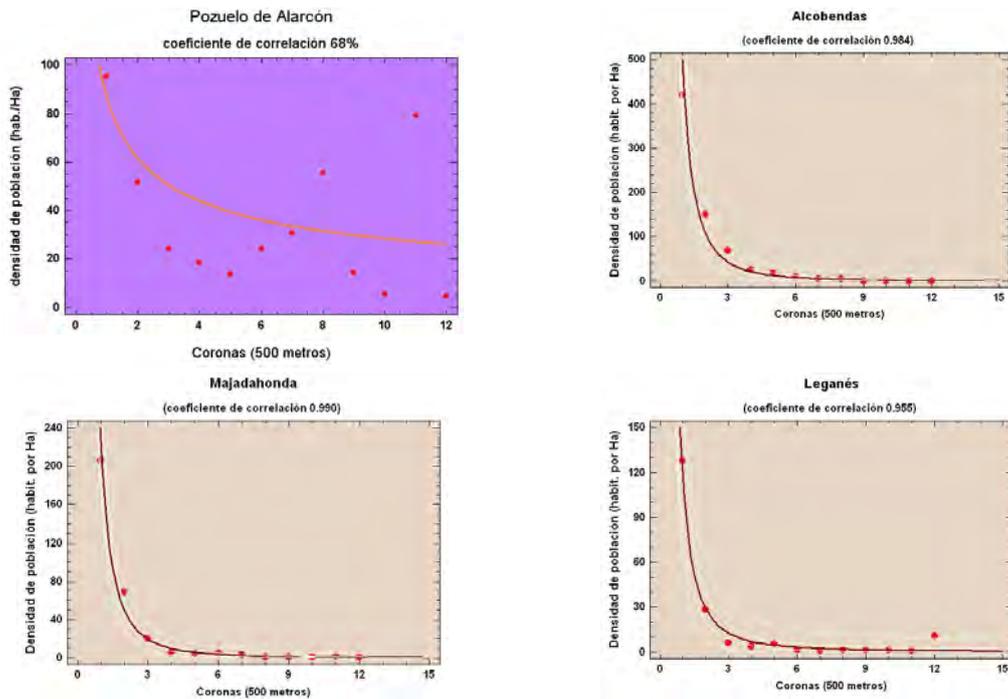


Figura 64. Acomodación a una curva de regresión del gradiente de densidad de población (hab/ha) de los municipios madrileños de Pozuelo de Alarcón, Alcobendas, Leganés y Majadahonda.

En el caso de los subcentros del área metropolitana de Granada, la proximidad mayor o menor a la capital todavía sigue ejerciendo un papel decisivo para explicar los diferentes comportamientos demográficos. Tras el fuerte crecimiento urbano de la ciudad central, que llegó a duplicar su población entre 1950-1990, se suma, desde la década de los ochenta del pasado siglo, el de una gran parte de los municipios de la Vega. “Si el medio físico y las buenas condiciones agronómicas fueron en un principio los dos factores básicos del origen y posterior crecimiento de los núcleos urbanos en la Vega, actualmente es el proceso de metropolización del área urbana de Granada el que se ha erigido como el principal factor de localización de la población, que, incluso, está haciendo surgir nuevos núcleos, muchas veces segregados física y socialmente de los tradicionales” (Menor Toribio, 1997).

No obstante, el crecimiento de la densidad con la distancia en los subcentros del área metropolitana granadina ha evolucionado con un nivel de intensidad menor que en el caso de la aglomeración madrileña. En este sentido, el área metropolitana de Granada se podría decir que se encuentra en una posición intermedia entre una ciudad “compacta” y una ciudad “difusa”, pero con cierta tendencia a la dispersión, debido a las tipologías constructivas desarrolladas en las nuevas periferias de la ciudad (casas unifamiliares con jardín) que consumen una mayor cantidad de espacio. Así, si hasta la década de los ochenta se desarrolló una etapa caracterizada por remarcar la centralidad de la ciudad de Granada, a partir de entonces se produce la consolidación de la periferia sobre la capital, dando lugar a la aparición del área metropolitana (Fernández Caldera,

2004). Respecto a la consolidación de los núcleos de la corona, algunos autores han empleado el término de “cristalización” para definir el proceso de acercamiento entre sí de estos núcleos, antes tan separados (Menor Toribio, 2000 y Aguilera Benavente, 2008).

En la figuras 65 y 66, se muestran, respectivamente, la evolución de la densidad poblacional y de la superficie residencial de los municipios de Albolote, Santa Fe y La Zubia entre 1981 y 2001. Estos municipios han registrado importantes índices de crecimiento demográfico en los últimos años, en función de diferentes factores. El crecimiento ha sido continuado en aquéllos municipios cercanos a polígonos industriales y de almacenaje, como es el caso de Albolote, situado en el entorno de los polígonos industriales de Juncaril y Asegra. En el municipio de La Zubia, situado en la cornisa suroriental de la Vega, se ha desarrollado con bastante intensidad el fenómeno de la segunda residencia, que rellena los espacios libres existentes entre los diferentes pueblos de la comarca. Estas urbanizaciones, dedicadas a la segunda residencia, han formado la conurbación de Huetor Vega, barrio de Monachil, Cájar y La Zubia, propugnada por el Plan Comarcal, pero su desarrollo se ha realizado sin una ordenación predeterminada que, además, carece de unas infraestructuras viarias adecuadas (Menor Toribio, 1997). El municipio de Santa Fe ha experimentado también una importante expansión urbanística, actuando como cabecera comarcal del núcleo central de la Vega; de carácter histórico, surgió a finales del siglo XV, es la única ciudad planificada de la Vega, cuyo origen fue el campamento instalado por los Reyes Católicos para la conquista de Granada, con una retícula ortogonal propia del Renacimiento (Aguilera Benavente, 2008).

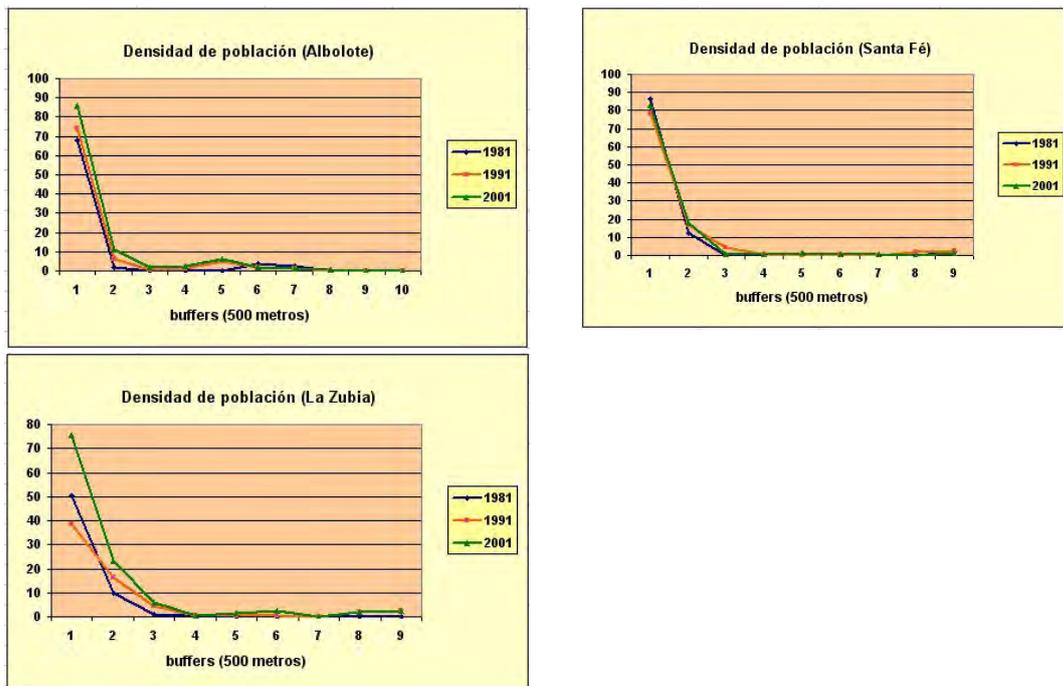


Figura 65. Evolución del gradiente de densidad de población (hab/ha) de los municipios granadinos de Albolote, La Zubia y Santa Fe.

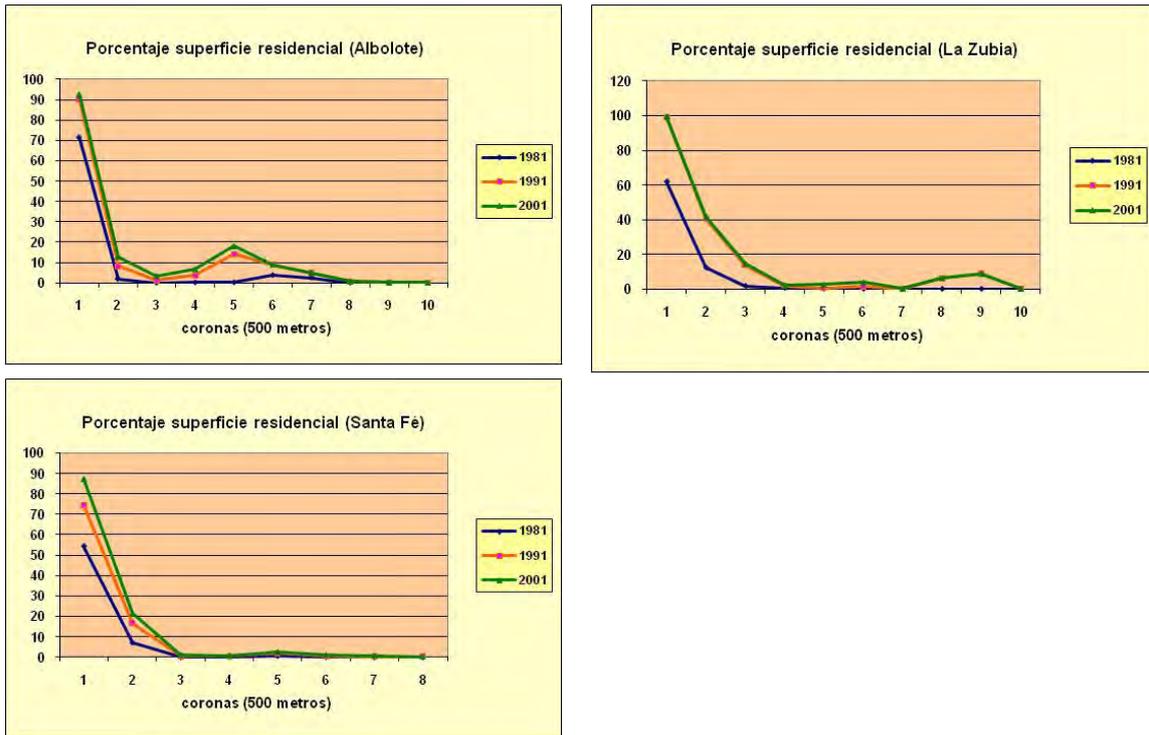


Figura 66. Evolución del porcentaje de superficie residencial de los municipios granadinos de Albolote, La Zubia y Santa Fe.

A modo de ejemplo, para el año 2001, se puede comprobar como en el municipio de Albolote, el gradiente de densidad demográfica se acomoda con bastante fidelidad a la curva a consecuencia de la concentración de la población en el centro del núcleo urbano y primeras coronas y su descenso brusco con la distancia, con un índice de correlación que alcanza el 96% (figura 67).

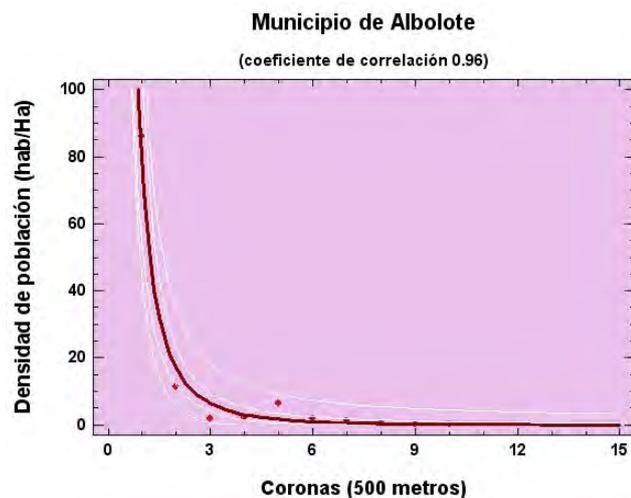


Figura 67. Acomodación a una curva de regresión del gradiente de densidad de población (hab/ha) del municipio granadino de Albolote.

Gradiente de densidad desde las principales vías de comunicación

Si los centros y subcentros de población y empleo son elementos básicos en la estructuración del espacio urbano, las infraestructuras de transporte son la otra pieza básica que tradicionalmente han definido las principales pautas del crecimiento urbano. El espacio que se encuentra más cercano a una vía de comunicación tiene más accesibilidad y, por tanto, tenderá a incrementarse la probabilidad de utilizarse de forma más intensiva la ocupación del suelo. El papel que juegan ambos elementos en la estructuración espacial urbana puede deberse a dinámicas de mercado, en el marco de la NEU, o a una planificación orientada a utilizar el suelo disponible de la manera más eficaz posible (Muñiz, García-López, 2007).

El factor movilidad es considerado por la mayoría de los autores como el factor clave de las transformaciones acaecidas en los espacios urbanos contemporáneos, de acuerdo al modelo disperso y fragmentado de la ciudad al que nos venimos refiriendo. El incremento de la facilidad de desplazamiento, que hace posible un sistema de transporte cada vez más evolucionado, permite relacionar espacios internos de la ciudad, cada vez más alejados entre sí, estimulando la dispersión de las actividades en el espacio. De esta manera, la red se convierte en un factor básico estructurador del territorio. Este modelo de crecimiento a lo largo de las principales vías de acceso y de forma segmentada fue considerado por algunos autores como un desarrollo urbano radial (Zárate, 1984).

La caída de los costes de transporte y la mejora en la dotación de infraestructuras viarias han sido elementos decisivos en el proceso de descentralización. Ambos factores son los responsables del aumento de la posibilidad de escoger localizaciones alejadas del centro por un segmento de la población cada vez mayor. Este modelo de movilidad basado en el uso del transporte privado es otro de los rasgos que caracterizan a la ciudad dispersa.

Como consecuencia, las nuevas periferias de las ciudades occidentales ocupan cada vez zonas más extensas y albergan cada vez más población y actividad económica, produciendo estructuras funcionales de complejidad creciente. La población y las actividades se dispersan por el territorio y el crecimiento de las metrópolis, apoyado en la red viaria (difusión reticular), supera los límites de las áreas metropolitanas (periurbanización) (Dematteis, 1998).

El transporte tiene una compleja relación de interdependencia con el uso del suelo, ya que los desarrollos urbanos influyen en los patrones de movilidad. Un desarrollo urbano que no posea los medios de transporte adecuados incrementa la demanda de vehículos particulares; por el contrario, la construcción de trenes de cercanías y sistemas de metro o tranvías tiende a aumentar la densidad de viviendas junto a los puntos de acceso (Handy, 2005).

Además de la existencia de otros estímulos de desarrollo, para que una infraestructura de transporte tenga una repercusión en el territorio circundante es imprescindible el aumento de accesibilidad que proporcione. En aquellas zonas, como las centrales, que ya poseen un alto grado de accesibilidad el impacto no será muy grande; tampoco será importante en las zonas periféricas donde la accesibilidad es muy baja; sin embargo, sí será importante en aquellas zonas que, disfrutando ya de un cierto desarrollo, mejoren sustancialmente, ampliando las conexiones existentes. Así, en este proceso, son precisamente “las áreas periurbanas las que han experimentado un impacto más positivo, configurándose como las zonas más dinámicas del sistema territorial: han mejorado notablemente su accesibilidad, aumentando su población e incrementando sus rentas, al constituirse en receptoras de la descentralización de población y actividades desde los nodos centrales, lo que se ha traducido en importantes cambios en los usos del suelo (Nogués y Salas, 2008).

Desde un punto de vista medioambiental, el aumento vertiginoso del parque automovilístico alcanza consecuencias muy costosas (congestión, contaminación, etc) que pueden llegar a suponer el 1% del PIB del UE (AEMA, 2006). Por tanto, la cuestión de la movilidad y la accesibilidad sigue siendo un desafío crítico para la gestión y la planificación urbanística.

El procedimiento utilizado para hallar la densidad de la superficie residencial y la densidad de población desde las principales carreteras ha sido el que a continuación describimos. A partir de la información digital del mapa general de carreteras, mediante una reclasificación, se obtiene un nuevo mapa con aquellas carreteras previamente seleccionadas; desde ellas, se han calculado las distancias y se han reclasificado en una serie de buffers (de 2000 m para el caso de Madrid y de 500 m para el caso de Granada). Su intersección con la capa de la población total permite volcar dicha población en los píxeles de cada buffer, hallando a partir de esta información los respectivos gradientes de densidad de población de cada uno de ellos (figura 68). De la misma manera, la intersección con la capa de la superficie residencial nos permite obtener los gradientes de densidad de superficie residencial de cada buffer seleccionado (figura 69).

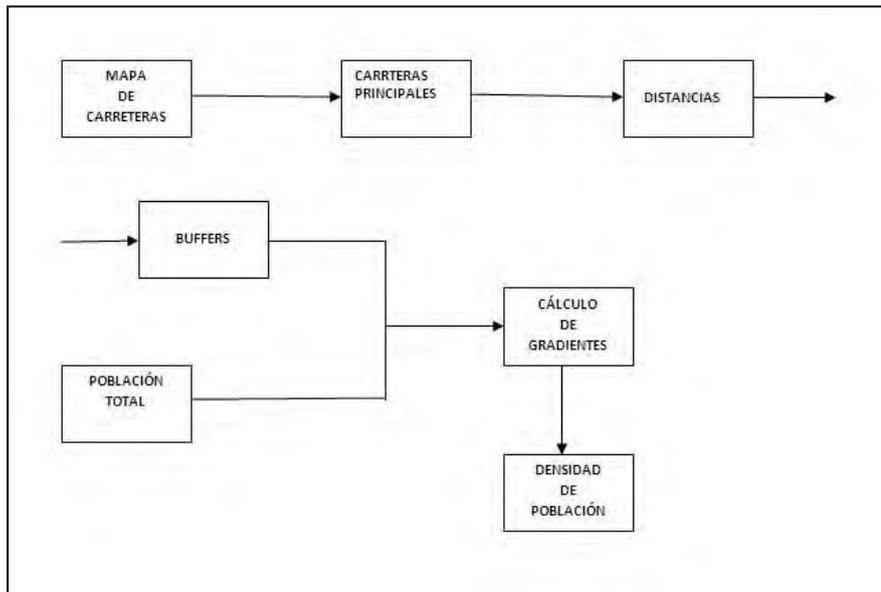


Figura 68. Procedimiento utilizado en la medición de los de los gradientes de densidad la población desde cada uno de los buffers seleccionados.

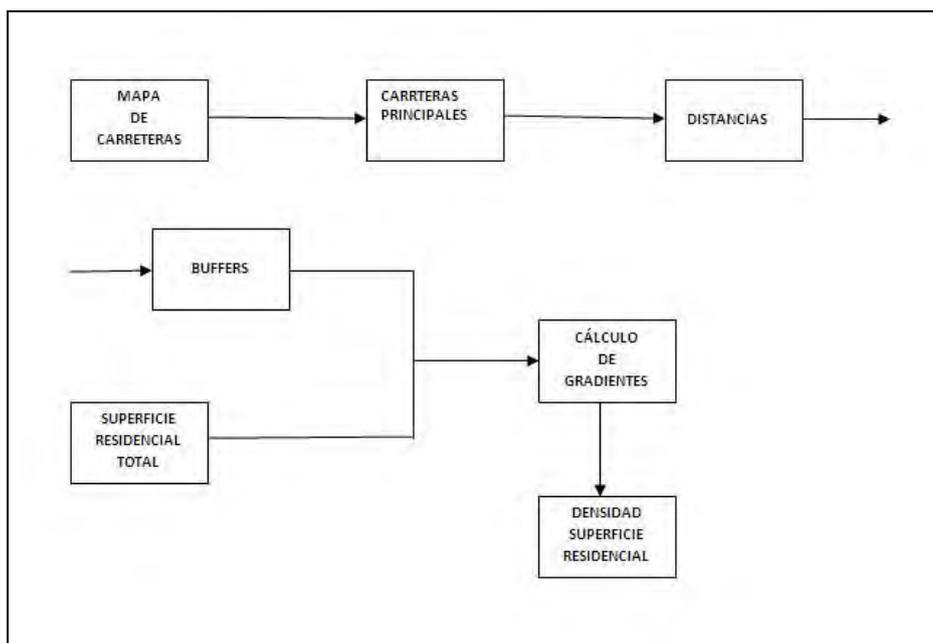


Figura 69. Procedimiento utilizado en la medición de los de los gradientes de densidad de la superficie residencial desde cada uno de los buffers seleccionados.

El área metropolitana madrileña se estructura sobre una red viaria marcadamente radial (figura 70) donde las principales concentraciones demográficas están conectadas con el centro de la metrópoli a través de diversas líneas ferroviarias, carreteras y autopistas. Resulta evidente la fuerte influencia que estas condiciones infraestructurales viarias han tenido en el modelo de crecimiento.

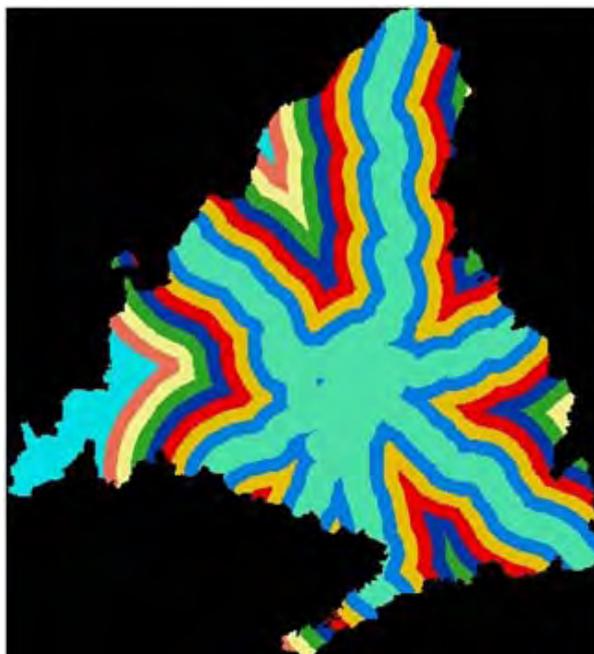


Figura 70. Buffers de distancia (2000 metros) a la red principal de carreteras de la Comunidad de Madrid en el año 2000

En las tres últimas décadas, la región urbana de Madrid, en paralelo con otras grandes capitales, ha experimentado una enorme transformación, debido al aumento de la movilidad propiciada por la masiva construcción de nuevas infraestructuras de transporte y por el incesante incremento del parque automovilístico particular. “El auténtico motor de la transformación territorial en la región urbana de Madrid han sido indudablemente las infraestructuras, en particular las de transporte” (López Lucio, 2003).

La incidencia de la evolución del sistema de transporte en la organización de la aglomeración urbana madrileña está ampliamente atestiguada. La localización actual de la vivienda, respecto a las vías de transporte, puede explicarse por distintos factores. En primer lugar, la función residencial tiende a situarse en la proximidad de las carreteras⁶, debido a la búsqueda de una mayor accesibilidad y relación con el resto del territorio (figura 71). Este principio se suma al más general de que una buena parte del nuevo tejido residencial se localiza en la periferia de la ciudad, por el reducido coste del precio de suelo suburbano.

⁶ Hemos tomado, exclusivamente, en consideración las vías radiales principales de la ciudad y las de circunvalación del interior de la ciudad (M30, M45, M5t0, etc.).

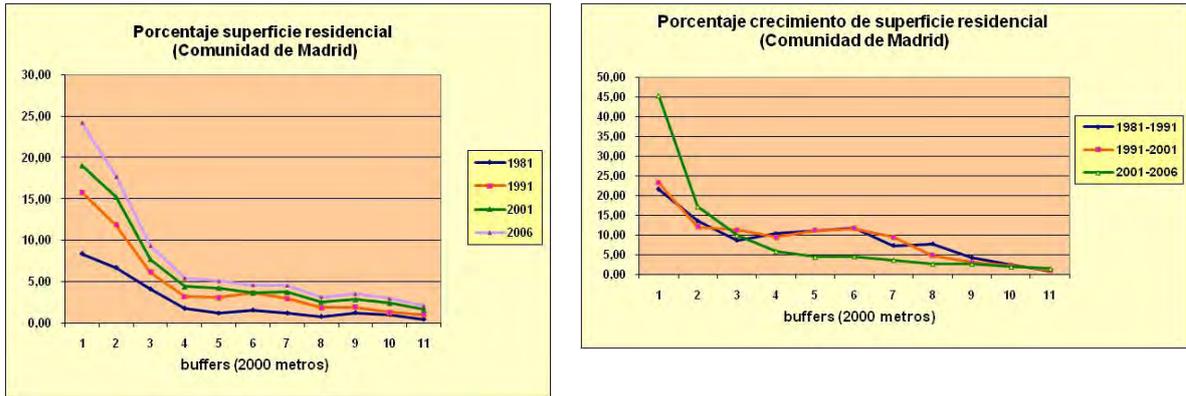


Figura 71. Evolución del gradiente de densidad de superficie residencial y porcentaje de su crecimiento respecto a las principales vías de transporte por carretera de la Comunidad de Madrid.

En cuanto a la densidad de población en los buffers analizados, su evolución ha sido muy parecida a lo largo de los años estudiados, de manera que la proximidad a las carreteras sigue siendo un factor determinante en la localización de la población sobre el territorio. Así, existe una alta densidad demográfica en los primeros buffers, que se ha incrementado en el año 2006, pero a partir de una distancia cercana a los 10 km de las carreteras, la densidad decrece paulatinamente.

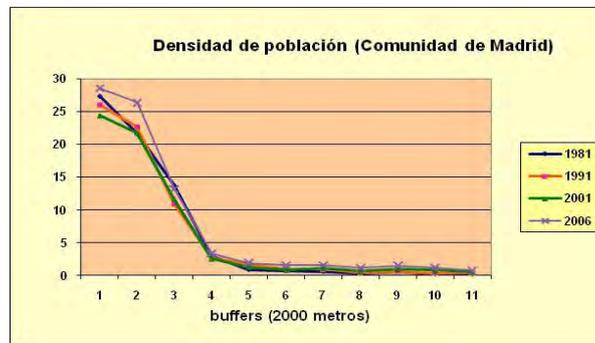


Figura 72. Evolución del gradiente de densidad de población (hab/ha) respecto a las principales vías de transporte por carretera, en la aglomeración urbana de Madrid

Este modelo de desarrollo urbano no se puede aplicar por igual a todos los sectores geográficos de la Comunidad de Madrid, estableciéndose importantes divergencias entre ellos. Así, como podemos observar en los gráficos adjuntos, existen notables diferencias en cuanto a la ocupación de la superficie residencial, respecto a las principales vías de comunicación, entre los sectores Oeste y Sur. Mientras que en el Sur de la Comunidad existe una mayor dependencia de las carreteras a la hora de construir las viviendas, hecho que se acentúa con los años, en el Oeste, el mayor porcentaje de superficie residencial no va acompañado de una mayor densidad demográfica; se trata de urbanizaciones de baja altura con un gran consumo de espacio.

En la figura 75, podemos, asimismo, comprobar el alto grado de correlación que existe tanto entre la densidad de población y la distancia a las carreteras, como entre el porcentaje de suelo residencial y la distancia a las mismas.

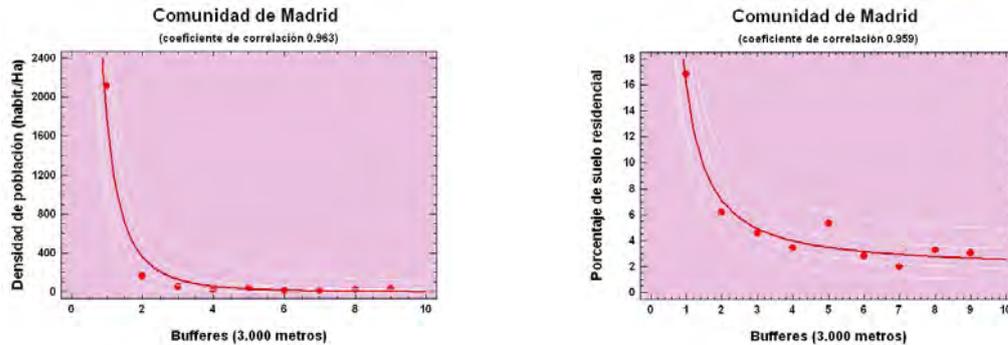


Figura 75. Coeficiente de correlación entre la densidad de población y el porcentaje de suelo residencial, y la distancia a las carreteras, en la Comunidad de Madrid.

Igualmente, una gran parte de los cambios que han tenido lugar en la aglomeración urbana de Granada han sido motivados por el importante desarrollo de la red de infraestructuras viarias (figura 76). En efecto, las grandes vías cercanas a la ciudad: A92, A44, A338 y N432, se han constituido en importantes ejes de crecimiento y lejos de poner coto a la expansión urbana, han contribuido a la misma. La edificación residencial de las áreas situadas en la proximidad (a menos de 500 m) de las carreteras más importantes, es inferior a la localizada en el segundo buffer (entre 500 y 1000 metros). A más distancia, la distribución de densidades sigue una progresión descendente. Como en el caso de la estructura respecto al centro de la metrópoli, el porcentaje de suelo residencial fue menor en el primer periodo 1981-1991 respecto al periodo 1991-2001 (figura 77), debido a la mayor actividad edificatoria del “boom” inmobiliario de aquellos años.

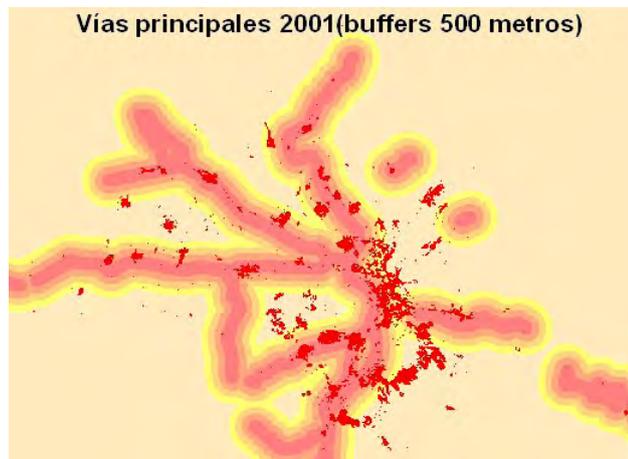


Figura 76. Buffers de distancia (500 metros) a la red principal de carreteras de Granada en el año 2001.

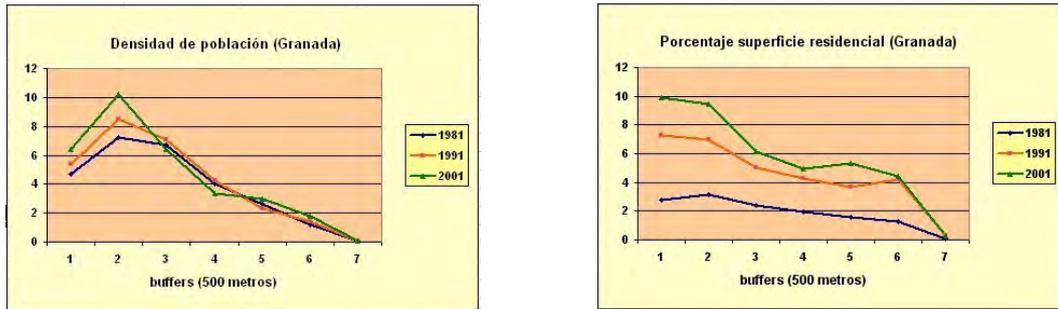


Figura 77. Evolución del gradiente de densidad de población (hab./Ha) y porcentaje de superficie residencial, respecto a las principales vías de transporte por carretera de la aglomeración urbana de Granada.

En la figura 78, podemos, asimismo, constatar el débil grado de correlación que existe tanto entre la densidad de población y la distancia a las carreteras, como entre el porcentaje de suelo residencial y la distancia a las mismas.

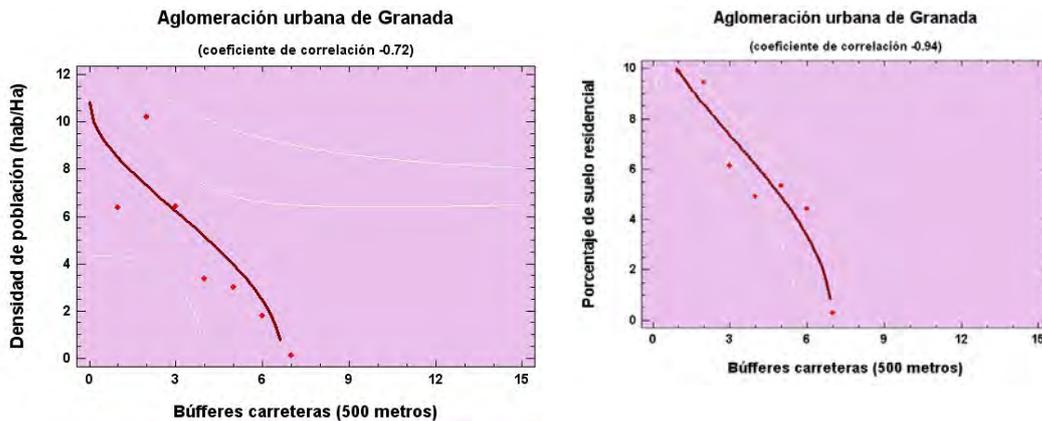


Figura 78. Coeficiente de correlación entre la densidad de población y el porcentaje de suelo residencial, y la distancia a las carreteras, en la Aglomeración Urbana de Granada

Diferenciación del gradiente de densidad por sectores

Con el fin de sintetizar las principales tendencias en la evolución de los espacios residenciales madrileños y granadinos, si hasta ahora hemos analizado los gradientes de densidad tanto desde el CBD y los subcentros, como desde las principales vías de comunicación, seguidamente vamos a estudiar dichos cambios en una serie de sectores en los que queda subdividido el espacio y que presentan unos rasgos sociodemográficos y territoriales claramente diferenciados.

Desde mediados del siglo pasado, los contrastes entre los centros urbanos y sus periferias no han dejado de acentuarse. Como señalan García Palomares, Gutiérrez Puebla (2007), “frente a la dominancia de la ciudad central característica de las áreas

metropolitanas tradicionales, la descentralización ha producido nuevas centralidades en la periferia, que modifican los antiguos desequilibrios funcionales (centro-periferia) para crear otros nuevos a una escala de mayor detalle (nuevas centralidades-espacios residenciales)”.

El desarrollo urbano de estas nuevas periferias de las grandes ciudades ha venido marcado por la dispersión, fragmentación y bajas densidades, en el marco de la ciudad difusa, el *sprawl* norteamericano. Sin embargo, como veremos más adelante en las nuevas periferias de Madrid y de Granada, esta aparente “uniformización” enmascara contrastes espaciales evidentes. Estos contrastes entre los diversos sectores de la franja periurbana se acentúan en función de lo que cada territorio pueda ofrecer ante la diversidad de las demandas urbanas. Aspectos como la distancia a centro de la ciudad, la accesibilidad a las principales vías de comunicación, la cercanía a las infraestructuras de ocio y servicios, etc, son factores que inciden en la complejidad de estos nuevos espacios periféricos.

La diferenciación del territorio madrileño nos llevó a completar el análisis por grandes zonas o sectores de la Comunidad. Para ello, excluimos el municipio de Madrid y dividimos la región en cuatro sectores Norte, Este, Sur y Oeste, articulados en torno a las carreteras radiales y siguiendo los datos del Código de Corredores de Transporte editado por la CAM (figura 79).

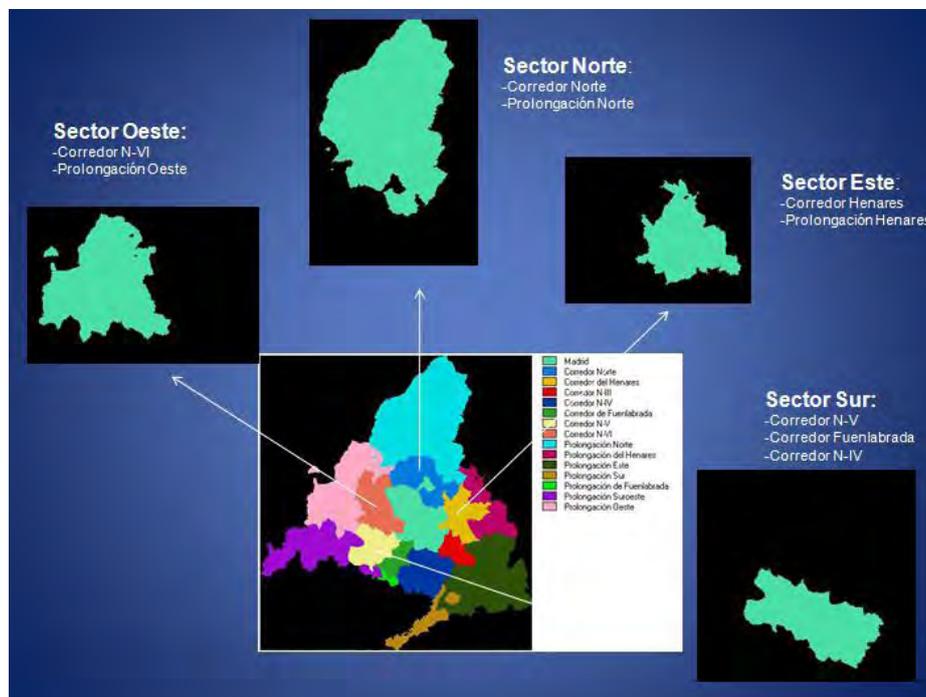


Figura 79. Identificación de los principales sectores de Comunidad de Madrid

El incremento del parque de viviendas y el cambio en las tipologías edificatorias hacia modelos urbanos de baja densidad atestiguan la tendencia al desarrollo de un

modelo de crecimiento más disperso y fragmentado, característico de estas nuevas periferias. El parque de viviendas en la CAM ha experimentado un acelerado crecimiento en las últimas décadas, pasando de 670.000 viviendas en 1960 hasta 2.500.000 en el año 2001. Si analizamos el periodo comprendido entre los dos últimos censos de 1991 y 2001, el aumento fue más de 543.000 viviendas, lo que supone un incremento del 28,1%, frente al 9,6% que creció la población (García Palomares et al. 2007). El crecimiento demográfico del núcleo central de Madrid cayó más de 70.000 habitantes en el decenio 1991-2001, aunque gracias a la inmigración extranjera se ha recuperado en el último quinquenio. De los 346.000 extranjeros incorporados a la Comunidad en el decenio 1991-2001, más del 58% (203.000) fija su residencia en el municipio capital, compensando en buena medida un saldo natural muy negativo (275.000 habitantes menos) (López de Lucio, 2003). No obstante, esta tendencia al desarrollo de un modelo más disperso y fragmentado no se puede aplicar por igual a todos los sectores de la CAM, estableciéndose importantes divergencias en el modelo de crecimiento entre unos sectores y otros, como veremos a continuación.

La evolución de Madrid ha partido de un espacio urbano compacto y rodeado de un medio rural con poca población, típico de los años cincuenta del siglo XX. Esta ciudad nuclear se transformó, sustancialmente, a partir de la década de los setenta. Se formó entonces un cinturón de ciudades densas, nutridas tanto por la población que abandonaba la capital como por la inmigración desde otras provincias. Surgen así diversos núcleos en torno a las grandes vías de comunicación, tanto en el Sur (Alcorcón, Móstoles, Leganés, Getafe, Fuenlabrada, Parla), como en el Este (Coslada, San Fernando, Torrejón de Ardoz, Alcalá de Henares) o en el Norte (Alcobendas, San Sebastián de los Reyes). Simultáneamente, surgen tanto en las radiales de la Coruña N-VI) y de Burgos (N-I) áreas residenciales de baja densidad y con un gran consumo de suelo. Desde un principio, pues, se consolida un modelo de crecimiento en el que se observa una enorme dicotomía entre el Noroeste, de mayor poder adquisitivo y menores densidades residenciales, frente a un Sureste, de menores niveles de renta, mayores densidades y una acusada especialización en actividades industriales (Méndez, Ondátegui, 2000).

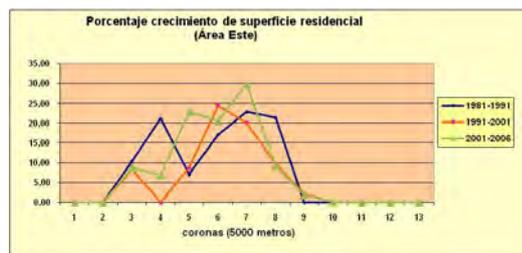
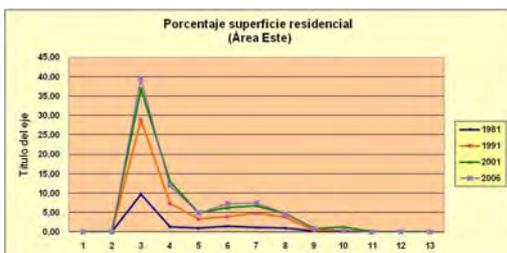
Desde un principio, pues, se consolida un modelo de crecimiento en el que se observa una enorme dicotomía entre el Noroeste, de mayor poder adquisitivo y menores densidades residenciales, frente a un Sureste, de menores niveles de renta y mayores densidades (García Palomares y Gutiérrez Puebla, 2007). Dos factores de índole muy diferente propiciaron estos movimientos demográficos hacia la periferia. Los municipios del Sur y del Este, de tradición industrial, acogieron una población joven en busca de empleo y de su primera residencia; frente a ellos, en el Norte y Oeste, se instaló una población de edad media más adulta y de mayor status social que exigía un hábitat menos denso y de mayor calidad ambiental (Méndez, 2001-2). Se confirmaba así una dicotomía social y funcional en la periferia de Madrid entre el noroeste, con mayores niveles de renta, menores densidades residenciales y con la presencia de algunas actividades de servicios, y el sureste, barrios y ciudades dormitorio de altas

densidades, menores niveles de renta y una acusada especialización en actividades industriales (Méndez y Ondátegui, 1999).

Esta situación cambió, de manera radical, a partir de 1980, convirtiéndose el área Oeste de la aglomeración madrileña en zona preferente de la nueva localización de la vivienda. Esta zona aparece formada por un conjunto de núcleos urbanos, estructurados a lo largo del eje viario de la carretera de La Coruña, que han experimentado un crecimiento espectacular durante los últimos años (413% en sólo 20 años, de 1981 a 2001), como consecuencia del movimiento periférico de la población de mayor nivel de renta hacia áreas de hábitat suburbano, en residencias de tipo unifamiliar. Mientras, los municipios del Sur y Este ralentizaron su crecimiento urbano, apenas modificado por promociones de vivienda de una cierta calidad (Getafe Norte, Sector III. etc.), con un índice de dispersión mucho más reducido.

Estas circunstancias se ponen de manifiesto al analizar los resultados obtenidos si comparamos los sectores Oeste y el Sur, quizás las dos áreas de crecimiento urbano más contrastadas. En el primero de los casos, la superficie ocupada por la función residencial es bastante superior a la que tiene lugar en los municipios de la malla sur de la comunidad madrileña (figura 80). Así, podemos observar, que la superficie ocupada en el Oeste duplica la del sector Sur. En este sector Sur, el crecimiento del suelo residencial se encuentra mucho más compacto, de manera que cada municipio crece mucho más en torno a su centro, con un crecimiento más acusado en la década de los ochenta. Por el contrario, el crecimiento de la superficie residencial se encuentra más disperso en el territorio y cronológicamente más tardío, ya en la década de los noventa.

Estos modelos de desarrollo urbano tan contrastados en un principio y extendidos geográficamente en unos espacios muy diferenciados, con el paso del tiempo tienden paulatinamente a un proceso de convergencia. Así, como podemos observar en los gráficos adjuntos, el modelo de bajas densidades residenciales se extiende también por el Sur y el Este donde, en la periferia de las ciudades dormitorio surgen urbanizaciones de viviendas adosadas o bloques de bajas alturas, aunque todavía continúen diferenciándose por el poder adquisitivo de sus habitantes, por las formas arquitectónicas e incluso, por los estilos de vida. (García Palomares, Gutiérrez Puebla, 2007).



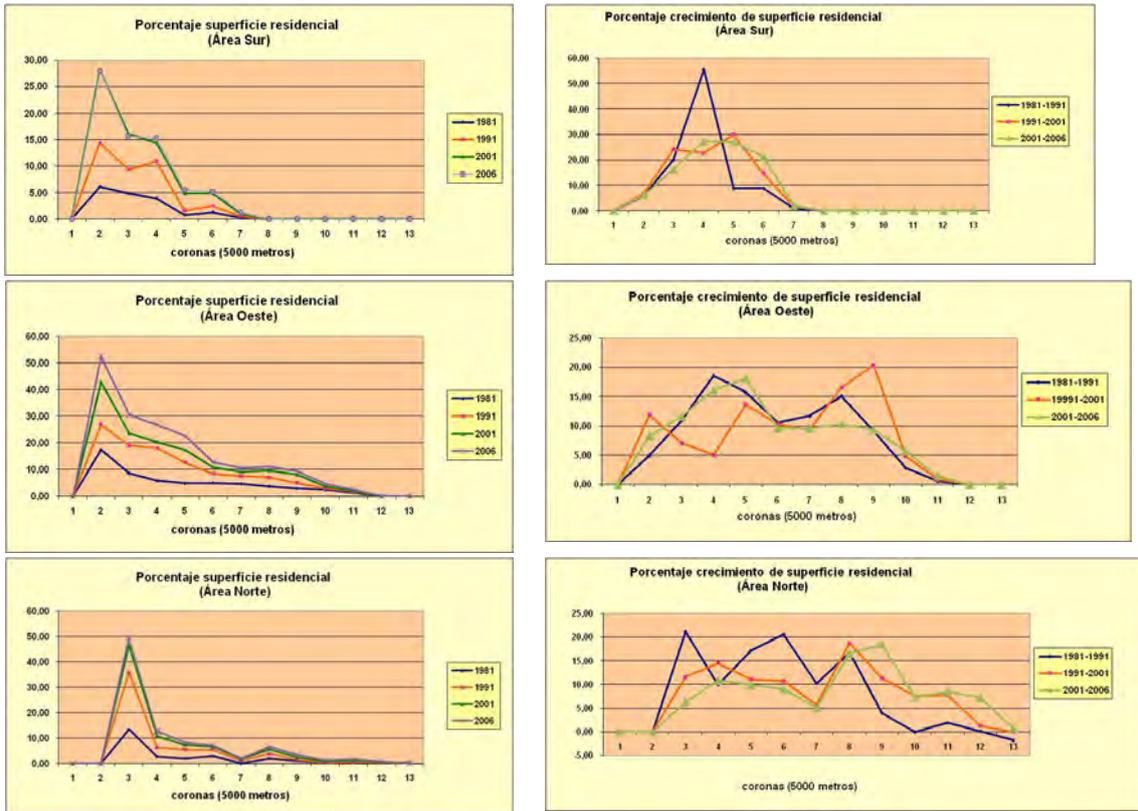
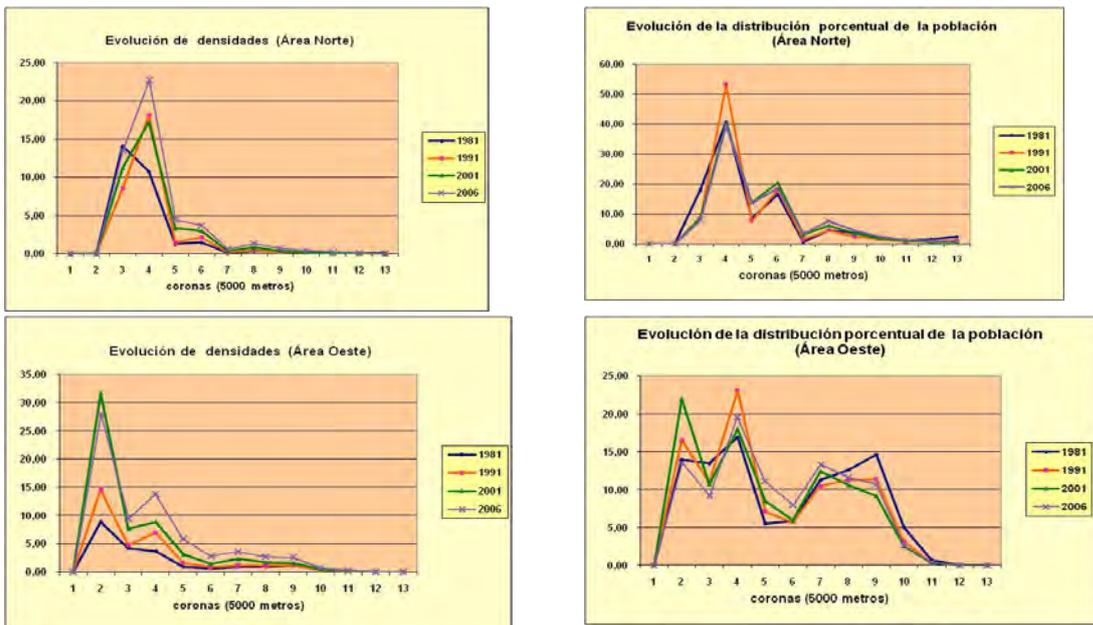


Figura 80. Evolución del gradiente de superficie residencial, por coronas de 5.000 metros, en los sectores Norte, Sur, Este y Oeste de la aglomeración urbana madrileña.

Esta realidad se pone de manifiesto, también, si comparamos las densidades de población (figura 81). Frente a un crecimiento más compacto en el sector Sur y el Corredor del Henares, destaca el crecimiento mucho más disperso de la zona Norte y, sobre todo, del sector Oeste.



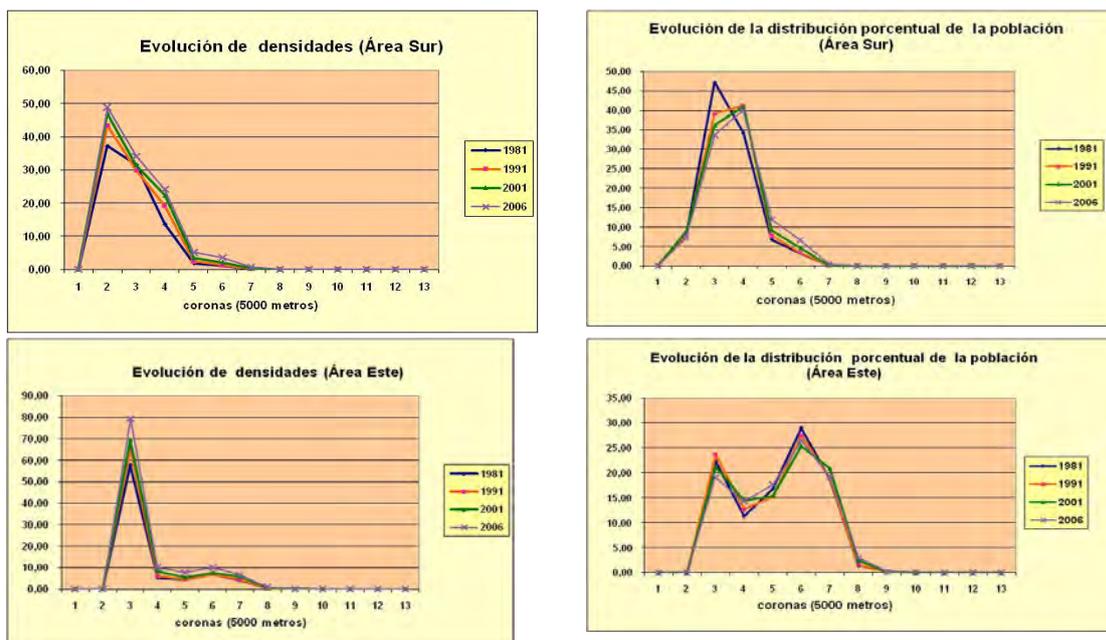


Figura 81. Evolución del gradiente de densidad de población (hab./Ha), por coronas de 5.000 metros, en los sectores Norte, Sur, Este y Oeste de la aglomeración urbana madrileña.

En el desarrollo urbano sectorial de Granada, no ha existido una variación tan contrastada a lo largo del tiempo y del espacio. El crecimiento residencial ha tendido a ocupar el margen oeste de la ciudad y a rellenar algunos de los vacíos existentes en ciertas áreas. Así, aparecen crecimientos dispersos en los municipios más cercanos, especialmente en la zona sur del término municipal de Ogíjares, o en la zona norte, con la aparición de algunas zonas residenciales asociadas a núcleos consolidados o bien independientes de los mismos (Aguilera Benavente, 2008).

Igualmente, merece destacar la proliferación del fenómeno de la segunda residencia en la comarca suroriental de la Vega. La necesidad de evadirse de la aglomeración urbana central por parte de una creciente clase media, surgida al amparo de las actividades comerciales e industriales, al mismo tiempo que la necesidad de expansión del sector de la construcción, son factores que incidieron en este fenómeno (Menor Toribio, 1997).

En líneas generales, “desde un punto de vista espacial, la Vega de Granada, entendida como ámbito metropolitano se estructura en torno a dos grandes focos residenciales, según la evolución demográfica reciente. Uno de ellos tradicional, situado en la cornisa de Sierra Nevada y que tendría como centro económico a Armilla y sus polígonos industriales; y otro que se posicionaría en el eje Macarena-Albolote, que carece del atractivo de las zonas serranas, pero que cuenta en sus proximidades con los principales polígonos industriales y de almacenaje” (Cañete Pérez et al. 2005).

5. 2. 3. Conclusiones

Los resultados presentados muestran la existencia de ciertos rasgos descentralizadores de la función residencial en las aglomeraciones urbanas de Madrid y Granada, en consonancia con el modelo de la ciudad dispersa. En líneas generales, el nuevo crecimiento del suelo destinado a la vivienda, que ha tenido lugar entre 1981 y 2006, ha seguido determinadas pautas, pudiéndose distinguir una serie de factores explicativos de la localización preferente.

En una ciudad monocéntrica, como era desde la década de los sesenta el caso de Madrid, el espacio se utilizó más intensamente cerca del centro de la ciudad y la densidad de su utilización tendía a disminuir al aumentar la distancia. En las últimas décadas del pasado siglo, la aparición de ciertos rasgos, tendentes a la dispersión en la aglomeración urbana de Madrid puede comprobarse, con facilidad, si comparamos la evolución de la superficie de suelo residencial ocupada entre los años 1981 y 2006. Proporcionalmente, a medida que ha pasado el tiempo, el incremento de suelo residencial ocupado ha crecido más a mayor distancia del centro de la metrópoli. Este crecimiento de la superficie residencial en el territorio de la Comunidad ha estado, pues, marcado por un movimiento de difusión en ondas, que reduce de forma constante las cifras de la ciudad de Madrid y desplaza las mayores tasas de crecimiento a coronas cada vez más alejadas.

Así, frente a un modelo de crecimiento de la ciudad en décadas anteriores, que se producía en forma de “mancha de aceite”, a partir de los ochenta (antes en la aglomeración madrileña que en Granada) la expansión de la ciudad se produce mediante el denominado mecanismo de “salto de rana”, que da lugar a un espacio urbano discontinuo separado por intersticios rurales, donde la dualidad campo-ciudad ya no es tan visible.

Esta transformación del suelo no urbano a residencial ha seguido fielmente la tendencia típica del modelo de ciudad dispersa, al no existir una correspondencia del aumento de suelo para la vivienda con respecto al crecimiento de la población. El nuevo modelo de expansión urbana, marcado por la dispersión, el policentrismo, la fragmentación y las bajas densidades, característico de los ochenta y noventa, no fue uniforme en todo el territorio de la Comunidad de Madrid: si en el Este y Sur predominaba un crecimiento urbano mucho más compacto, en el Oeste y Norte tuvo lugar un modelo de crecimiento urbano más disperso y aislado en el espacio.

Sin embargo, ya en la primera década del presente siglo, estas dos importantes variables - crecimiento del suelo urbano disperso y estancamiento de la población - no se manifiestan con la misma intensidad; en la actualidad, en la Comunidad de Madrid se tiende a un desarrollo menos disperso, al mismo tiempo que existe un aumento del volumen de población a causa de la inmigración.

En el caso de la aglomeración urbana de Granada, tras un periodo donde se consolidó la centralidad de Granada frente al resto de la comarca, que comprendió los años entre 1970 y 1985, se produjo a partir de entonces un fenómeno de consolidación de la periferia; así, frente a este tipo de crecimiento “compacto”, característico de la década de los setenta que se prolongó hasta mediados de los ochenta, en las décadas posteriores aparecen formas de crecimiento “disperso”, dando lugar a un acusado contraste entre un primer proceso centrípeta de la ciudad, frente al nuevo proceso centrífugo de la capital.

Este nuevo modelo de crecimiento, en un primer momento, ha generado un espacio urbano discontinuo, disperso, separado por intersticios de espacios rurales, mientras que hoy en día se observa también la concentración de suelo urbano en determinados municipios, lo que implicaría un cierto grado de policentrismo. En cualquier caso, la expansión urbana que han sufrido los municipios metropolitanos de Granada se ha traducido en un aumento de la ciudad “difusa” con el consiguiente incremento de los problemas medioambientales ocasionados a su entorno natural más cercano: la Vega de Granada (Fernández Caldera, 2004).

En consecuencia, cualquier prospección a realizar sobre el modelo de crecimiento de ambas ciudades en el futuro debería tener muy presente los factores descritos, de manera que en la posible simulación del mismo se cuantificaran los patrones del desarrollo urbano de acuerdo a los valores empíricos obtenidos.

5. 3. Medición del cambio de usos del suelo residenciales

5. 3. 1. Introducción.

Desde el inicio de la revolución industrial, los cambios en el uso y la ocupación del suelo se han acelerado de una manera muy significativa. Las estimaciones sobre el porcentaje de tierras transformadas en el mundo han variado del 39% al 50% (Sapiña, 2002). En diversas regiones de nuestro planeta, son cada vez más evidentes estos cambios y, en muchos países, la degradación y la intensificación del uso y ocupación del suelo han provocado grandes transformaciones en el paisaje terrestre (Lambin, 1997). A pesar de que las zonas urbanas sólo ocupan el dos por ciento de la superficie total de la Tierra, sus efectos en la alteración del medio son muy significativos a escala local, regional y global. Por tanto, la descripción y análisis de esos cambios y sus consecuencias son claves para proponer estrategias de desarrollo territorial, orientadas a mantener y proteger el territorio, los distintos ecosistemas que sobre él se desarrollan, así como para preservar la calidad de vida de la población que sobre él habita (Plata *et al.*, 2009).

El estudio de la ocupación del suelo y sus cambios ha recibido especial atención en las últimas décadas. Un resumen de varias de las contribuciones al análisis general de los cambios en el uso de la tierra se puede encontrar en el trabajo de Briassoulis (1999), donde se detallan todo un conjunto de aspectos metodológicos y teóricos, además de los modelos desarrollados con fines descriptivos, explicativos, predictivos, prescriptivos y valorativos. Mayaux *et al.* (2008) destacan el importante papel de la teledetección en la obtención y clasificación de los datos que nos van a permitir establecer la dinámica de la ocupación del suelo en diferentes regiones del planeta. En este apartado, merece destacarse el programa de investigación LUCC, de la Unión Mundial de Sociedades Científicas, que ha supuesto un gran impulso en el desarrollo de este tipo de estudios. Sus principales resultados se pueden encontrar en el trabajo de Lambin y Geist (2006), publicación resumen de los resultados obtenidos en este proyecto, aunque también se pueden encontrar publicaciones anteriores con resultados preliminares (Gutman *et al.*, 2004).

Como indicamos anteriormente, el crecimiento de las zonas urbanas es uno de los ejemplos más importantes de cambio de ocupación del suelo en todo el mundo. Un ejemplo de su análisis, y quizás una de las publicaciones más significativas en este sentido sea la realizada por el OSE (2006) para el conjunto de nuestro país, donde el análisis del crecimiento urbano ocupa un espacio muy importante. Otros ejemplos de análisis serían el proyecto Gigalopolis, del NCGIA (<http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/>), centrado en la simulación de los cambios de la ocupación urbana del suelo en el futuro, o el trabajo de Agarwal *et al.* (2000), donde se realiza un interesante repaso de las posibilidades de análisis de los cambios de la ocupación del suelo y de los modelos de simulación existentes sobre la cuestión.

Por su parte, la dinámica de la ocupación del suelo en la Comunidad de Madrid también ha sido objeto de estudio y análisis en los últimos años. En el trabajo de Serrano *et al.* (2002), podemos encontrar algunas claves para estudiar estos cambios, aunque la investigación se centra más en realizar una descripción del tipo y magnitud de estas transformaciones, en torno a las carreteras orbitales del área metropolitana de Madrid. Por otro lado, los trabajos de López de Lucio (2003; 2004) también aportan datos significativos sobre los cambios territoriales producidos en la CAM, entre los años 1991 y 2001, a partir del estudio de diferentes variables (crecimiento del número de kilómetros de carretera, movimientos realizados en la red de cercanías y de metro, aumento de la demanda de agua y del número de depuradoras, crecimiento de suelo urbanizable, etc.) para cada uno de los once sectores territoriales en los que divide la región madrileña. La región urbana de Madrid se ha transformado a una velocidad notable, habiéndose configurado un nuevo modelo territorial aquejado de serios problemas de sostenibilidad que han de ser corregidos mediante políticas públicas que re-equilibren y re-direccionen las dinámicas en marcha (López de Lucio, 2003; Leboireiro, 1999), por lo que el conocimiento detallado de los cambios de ocupación del suelo resulta primordial. En los últimos años, Santiago (2007; 2008a) y García y Gutiérrez (2007) han estudiado las diversas lógicas espaciales de la transformación de

Madrid en una ciudad de crecimiento disperso y difuso, aportando datos sobre la evolución de los sectores que han incidido sobremanera en la configuración espacial actual de la región. En el mismo sentido, Santiago (2008b) señala la importancia espacial de las zonas logísticas dentro de la CAM y el uso del territorio que implican.

También podemos hacer mención a toda una serie de estudios que describen, concretamente, la dinámica de la ocupación del suelo en el territorio de la Comunidad de Madrid con suficiente nivel de detalle. Los trabajos de Otero (1993), Aldana (2005) y Zárate *et al.* (1998) resultan interesantes por aplicar a sus análisis técnicas de intersección de mapas mediante un SIG, lo que permite observar los cambios netos que se producen entre las distintas fechas, aunque, en algunos casos, las fuentes de datos empleadas sean desiguales (los dos mapas de ocupación del suelo empleados no se han elaborado con las mismas leyendas y esto puede generar cambios ficticios y poco seguros) y, en otros casos, las fechas un poco antiguas. Por otro lado, el OSE (2006) también ha llevado a cabo un detallado trabajo de descripción de la dinámica de la ocupación del suelo en todo el territorio nacional, a escala de comunidad autónoma. En este caso, aunque las dos fuentes empleadas son coherentes y las fechas analizadas recientes, la metodología empleada para analizar los cambios en la ocupación del suelo ha quedado algo obsoleta, por lo que algunos de los resultados encontrados en Madrid pueden resultar mejorables. Finalmente, habría que mencionar otros trabajos que, si bien son de ámbito más parcial y afectan sólo a algunos municipios de la Comunidad de Madrid, demuestran la preocupación y el interés que por estos temas se tiene en la región desde hace ya varias décadas (Castro y García-Abad, 1993; Sancho *et al.*, 1993).

Parece claro, por tanto, que la Comunidad de Madrid está sufriendo una importante modificación de los usos y de las ocupaciones del suelo en los últimos años. Se trata de un fenómeno que posee implicaciones variadas, desde efectos sobre la sostenibilidad del territorio hasta variaciones en la producción económica y en la calidad de vida de la población. En este marco, el objetivo de esta parte de nuestro trabajo de investigación consiste en llevar a cabo un análisis detallado de los cambios en la ocupación del suelo residencial en la Comunidad de Madrid entre los años 1990 y 2006. Consideramos necesario diagnosticar la magnitud de los cambios ocurridos en la ocupación de este tipo de uso, usando técnicas y métodos que nos permitan obtener información detallada de las pérdidas, ganancias, cambios e intercambios de cada una de las categorías de usos de suelo residenciales que forman parte del estudio.

5. 3. 2. Fuentes de información y metodología de trabajo utilizada.

Para el análisis de los cambios de coberturas y usos del suelo en la Comunidad Autónoma de Madrid hemos empleado la información proporcionada por el proyecto CORINE Land Cover, correspondiente a los años 1990, 2000 y 2006, única información disponible elaborada con criterios homogéneos para estas dos fechas.

El 27 de junio de 1985, en virtud de una decisión del Consejo de Ministros de la Unión Europea (CE/338/85), se inició el Programa CORINE, *CoORDination of INformation of the Environment*: un proyecto experimental para la recopilación, la coordinación y la homogenización de la información sobre el estado del medio ambiente y los recursos naturales en la Comunidad Europea. Dentro de este programa se creó el proyecto CORINE Land Cover (CLC) —desde 1995 responsabilidad de la Agencia Europea del Medio Ambiente— con el objetivo fundamental de obtener una base de datos europea de ocupación del suelo a escala 1:100.000, útil para el análisis territorial y la gestión de políticas europeas.

En la actualidad, este proyecto está incluido en el *Land Core Monitoring System* del GMES (*Global Monitoring for Environment and Security*), una iniciativa de la Unión Europea para desarrollar su propia capacidad operativa de observación de la Tierra en Europa.

Las principales características de esta base de datos serían las siguientes:

- Escala de referencia 1:100.000.
- Sistema geodésico de referencia ETRS89
- Sistema cartográfico de representación UTM.
- Fotointerpretación sobre imágenes del sensor *Thematic Mapper*, a bordo de los satélites Landsat-4 y 5, en el año 1990; imágenes del sensor *Thematic Mapper*, a bordo del satélite Landsat-7, en el año 2000; e imágenes del satélite SPOT-4 en el año 2006.
- Unidad mínima superficial cartografiable de 25 Ha. Sin embargo, para cartografiar los casos de cambios en la ocupación del suelo esta unidad mínima desciende hasta las 5 Ha
- Clasificación jerárquica de 3 niveles con 44 clases de coberturas y usos del suelo.

Existen diferentes versiones de la base de datos CORINE Land Cover, que son las que hemos empleado en nuestro trabajo:

- a) CORINE Land Cover 1990 (CLC90): base de datos de ocupación del suelo Europea referida al año 1990.
- b) Image & CORINE Land Cover 2000 (I&CLC2000): actualización del CLC90 referida al año 2000, recogiendo los principales cambios en la ocupación del suelo en Europa durante el periodo 1990-2000 (*Land Cover Changes*) y un mosaico europeo de imágenes Landsat-7.
- c) CORINE Land Cover 2006 (CLC2006): actualización del CLC2000 referida al año 2006 y la generación de una base de datos de cambios ocurridos entre los años 2000 y 2006, dentro del programa europeo GMES.

En el caso concreto de nuestro país, la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional, junto con el Centro Nacional de Información Geográfica, ha coordinado las diferentes versiones/bases de datos del proyecto en España, produciéndose los resultados de manera descentralizada en las diferentes comunidades autónomas que conforman el Estado español. Sin embargo, hay que destacar dos hechos que diferencian la metodología de trabajo: la actualización del CLC2006 se ha realizado en España con la imagen de referencia SPOT-5, la misma imagen de referencia del proyecto SIOSE (Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España); y, tanto en el CLC90 como en el CLC2000, la clasificación se amplió a cinco niveles de jerarquía, con mayor número de clases y, por tanto, mayor detalle en su definición que en el resto de Europa.

Por tanto, para poder desarrollar esta parte del estudio del cambio de los usos del suelo residenciales en la Comunidad de Madrid contábamos con tres imágenes de partida: la CLC1990 (figura 82), la I&CLC2000 (figura 83) y la CLC2006 (figura 84).

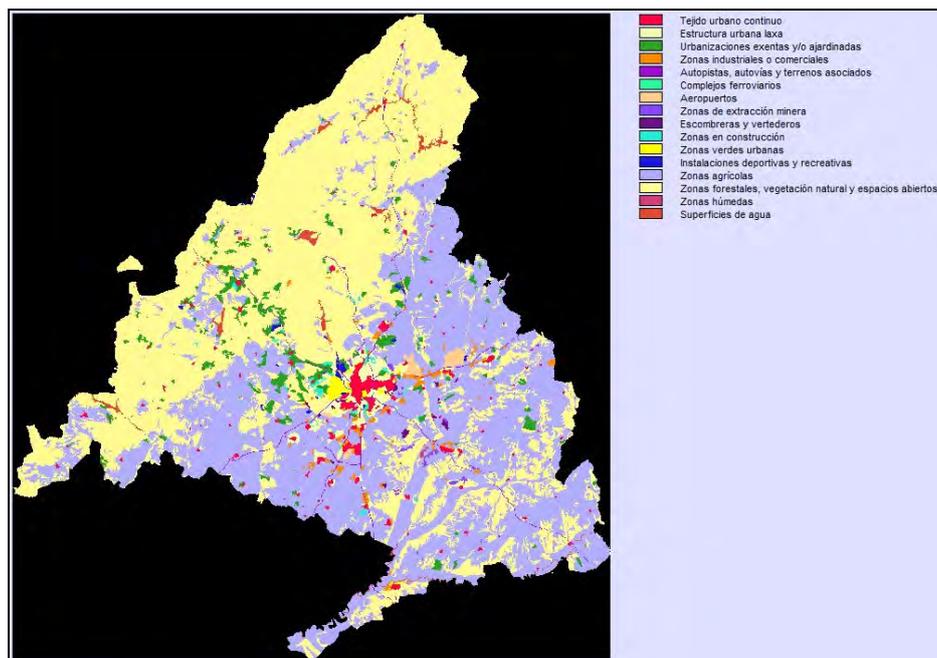


Figura 82. Mapa de usos del suelo (CORINE Land Cover) de la Comunidad de Madrid, correspondiente al año 1990.

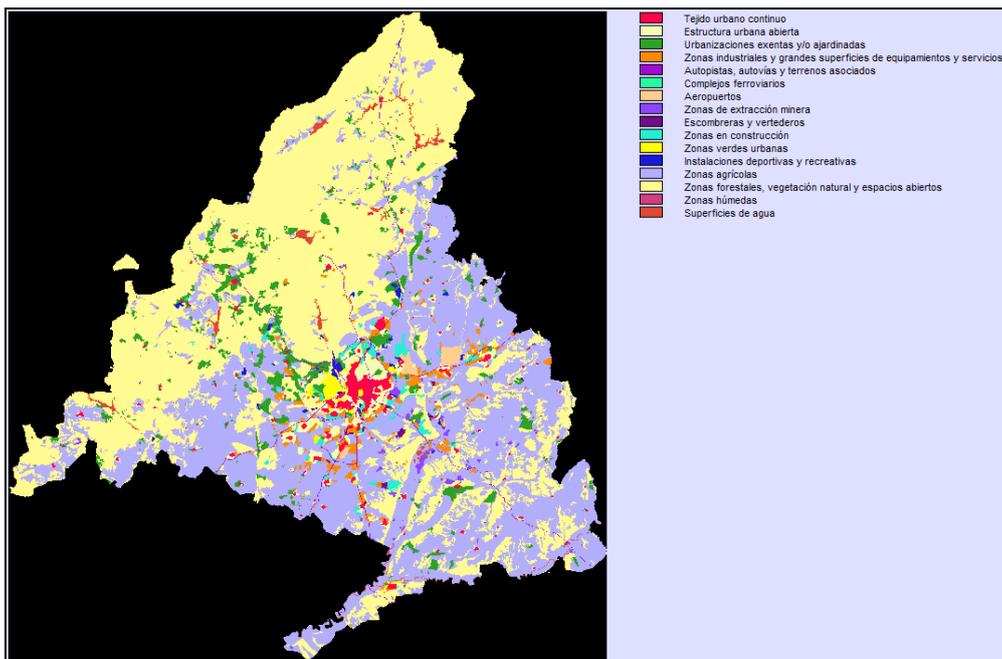


Figura 83. Mapa de usos del suelo (CORINE Land Cover) de la Comunidad de Madrid, correspondiente al año 2000.

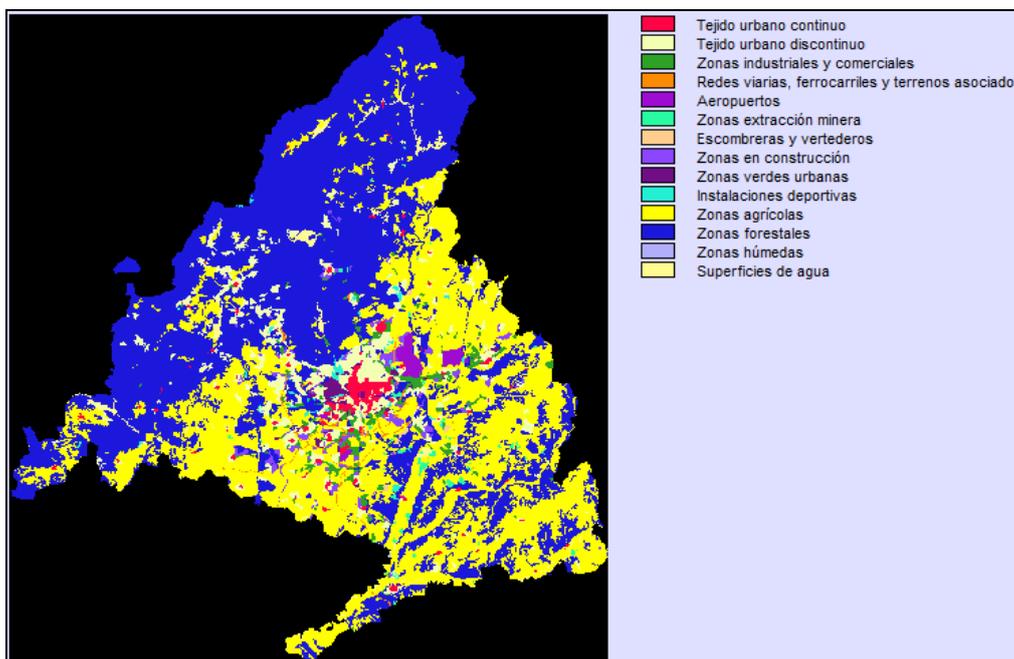


Figura 84 Mapa de usos del suelo (CORINE Land Cover) de la Comunidad de Madrid, correspondiente al año 2006.

Es nuestro caso, a partir de las imágenes CORINE obtuvimos un mapa, seleccionando, exclusivamente, los usos de suelo urbano para cada año de referencia, haciéndose necesario realizar una homogenización de la leyenda (figuras 85 y 86). A partir de estos mapas, hemos realizado el análisis de los cambios en la ocupación del

suelo urbano en la Comunidad de Madrid entre los años 1990 y 2000, y entre los años 2000 y 2006.

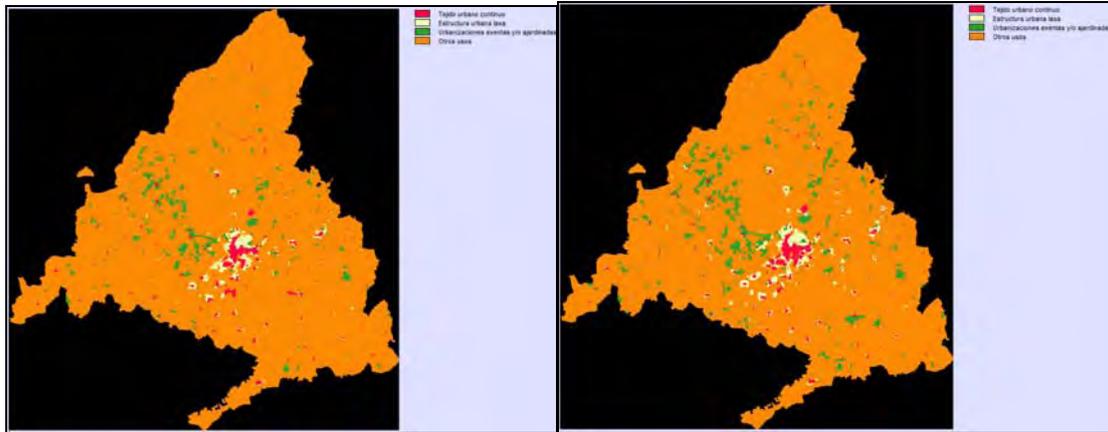


Figura 85. Mapas de usos del suelo residencial en la Comunidad de Madrid, correspondientes a los años 1990 (izquierda) y 2000 (derecha).

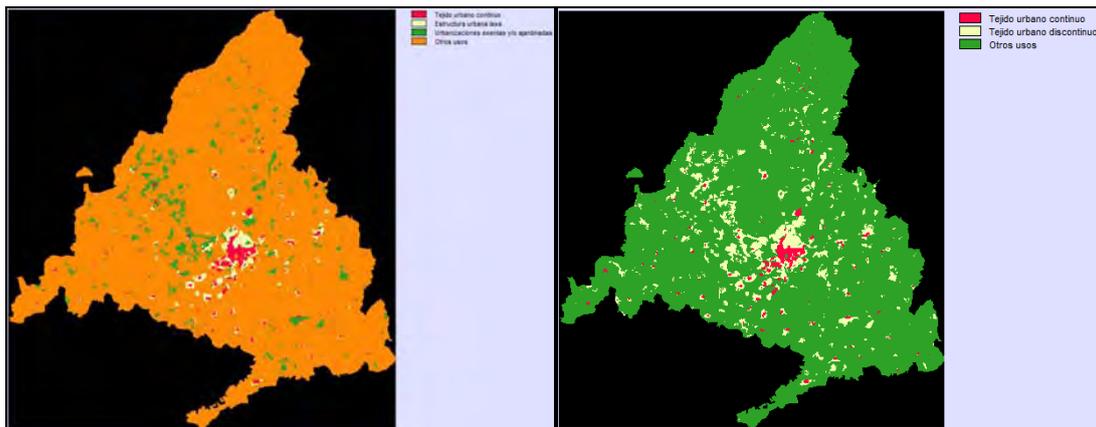


Figura 86. Mapas de usos del suelo residencial en la Comunidad de Madrid, correspondientes a los años 2000 (izquierda) y 2006 (derecha).

Finalmente, es necesario mencionar que disponíamos de otras bases de datos de la zona de estudio sobre cobertura/usos del suelo, como la elaborada por la propia Comunidad de Madrid para el año 1981, mediante fotointerpretación de fotografías aéreas. Sin embargo, hemos podido comprobar que el uso de bases de datos levantadas con criterios, leyendas y escalas distintas, para identificar e interpretar los cambios acontecidos entre distintas fechas, ofrece resultados que no se ajustan a la realidad (Aldana, 2005), por lo que no decidimos no emplear los datos de este año en nuestro estudio (figuras 87 y 88). Por lo tanto, para este apartado de nuestra investigación hemos empleado, únicamente, los datos del proyecto CLC, que son, por su calidad y rigor científico, los que consideramos más adecuados para el estudio.

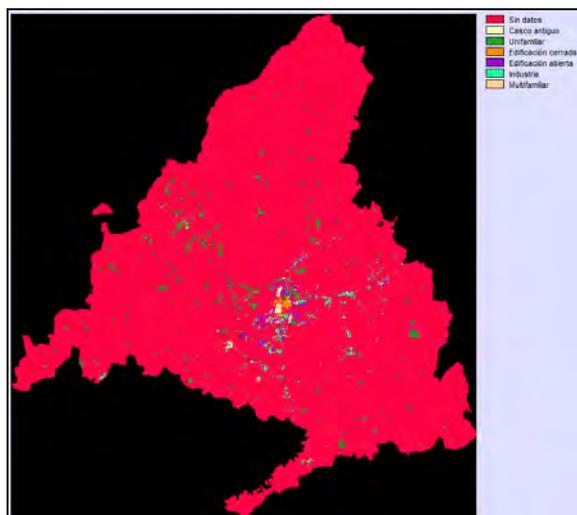


Figura 87. Mapa de usos del suelo residencial e industrial en la Comunidad de Madrid, correspondiente al año 1981.

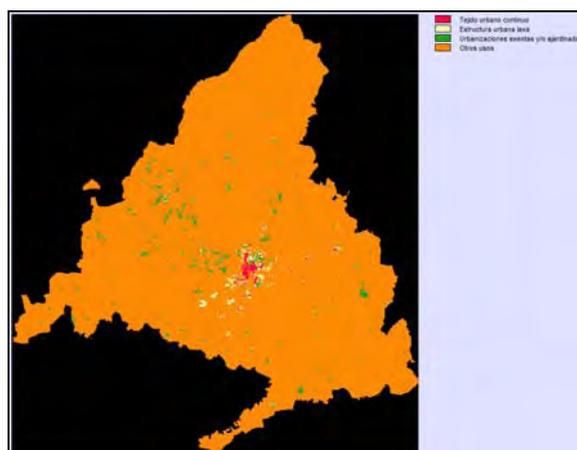


Figura 88. Mapa de usos del suelo residencial en la Comunidad de Madrid, correspondiente al año 1981.

El análisis de los cambios de uso del suelo residencial llevado a cabo en el presente trabajo se ha basado en la metodología desarrollada por Pontius *et al.*, (2004), al que ya nos referimos en el apartado 4. 1. 3., lo que nos ha permitido obtener, para cada categoría de uso del suelo residencial, las ganancias y las pérdidas, el cambio neto y los intercambios experimentados entre los dos momentos temporales en estudio. Además, este procedimiento de análisis ha hecho posible valorar el cambio total, tomando como referencia las persistencias, y así poder evaluar cuales han sido las transiciones sistemáticas más significativas entre las diversas categorías.

De acuerdo a dicha metodología, hemos partido de una matriz de tabulación cruzada (que en los estudios de usos de suelo se denomina habitualmente matriz de

cambios), resultado de cruzar dos mapas de diferente fecha (en nuestro caso, los años 1990 y 2000). En dicha matriz (tabla 15), las filas representan las categorías del mapa en el tiempo 1 (T1) y las columnas las categorías del mapa en el tiempo 2 (T2). Asimismo, la diagonal principal muestra las persistencias entre T1 y T2, mientras que los elementos fuera de la diagonal principal dan cuenta de las transiciones ocurridas para cada categoría. En el caso del ejemplo que nos ocupa, la fila 6 recoge el total ocupado por cada categoría en el T2 (P_{+j}), mientras que en la columna 6 se refleja el total de cada categoría en el tiempo T1 (P_{i+}). Hasta aquí no existe ninguna diferencia con un análisis basado en un proceso de tabulación cruzada. Sin embargo, ante la necesidad de realizar un estudio detallado de los cambios, los autores citados agregaron una fila y una columna adicional. Así, la fila 7 mostraría la ganancia que tuvo cada categoría entre T1 y T2 y la columna 7 la pérdida que tuvo cada categoría entre las mismas fechas.

Tabla 15. Matriz de tabulación cruzada para dos mapas de diferente fecha.

		Tiempo 2					
Tiempo 1	1	2	3	4	5	6	7
1		Clase 1	Clase 2	.....	Clase n	Suma T ₁	Perdidas
2	Clase 1	P_{11}	P_{12}	.....	P_{1n}	P_{1+}	$P_{1+} - P_{jj}$
3	Clase 2	P_{21}	P_{22}	.....	P_{2n}	P_{2+}	$P_{2+} - P_{jj}$
4	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
5	Clase n	P_{n1}	P_{n2}	.....	P_{nn}	P_{n+}	$P_{n+} - P_{jj}$
6	Suma T ₂	P_{+1}	P_{+2}	.....	P_{+n}	P	
7	Ganancias	$P_{+1} - P_{jj}$	$P_{+2} - P_{jj}$	.....	$P_{+n} - P_{jj}$		

Fuente. Pontius *et al.*, 2004.

Una vez obtenida esta matriz de tabulación cruzada, sería posible el cálculo de toda una serie de parámetros de gran importancia en el análisis de los cambios de usos del suelo:

- Las ganancias, expresadas como la diferencia de la suma total de la fila 6 y los valores de la diagonal principal, es decir $G_{ij} = P_{+j} - P_{jj}$.
- Las pérdidas, expresadas como la diferencia de la suma total de la columna 6 y los valores de la diagonal principal, es decir $L_{ij} = P_{j+} - P_{jj}$. Con estos valores se podrán calcular, posteriormente, el cambio neto, el cambio total y los intercambios.
- El cambio neto, expresado como el valor absoluto de la diferencia de las pérdidas y las ganancias de cada categoría $D_j = |L_{ij} - G_{ij}|$.
- El intercambio, expresado como el doble del valor mínimo de las ganancias o las pérdidas, es decir $S_j = 2 \times \text{MIN}(P_{j+} - P_{jj}, P_{+j} - P_{jj})$.

- e) El cambio total, resultado de la suma de las ganancias y las pérdidas, es decir $DT_j = G_{ij} + L_{ij}$.

Posteriormente, los valores reales del cambio entre las dos fechas del estudio, 1990 y 2000, se obtuvieron por medio de la ecuación del cambio total que, a diferencia de la del cambio neto, nos va a permitir estimar la totalidad de las transiciones que se pueden dar entre las diferentes categorías. Así, si una categoría hubiera presentado ganancias y pérdidas de la misma magnitud, el cambio neto sería igual a cero. Sin embargo, si se empleara la ecuación del cambio total, dicho resultado sería igual al doble de la pérdida o de la ganancia.

Por último, hay que indicar que fue posible la aplicación de toda esta metodología, de manera sencilla, gracias al módulo “*Land Change Modeler for Ecological Sustainability*”, implementado en el SIG Idrisi. Este módulo incluye todo un conjunto de herramientas que posibilitan obtener una rápida evaluación de los cambios, en forma gráfica y de mapas, proporcionando, además, las ganancias y las pérdidas, el cambio neto, la persistencia y las transiciones específicas (figura 89).



Figura 89. Módulo “*Land Change Modeler for Ecological Sustainability*”, del SIG Idrisi.

Sin embargo, no fue posible aplicar este módulo para el estudio del periodo 2000-2006, debido al diferente número de categorías residenciales que existían en los mapas de ambas fechas: tres en el 2000 (tejido urbano continuo, estructura urbana laxa y urbanizaciones exentas y/o ajardinadas) y dos en el 2006 (tejido urbano continuo y tejido urbano discontinuo).

5. 3. 3. Análisis de los cambios de usos de suelo residencial observados para la Comunidad de Madrid entre los años 1990 y 2000.

Según se desprende de un análisis básico, mediante tabulación cruzada de los datos obtenidos a partir del CLC (tabla 16), en el año 2000, la mayor parte de las superficies residenciales de la región estaba ocupada por las urbanizaciones exentas y/o ajardinadas (4,19% del total de la superficie regional), mientras que el 2,12% estaba ocupado por las estructuras urbanas laxas y el 1,52% por el tejido urbano continuo. Si ponemos en relación estos datos con los registrados para el año 1990, podemos observar que, en un intervalo de diez años, la primera de las categorías mencionada experimentó un notable aumento (del 2,54% existente en 1990 al 4,19% del año 2000), mientras que el tejido urbano continuo solo creció de forma ligera (del 1,46 al 1,52%), respecto al suelo dedicado a este uso residencial en 1990. En cuanto a las estructuras urbanas laxas, también podemos apreciar que se incrementaron, pasando del 1,40% en el año 1990 al 2,12% en el año 2000.

Tabla 16. Cambios en los principales usos del suelo residenciales en la Comunidad Madrid (1990-2000).

Categoría	1990 (Ha)	2000 (Ha)	Porcentaje sobre total 1990	Porcentaje sobre total 2000	2000-1990 (Ha)	Incremento sobre 1990 (%)
Tejido urbano continuo	11.735,25	12.254,00	1,46	1,52	518,75	4,42
Estructura urbana laxa	11.294,75	17.044,75	1,40	2,12	5.750,00	50,90
Urbanizaciones exentas y/o ajardinadas	20.426,50	33.592,00	2,54	4,19	13.165,50	64,45
Otros usos	758.096,25	738.662,00	94,57	92,15	-19.434,25	-2,56

Según los datos de la OSE (2006), a nivel nacional, este incremento de suelo urbano en la CAM ocupa, en su conjunto, el tercer puesto del ranking, detrás de las comunidades autónomas valenciana y murciana; aunque podemos observar que, en el caso de Madrid, el crecimiento del suelo destinado a vivienda, que tuvo lugar en el periodo 1990-2000, se produjo, en gran manera, siguiendo alguna de las pautas de baja intensidad de ocupación, características del modelo de ciudad dispersa (baja densidad edificatoria, discontinuidad y fragmentación de los nuevos usos del suelo en el territorio): las urbanizaciones exentas y/o ajardinadas se incrementaron un 64,45% respecto al territorio que ocupaban en el año 1990 y la estructura urbana laxa un 50,90%, mientras que el tejido urbano continuo lo hizo, únicamente, un 4,42%.

Si analizamos, de manera más detallada, la matriz de transformaciones resultante de la tabulación cruzada entre los dos años de estudio (tabla 17), destacaríamos, en primer lugar, que, como es habitual en cualquier análisis de cambios de usos del suelo, domina la persistencia en el paisaje de la región (Pontius *et al.*, 2004; Burnicki *et al.*, 2007), pues, según se desprende de los datos recogidos en la diagonal de la tabla, el 97,12% de la zona de estudio no experimentó ningún cambio que afectara al uso de suelo residencial (de las poco más de 800.000 Ha que ocupaba la Comunidad de Madrid, 778.480 continuaban teniendo el mismo uso en el año 2000 y tan sólo 23.072,75 habían experimentado algún tipo de modificación).

Si atendemos a los cambios en términos de ganancias y pérdidas, fueron las “urbanizaciones exentas y/o ajardinadas” las superficies que mayor incremento registraron, dentro de los usos del suelo residenciales, con un 57,7% del total de las ganancias experimentada entre 1990 y 2000. A continuación, estarían la “estructura urbana laxa” (31,1%) y el “tejido urbano continuo” (5,81%). Por tanto, parece confirmarse el dato de que el crecimiento del suelo residencial, en este periodo, tuvo lugar, en mayor medida, siguiendo el prototipo del modelo de ciudad dispersa. En sentido contrario, podemos comprobar cómo la categoría de “estructura urbana laxa” se convirtió en la gran perdedora de superficie residencial de la región (6,18% del total de las pérdidas en ese mismo periodo), seguida por el “tejido urbano continuo” (3,56%) y las “urbanizaciones exentas y/o ajardinadas” (0,64%).

Tabla 17. Matriz de cambios en los usos del suelo residenciales de la CAM entre los años 1990 y 2000. Medidos en hectáreas.

	Tejido urbano continuo	Estructura urbana laxa	Urbanizaciones exentas y/o ajardinadas	Otros usos	Total 1990	Pérdidas
Tejido urbano continuo	10.913,50	113,75	19,25	688,75	11.735,25	821,75
Estructura urbana laxa	944,75	9.868,75	75,25	406,00	11.294,75	1.426,00
Urbanizaciones exentas y/o ajardinadas	0	0	20.278,50	148,00	20.426,50	148,00
Otros usos	395,75	7.062,25	13.219,00	73.7419,25	758.096,25	20.677,00
Total 2000	12.254,00	17.044,75	33.592,00	73.8662,00	801.552,75	23.072,75
Ganancias	1.340,50	7.176,00	13.313,50	1.242,75	23.072,75	

Analizando a costa de qué otros usos se habían producido las ganancias más importantes, comprobamos que el tejido urbano continuo creció, fundamentalmente, a base de terrenos de estructura urbana laxa; mientras que las urbanizaciones exentas y/o

ajardinadas y la estructura urbana laxa lo hicieron gracias al terreno procedente de “otros usos”, datos que se adaptan perfectamente a la lógica del crecimiento residencial.

Por otro lado, un análisis más pormenorizado de los cambios experimentados en términos de cambios netos, cambios totales e intercambios (tabla 18), indica que las urbanizaciones exentas y/o ajardinadas y la estructura urbana laxa registraron el mayor volumen de cambios netos y totales, fundamentalmente debido a que dichos cambios se habían experimentado en un solo sentido (ganancias en ambos casos). Asimismo, fue la estructura urbana laxa del uso del suelo residencial la que registró un intercambio mayor. Por todo ello, los datos parecen confirmar que el crecimiento del suelo residencial, entre los años 1990 y 2000, se produjo según el modelo de ciudad dispersa.

Tabla 18. Indicadores de cambios en los usos del suelo residenciales en la Comunidad de Madrid en el período 1990-2000 (Ha).

Categorías	Ganancias	Persistencias	Pérdidas	Cambio Neto	Cambio Total	Intercambio
Tejido urbano continuo	1.341	10.913,5	822	519	2.163	1.644
Estructura urbana laxa	7.176	9.868,75	1.426	5.750	8.602	2.852
Urbanizaciones exentas y/o ajardinadas	13.314	20.278,5	148	13.166	13.462	296
Otros usos	1.243	737.419,25	20.677	-19.434	21.920	41.354

Si atendemos a la distribución espacial de todos estos cambios, podemos comprobar como la mayor parte de las transformaciones hacia usos del suelo residencial se ocasionaron en las cercanías de las zonas urbanas ya consolidadas y en las inmediaciones de las principales carreteras nacionales que parten de Madrid (figura 90).

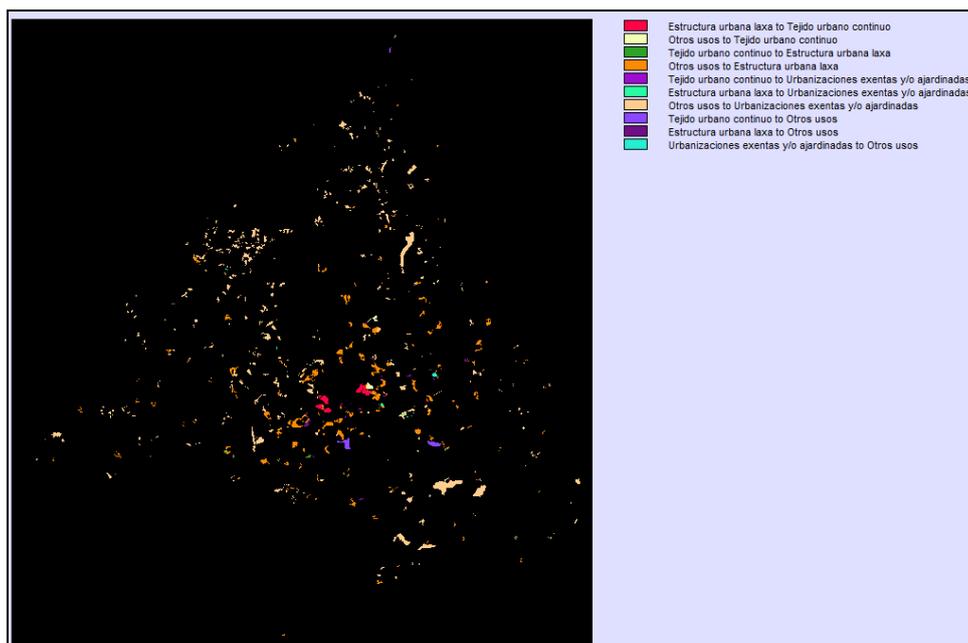


Figura 90. Cambios de los usos del suelo residenciales en la Comunidad de Madrid (periodo 1990-2000).

Analizando la matriz de cambios, es posible, además, precisar con mayor nivel de detalle cuáles fueron los usos sustituidos por los residenciales, las permutas producidas entre los propios usos residenciales e, incluso, comprobar la existencia de algún intercambio dentro de la misma categoría. De la figura 91, se desprende que las zonas urbanas aumentaron su extensión, a costa de espacios ocupados por otros usos del suelo. Sin embargo, también hemos podido comprobar que existió algún intercambio entre las propias áreas residenciales, ya que las categorías “estructura urbana laxa” y “tejido urbano continuo” perdieron superficie para desarrollar nuevas zonas urbanas.

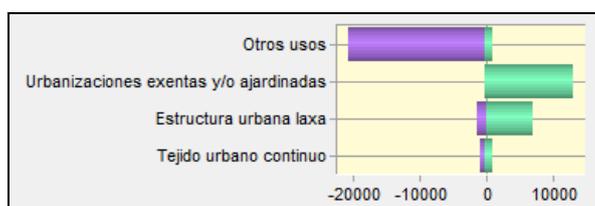


Figura 91. Pérdidas y ganancias por categoría de los usos del suelo residenciales (periodo 1990-2000).

La imagen de los cambios netos por categoría (figura 92) nos confirma que, en la Comunidad Autónoma de Madrid, el incremento del suelo destinado a vivienda durante el periodo 1990-2000 tuvo lugar con un mayor grado de dispersión; en este sentido, fueron las urbanizaciones exentas y/o ajardinadas las que presentaron una mayor incremento de su superficie, seguidas por la estructura urbana laxa y, en muchísima menor medida, por el tejido urbano continuo.

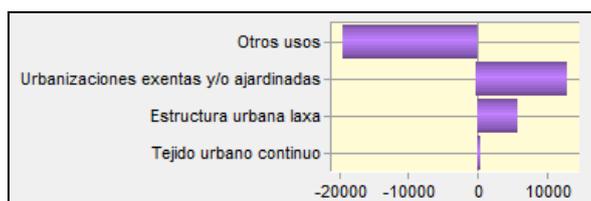


Figura 92. Cambio neto por categoría de los usos del suelo residenciales (periodo 1990-2000).

En cuanto a los terrenos empleados en el proceso de urbanización, los análisis vuelven a confirmar que fue la categoría correspondiente a los “otros usos” la que aportó el mayor volumen de tierras. Sin embargo, creemos que merece la pena señalar que el tímido incremento del tejido urbano continuo se originó, de forma mayoritaria, a base de la estructura urbana laxa preexistente, lo que podría ser considerado testimonio de la compactación de la zona urbana (figuras 93 y 94).

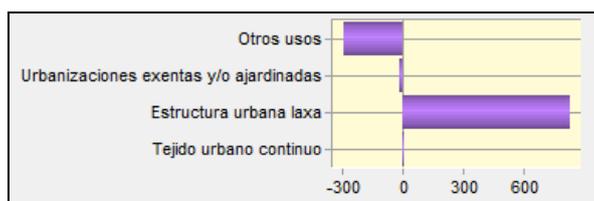


Figura 93. Aportaciones al cambio neto experimentado por el tejido urbano continuo (periodo 1990-2000).

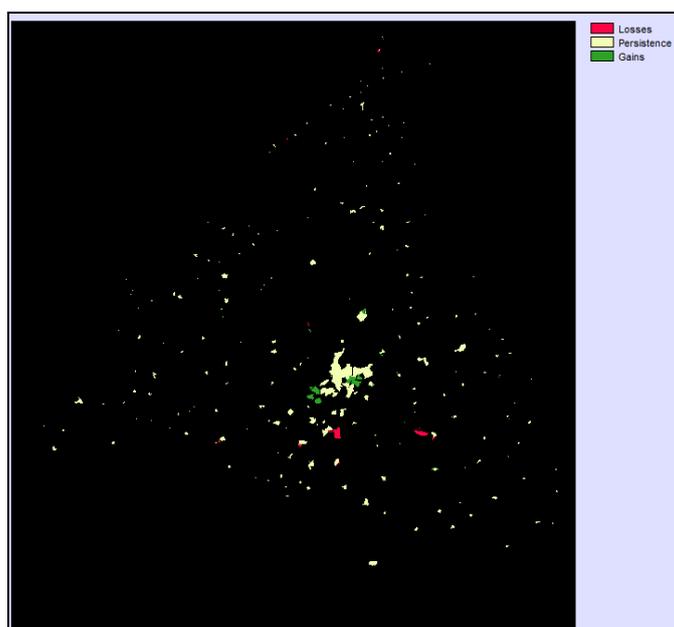


Figura 94. Mapa de pérdidas, persistencia y ganancias, entre los años 1990 y 2000, en la categoría tejido urbano continuo.

En el caso de la estructura urbana laxa (figura 95), su incremento tuvo lugar gracias a los “otros usos” del suelo, de los que empleaba más de 6.000 Ha. Parece lógico pensar que este aumento se promovió a costa de espacios de vegetación arbustiva y/o herbácea o de tierras de labor (figura 96).



Figura 95. Aportaciones al cambio neto experimentado por la estructura urbana laxa (periodo 1990-2000).



Figura 96. Mapa de intercambios entre los años 1990 y 2000: de la categoría “otros usos” a “estructura urbana laxa”.

Finalmente, el caso de las urbanizaciones exentas y/o ajardinadas se presentaba muy similar al de la estructura urbana laxa. Fueron los “otros usos” los que aportaban el mayor volumen de terreno a esta categoría de uso del suelo residencial (más de 12.000 Ha), de lo que podemos inferir que fueron, de nuevo, los espacios de vegetación arbustiva y/o herbácea y las tierras de labor las que disminuyeron la superficie ocupada a favor de este tipo de urbanizaciones (figuras 97 y 98).

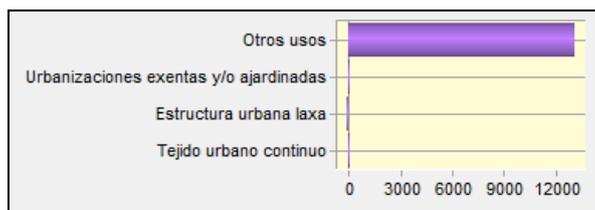


Figura 97. Aportaciones al cambio neto experimentado por las urbanizaciones exentas y/o ajardinadas (periodo 1990-2000).

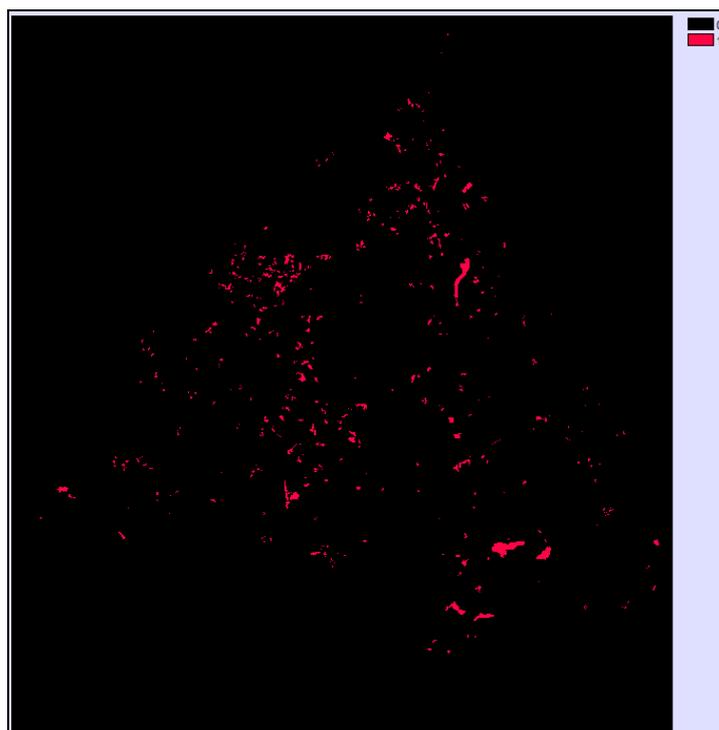


Figura 98. Mapa de transición entre los años 1990 y 2000: de la categoría “otros usos” a “urbanizaciones exentas y/o ajardinadas”.

En resumen, del conjunto del análisis se deriva que, de todo el terreno transformado a zona urbana, la mayor parte se llevo a cabo mediante urbanizaciones exentas y/o ajardinadas (60,99%), seguida por la estructura urbana laxa (32,87%) y, en mucha menor medida, por el tejido urbano continuo (6,14%). Este dato confirma, de manera rotunda, el crecimiento urbano poco compacto que se estaba produciendo en la región, durante ese periodo, lo que conlleva unas connotaciones no muy positivas desde el punto de vista de la sostenibilidad. No obstante, este proceso incesante de urbanización no fue acompañado de un aumento de población que lo justificara, ya que entre 1990 y 2000 la población de la Comunidad de Madrid se incrementó menos del 9%.

8.4. Análisis de los cambios de usos de suelo residencial observados para la Comunidad de Madrid entre los años 2000 y 2006.

Lo primero que hay señalar respecto a este análisis es que no se ha podido realizar un análisis similar, empleando el módulo “Land Change Modeller” de Idrisi, puesto que el CLC2006 únicamente contaba con una clasificación jerárquica de tres niveles y dos usos del suelo residencial (tejido urbano continuo y tejido urbano discontinuo), frente a la clasificación con cinco niveles de jerarquía del CLC2000, con un mayor número de clases (tejido urbano continuo, estructura urbana laxa y urbanizaciones exentas y/o ajardinadas). Por tanto, el estudio de los cambios de ocupación del suelo, acaecidos entre estas fechas, lo hemos debido realizar, mediante una superposición de los mapas temáticos de 2000 y 2006, cuya comparación nos ha facultado para calcular la superficie y localización de estas alteraciones. Sin embargo, los resultados obtenidos no proveen unas conclusiones tan definitivas como en el caso anterior, al proporcionarnos una información menos detallada sobre los procesos de cambio, reducida, exclusivamente, al balance final de éstos (Mas y Fernández, 2003).

Según podemos observar, tras un primer análisis realizado mediante tabulación cruzada de los datos (tabla 19), en el año 2006 la mayor parte de las superficies residenciales de la región estaban ocupadas por el tejido urbano discontinuo (7,71% del total de la superficie de la Comunidad de Madrid), mientras que el 1,66% estaba ocupado por el tejido urbano continuo. Al poner en relación estos datos con los correspondientes al año 2000, para la categoría “tejido urbano continuo”, la única comparable entre las dos fechas, podemos apreciar que en seis años este uso del suelo residencial ha experimentado un pequeño aumento (del 1,53% existente en el año 2000 se pasa al 1,66% en el año 2006).

Tabla 19. Matriz de cambios en los usos del suelo residenciales de la CAM entre los años 2000 y 2006. Medidos en hectáreas.

	Tejido urbano continuo	Estructura urbana laxa	Urbanizaciones exentas y/o ajardinadas	Otros usos	Total 2006	Ganancias
Tejido urbano continuo	10.891,25	495,25	119,5	554,5	12.060,5	1.169,25
Tejido urbano discontinuo	1.362,75	16.549,5	33.472,5	10.404	61.788,75	11.766,75
Otros usos	0	0	0	727.621,75	727.621,75	0
Total 2000	12.254	17.044,75	33.592	738.580,25	80.1471	12.936
Pérdidas	1.362,75	495,25	119,5	10.958,5	12.936	

Al examinar, de manera más pormenorizada, la matriz de transformaciones resultante de la tabulación cruzada entre los dos años de estudio, vuelve a destacar, en primer lugar, que, como es normal en los análisis de cambios de usos del suelo, domina la persistencia en el paisaje de la Comunidad Autónoma de Madrid, ya que según los datos que se observan en la tabla 19, el 98,39% de la superficie no ha experimentado ningún cambio que afecte al uso de suelo residencial (del total territorial de la CAM, 788.535 Ha continúan teniendo el mismo uso y únicamente 12.936 han sufrido algún tipo de cambio).

Si atendemos a los cambios en términos exclusivos de ganancias y pérdidas, es el “tejido urbano discontinuo”, la superficie que mayor aumento ha registrado dentro de los usos del suelo residenciales, con un 90,96% del total de las ganancias de terreno urbano experimentadas entre 2000 y 2006. Por su parte, el “tejido urbano continuo” ha crecido un 9,04%, frente al 5,81% del periodo 1990-2000. Por tanto, parece observarse un pequeño cambio de tendencia en el crecimiento del suelo residencial en este periodo, con un viraje hacia crecimientos más compactos y un ligero retroceso respecto a la consolidación de la dispersión, con un aumento porcentual importante del tejido urbano continuo.

Un análisis de las ganancias más importantes, nos indica que el tejido urbano continuo ha crecido, principalmente, en base a terrenos de otros usos del suelo (554 Ha), aunque también los ha hecho en un elevado porcentaje gracias a las estructura urbana laxa (495 Ha) y, en mucha menor medida, a las urbanizaciones exentas y/o ajardinadas (119 Ha). Parece lógica la transformación de territorios ocupados por estructuras urbanas laxas en tejidos urbanos continuos, dentro del proceso de consolidación de determinados núcleos de doblamiento. Por su parte, el tejido urbano discontinuo ha crecido gracias al terreno procedente de los “otros usos” (10.404 Ha) y al tejido urbano continuo (1.362 Ha).

Si atendemos a la distribución espacial de todos estos cambios, podemos comprobar como la mayor parte de las transformaciones hacia usos del suelo residenciales se ha producido en las cercanías de las zonas urbanas ya consolidadas (figura 99).

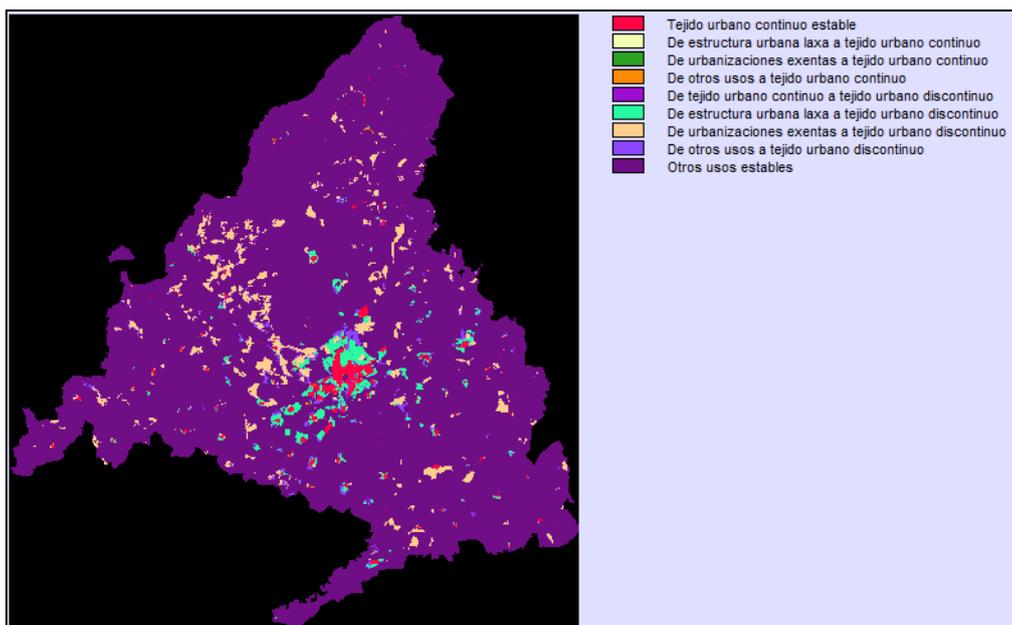


Figura 99. Cambios de los usos del suelo residenciales en la Comunidad de Madrid (periodo 2000-2006).

Entre los años 2000 y 2006, podemos comprobar cómo las zonas urbanas han ganado extensión, básicamente, a expensas del territorio ocupado por otros usos del suelo. Sin embargo, también observamos que se ha verificado un intercambio entre las propias áreas residenciales, puesto que estas zonas han perdido determinadas áreas para desarrollar otras nuevas zonas urbanas.

Por tanto, podemos afirmar que el crecimiento del suelo destinado a vivienda en la Comunidad de Madrid, en el periodo 2000-2006, continúa produciéndose, en parte, bajo el patrón del modelo disperso, ya que el tejido urbano discontinuo incrementó su superficie un 22,02% respecto al territorio que ocupaba en el año 2000, mientras que el tejido urbano continuo alcanzaba muchísima menos extensión. Sin embargo, se puede apreciar un cambio de tendencia respecto al anterior periodo estudiado. Mientras que entre los años 1990 y 2000 la estructura urbana laxa creció un 50,9% y las urbanizaciones exentas y/o ajardinadas lo hicieron un 64,45%, entre los años 2000 y 2006 este crecimiento se redujo, de forma conjunta, al 22,02% anteriormente comentado. A lo que hay que añadir el ligero repunte del territorio ocupado por el tejido urbano continuo.

5. 3. 5. Conclusiones.

Los resultados presentados muestran la existencia de una serie de cambios en los patrones de distribución espacial del uso de suelo residencial en la aglomeración urbana de Madrid, desde el año 1990 al 2006.

El crecimiento del suelo destinado a vivienda del periodo 1990-2000 se encuentra más en consonancia con el modelo de ciudad dispersa, caracterizado por la baja densidad edificatoria, la discontinuidad y la fragmentación de los nuevos usos del suelo en el territorio. Sin embargo, en el periodo 2000-2006, parece producirse un cierto retroceso en el desmedido crecimiento del modelo residencial de baja densidad edificatoria del periodo anterior, con un crecimiento mucho menor del tejido urbano discontinuo y un incremento de la superficie destinada al tejido urbano continuo. Esta cierta ruptura de la tendencia anterior es posible que se encuentre relacionada con la consolidación de núcleos secundarios de poblamiento en la Comunidad de Madrid, que generaron su propio crecimiento urbano basado en tipologías edificatorias de alta densidad, así como en el desarrollo de los ensanches residenciales llevados a cabo en el municipio de la capital.

5. 4. Medición de la estructura del suelo ocupado, mediante índices

5. 4. 1. Introducción

Desde un enfoque ecológico, el estudio de la estructura del paisaje, en su doble vertiente de análisis de sus propiedades de composición (tipos de elementos que forman parte del mismo) y configuración (disposición espacial de dichos elementos), ha sido uno de los objetos de estudio de la ecología del paisaje como ciencia, en el contexto del rápido desarrollo experimentado por la disciplina en las últimas décadas (Dramstad *et al.*, 1996), así como uno de sus puntos de encuentro de la planificación ambiental (Antrop, 2001; Botequilha y Ahern, 2002) con la Geografía (Sotelo, 1991).

Hay que señalar que el origen de la ecología del paisaje presenta una estrecha relación con la ciencia geográfica. Ya a finales de la década de 1930, el geógrafo Carl Troll empleó, por vez primera, la expresión “landscape ecology”. Hoy en día, podemos afirmar que la ecología del paisaje contiene un enfoque científico de carácter multidisciplinar, con una aportación fundamental de la Geografía y la Ecología. Esta contribución se ha plasmado en la adopción de varios principios y conceptos ecológicos en el estudio del paisaje, a partir de un análisis predominantemente geográfico, que destaca la variabilidad espacial, escalar y temporal que requiere este tipo de estudios (Vila *et al.*, 2006).

En esta área del conocimiento científico, el elemento clave para interpretar el paisaje es el concepto de mosaico, dentro del cual se pueden diferenciar tres grandes tipos de elementos: los fragmentos (teselas o manchas), los corredores y la matriz (figura 100). Los fragmentos son las diferentes unidades morfológicas a distinguir en el territorio; los corredores son las conexiones existentes entre unas manchas y otras; y, finalmente, la matriz es la suma de fragmentos y corredores. Tomando como base este modelo de tesela-corredor-matriz (Forman y Godron, 1986; Forman, 1995), la ecología del paisaje ha centrado su atención en el estudio de los diferentes tipos de teselas que

componen un paisaje, sus tamaños y formas, la presencia de corredores y su conectividad, la distribución espacial de dichos corredores y teselas, etc. Muchas de estas características espaciales de forma, tamaño o distribución, pueden ser cuantificadas mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (Bosque y García, 2000) y de un conjunto de métricas o índices de la ecología del paisaje (McGarigal y Marks, 1995; Gustafson, 1998; Herzog y Lausch, 2001; Botequilha y Ahern, 2002; Turner, 2005), que pueden ser definidos como un conjunto de medidas cuantitativas agregadas, derivadas del análisis digital de mapas temáticos (Herold *et al.*, 2003).

Por tanto, la distinción entre estos tres elementos abre un extenso abanico de posibilidades de valoración cuantitativa, cuyo fin es analizar la situación en un momento concreto, así como la estimación de los cambios a lo largo del tiempo y su incidencia paisajística, ecológica, etc. (Vila *et al.*, 2006).

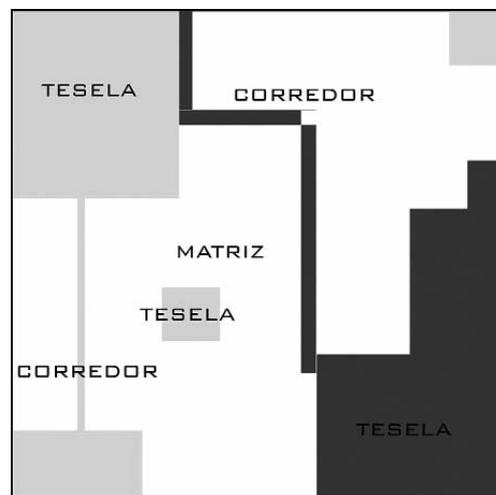


Figura 100. Modelo tesela-corredor-matriz (Aguilera, 2010).

Estas métricas pueden aportar información, por ejemplo, de la proporción que existe de un determinado uso en un paisaje, la forma o elongación de las teselas de cada uso, o los tamaños medios de cada tesela. Esta información consiste únicamente en un conjunto de valores numéricos (una parte de ellos con un rango de variación definido), que por sí solos, es decir, en términos absolutos, no tienen un valor determinante. No obstante, y desde el punto de vista de su valor comparativo, los resultados de dichos índices pueden aportar una información muy valiosa acerca de la evolución y cambios que tienen lugar en un paisaje determinado, a la hora de comparar diferentes paisajes (Aguilera, 2010). Esta es una de las razones por las que su empleo se ha extendido en los últimos años, estando incluso disponible un software específico (FRAGSTATS) elaborado por McGarigal y Marks (1995) que permite obtener de forma sencilla y gratuita un amplio conjunto de métricas de este tipo.

Las implicaciones que plantea la posibilidad de valorar y cuantificar cambios en los paisajes, y la posibilidad de vincular dichas modificaciones a procesos territoriales,

son obvias (Dramstad *et al.*, 1996; Jongman, 2004): así, la ecología del paisaje y la planificación territorial encuentran un ámbito de trabajo común en el que se incorpora la dimensión ecológica-espacial a la valoración, análisis y planificación territorial (Botequilha *et al.*, 2006). Por su parte, este nuevo espacio de encuentro ha requerido y requiere de un lenguaje (Antrop, 2001) y contexto teórico propio (Botequilha y Ahern, 2002), que aún sigue desarrollándose.

En cualquier caso, los puntos de encuentro de las disciplinas son claros. Valga como ejemplo la cuestión de la escala, de capital importancia en los trabajos y prácticas relacionadas con la planificación territorial, que por otra parte, resulta igualmente de vital importancia en la ecología del paisaje. No en vano, cualquier patrón o forma que se pueda detectar y medir en un paisaje a través de estas métricas, dependerá fundamentalmente de la escala que se emplee para ello (Forman y Godron, 1986; McGarigal y Marks, 1995; Turner, 2005).

En este espacio interdisciplinar, se han desarrollado múltiples trabajos (Antrop, 2001; Botequilha y Ahern, 2002; Kong *et al.*, 2007) que han tenido como objetivo la selección de aquellas métricas o índices más representativos y de mayor utilidad para ser empleados en la monitorización, seguimiento, planificación y elaboración de proyectos en territorios diversos, que van desde espacios agrarios periurbanos, con un elevado grado de alteración urbana, a espacios naturales protegidos en un estado natural de conservación. Valgan como ejemplos, entre los múltiples trabajos existentes, el plan del municipio italiano de Pozzalo, en Sicilia (Bettini *et al.*, 2001); desarrollado bajo los preceptos de la ecología del paisaje y el diseño de corredores ambientales, al igual que para la región de Padua (Bettini *et al.*, 2006); los trabajos en el ámbito metropolitano de Milán, de Senes y Toccolini (2004), para la valoración y planeamiento de los recursos naturales y culturales de su entorno; o los de Botequilha *et al.*, (2006) en el que se valoran diferentes escenarios de crecimiento y su sostenibilidad para la ciudad de Amherst (Estados Unidos) mediante un conjunto de métricas de la ecología del paisaje.

En este contexto, surge la cuestión de la posible aplicabilidad e interés de dichos índices o métricas para estudiar paisajes o entornos meramente urbanos. Podemos plantearnos si resultaría de interés conocer las características espaciales de los nuevos crecimientos urbanos, la compacidad de los nuevos fragmentos, o el aislamiento de los mismos. Si convenimos que la respuesta es afirmativa, el siguiente paso sería preguntarnos si podrían emplearse para ello las métricas de la ecología del paisaje, lo que ya no tiene una respuesta tan clara. Y es que la aplicabilidad y utilidad de unos instrumentos diseñados para caracterizar estructuras de los paisajes, atendiendo a su dimensión ecológico-espacial, puede presentar dudas (Aguilera, 2010). Por ello, en primer lugar, vamos a abordar la revisión de algunos de los trabajos recientes que han apostado por valorar, a través de este conjunto de índices, algunas características espaciales de paisajes urbanos, así como una discusión acerca de la aplicabilidad de dichos índices en estos ámbitos.

5. 4. 2. La aplicabilidad de las métricas de análisis espacial a entornos urbanos y metropolitanos.

Como ya hemos visto, las métricas de la ecología del paisaje surgieron para valorar las características espaciales y territoriales de los procesos ecológicos (Gustafson, 1998), en relación con conceptos como la fragmentación, la diversidad, la dominancia, la forma, el aislamiento, la compacidad o la elongación.

Sin embargo, muchos de estos conceptos (fragmentación, forma, compacidad, diversidad), tienen un interés en el tratamiento y estudio de los fenómenos de expansión urbana y metropolitana, que tienen lugar en varios lugares de nuestro planeta (Alberti, 1999; Antrop, 2000; Galster *et al.*, 2001; Song y Knaap, 2004; Indovina, 2005; Dalda *et al.*, 2006; Ministerio de Vivienda, 2006; Kasanko *et al.*, 2006; European Environment Agency, 2006). Puesto que la mayor parte de los trabajos que estudian los procesos de crecimiento urbano, únicamente emplean las estadísticas de ocupación del suelo para monitorizar y valorar los cambios metropolitanos (Herzog y Lausch, 2001), las métricas de análisis espacial puede aportar nuevas posibilidades de análisis. Así, se podrían realizar estudios de los patrones de crecimiento (Alberti, 1999), las formas de ocupación urbana (Herold *et al.*, 2003), la valoración de escenarios futuros (Van Beusekom, 2003; Franco *et al.*, 2005) y la validación de los resultados de los modelos de simulación (Berling-Wolf y Wu, 2004), entre otros.

Para ello, sería necesario emplear las métricas para medir características espaciales que tengan que ver con la fragmentación, forma, aislamiento, conectividad, compacidad y elongación, diversidad, etc., en este caso sin relación con los procesos ecológicos. Su aplicabilidad a este respecto puede ser discutida mediante la revisión de trabajos relevantes en la materia (tabla 20).

Tabla 20. Métricas de análisis espacial para valorar características espaciales de paisajes urbanos

Autor	Ámbito de estudio y descripción del trabajo	Métricas empleadas
Geoghegan <i>et al.</i> , (1997)	Washington DC (Estados Unidos). Estimación de los valores económicos de áreas residenciales incorporando características de la estructura espacial del paisaje urbano, determinadas a través de métricas de análisis espacial.	Diversidad, Dimensión Fractal, Longitud de Bordes.
Alberti y Waddel (2000)	Región Metropolitana Puget Sound, Washington (Estados Unidos). Empleo de métricas de análisis espacial para determinar los cambios introducidos en el paisaje por los resultados de modelos de simulación.	Diversidad, Dominancia, Índice de Forma, Distancia al Vecino más Próximo, Dimensión Fractal, Contagio.
Van Beusekom (2003)	Dos ámbitos metropolitanos en los Países Bajos (Rotterdam-La Haya y Den Bosch-Oss). Se exploran un conjunto de índices o herramientas de análisis espacial para evaluar características de escenarios futuros que tienen que ver con aspectos como la sostenibilidad o la calidad de vida.	Landscape Shape Index, Índice de Agregación, Distancia al vecino más Próximo, Índice de Proximidad Medio.
Berling-Wolf y Wu (2004)	Área metropolitana de Phoenix (Estados Unidos). Selección y aplicación de un conjunto de métricas de análisis espacial para evaluar los resultados de modelos de simulación desde el punto de vista de la estructura del paisaje resultante.	Número de Fragmentos, Densidad de Bordes, Tamaño Medio de la Mancha, Coeficiente de Variación del Tamaño de la Mancha, Índice de Forma Ponderado por Área, Dimensión Fractal.
Alberti y Marzluff (2004)	Región metropolitana Puget Sound, Washington (Estados Unidos). Aplicación de métricas de análisis espacial para la caracterización del paisaje metropolitano y su puesta en relación con las características de los ecosistemas presentes.	Porcentaje de Usos, Tamaño medio de Fragmento, Contagio, Dominancia, Índice de Agregación, Porcentaje de Adyacencias.
Franco <i>et al.</i> , (2005)	Venecia (Italia). Estimación de métricas de análisis espacial para la valoración de escenarios de desarrollo territorial.	Distancia al Vecino más Próximo, Conectividad, Distancia Mínima y Máxima entre Elementos Corredor.
Herold <i>et al.</i> , (2005)	Santa Bárbara, California (Estados Unidos). Métricas de análisis espacial para analizar los patrones de crecimiento urbano.	Contagio, Densidad de Fragmentos, Porcentaje de Uso, Densidad de Bordes, Dimensión Fractal Media Ponderada.
Mateucci y Silva (2005)	Región de la Pampa (Argentina). Análisis de imágenes de satélite a través de métricas de análisis espacial para discriminar áreas con diferente grado de alteración humana en función de la estructura del paisaje.	Porcentaje de Usos, Densidad de Fragmentos, Tamaño Medio de Fragmento, Densidad de Bordes, Índice de Forma, Dimensión Fractal, Distancia al Vecino más Próximo, Índice de Proximidad.
Li <i>et al.</i> , (2008)	Delta del río Pearl (China). Empleo de métricas para la identificación de "signaturas" de crecimiento urbano para su posterior simulación.	Distancia al Vecino más Próximo, Índice de Agregación, Índice de Forma Medio, Dimensión Fractal Media.

Fuente: Aguilera (2010).

Del conjunto de trabajos recogidos en la tabla 15, se pueden identificar tres grupos principales:

a) El primer grupo de trabajos emplea las métricas de análisis espacial con el objetivo de realizar una descripción espacial de las características de los paisajes urbanos. Ejemplos de estos trabajos son los de Geoghegan *et al.*, (1997), que emplean un conjunto de métricas de fragmentación y de diversidad en la evaluación de los valores residenciales en el área metropolitana de Washington, desde un punto de vista del valor económico. Igualmente, los de Alberti y Marzluff (2004) y Herold *et al.*, (2005) emplean métricas de análisis espacial para determinar las características espaciales del paisaje urbano, entre las que se encuentran el tamaño medio de los fragmentos o el índice de contagio, con un enfoque similar al presentado en Mateucci y Silva (2005) para la estimación del grado de alteración por acción del hombre en Argentina.

b) El segundo grupo emplea las métricas como instrumento de comparación espacial y/o de optimización de simulaciones urbanas o de cambios de usos. En esta línea se enmarca el estudio de Alberti y Waddell (2000), en el que se señala su importancia para mejorar la implementación de los modelos de simulación del cambio de los usos del suelo, puesto que pueden permitir la generación de unas simulaciones más acordes con la realidad de la estructura y composición de los paisajes simulados. En esta línea, Herold *et al.*, (2003) y Li *et al.*, (2008) establecen mediante un conjunto de métricas unas firmas de los crecimientos urbanos experimentados, que luego pueden ser implementadas en la modelización de los mismos. Por su parte, Berling-Wolf y Wu (2004) llevan a cabo una validación de los resultados de un modelo de simulación de la ocupación urbana para la ciudad de Phoenix a través de estos instrumentos.

c) Finalmente, el tercer grupo de trabajos emplea las métricas para la valoración de escenarios futuros, como los de Van Beusekom (2003) o los de Franco *et al.*, (2005), haciendo especial hincapié en lo que respecta a cuestiones como la sostenibilidad o la calidad de vida de los mismos. Para ello, las métricas de análisis espacial pueden jugar un papel importante, tanto en la valoración de las formas y patrones de crecimiento, como en los cambios inducidos en la estructuras periurbanas existentes (Di Bari, 2007).

De esta forma se puede concluir que los trabajos analizados muestran el amplio campo de aplicabilidad de las métricas de la ecología espacial o del paisaje al análisis, modelización y valoración de paisajes urbanos, como una herramienta de fácil disponibilidad y que puede ser empleada en cualquier lugar en el contexto del modelo tesela-corredor-matriz (Aguilera, 2010).

5. 4. 3. La selección de las métricas de análisis espacial.

Para valorar la evolución de las áreas de uso del suelo residencial, se han seleccionado un conjunto de métricas de análisis espacial, de entre una cantidad ingente existente (O'Neill *et al.*, 1988; Riitters *et al.*, 1995; Botequilha y Ahern, 2002). Las métricas seleccionadas aportarán información acerca de la fragmentación, forma/compacidad y aislamiento o dispersión (Van Beusekom, 2003; Botequilha *et al.*, 2006) de este uso de suelo urbano. Una descripción de las métricas seleccionadas, de acuerdo con McGarigal *et al.*, (2002), sería la siguiente:

- a) *Número de manchas o "Patch Number" (NP)*: el número de teselas es la métrica más sencilla que puede dar una idea de la medida en que un uso se encuentra dividido o fragmentado. Únicamente, consiste en identificar el número de manchas o fragmentos individuales existentes del uso urbano identificado. Por tanto, puede orientar acerca de la fragmentación que el uso residencial presenta en cada uno de los años analizados.
- b) *Densidad de Manchas o "Patch Density" (PD)*: equivale al número de manchas de ese uso, dividido por al área total de la zona de estudio. Tiene la misma utilidad básica que el número de manchas, pero al expresar el número de manchas por unidad de área facilita las comparaciones entre zonas de tamaño diferente.
- c) *Tamaño medio de las manchas o "Medium patch size" (AREA_MN)*: el tamaño medio de la mancha o tesela para un determinado uso del suelo muestra la superficie media de las manchas individuales de un uso determinado. Junto con el NP, aporta información acerca de la fragmentación del uso en cuestión; en nuestro caso, el residencial, de tal forma que un incremento del NP junto a una disminución del AREA_MN revelará un incremento de la fragmentación.
- d) *Compacidad media de las manchas o "Mean Compaction" (GYRATE_MN)*: esta métrica aporta una idea de la compacidad de los diferentes fragmentos, o en sentido inverso, de su elongación. Es la media para todas las manchas de un mismo uso del valor del parámetro radio de giro (GYRATE). Este parámetro se calcula para cada fragmento, como la distancia de cada píxel al centroide de dicho fragmento. Cuanto más cercanos a la forma del círculo son estos fragmentos, menores serán los valores del GYRATE y mayor será su compacidad. En sentido contrario, un mayor valor mostrará una mayor elongación de los fragmentos. Es necesario destacar que este índice se encuentra influenciado por el tamaño de los fragmentos, de tal forma que incrementos en el AREA_MN generalmente se traducen en una mayor elongación o incremento del GYRATE_MN.
- e) *Índice de Forma medio o "Mean Shape Index" (SHAPE_MN)*: el índice de forma de las manchas es una métrica que aporta información sobre la complejidad geométrica de los fragmentos. Mide la relación entre el perímetro de un fragmento y el

f) *Distancia media al vecino más próximo o “Mean Euclidian distance to nearest neighbour” (ENN_MN)*: es la media para cada uso de la distancia a la tesela más próxima del mismo uso, y aporta información acerca del grado de aislamiento de los distintos fragmentos. Una disminución de sus valores puede suponer la aparición de nuevos fragmentos en el caso de usos que se encuentran muy aislados, mientras que por el contrario su incremento puede suponer la agregación de múltiples fragmentos que se encontraban muy cercanos.

5. 4. 4. La relación entre las métricas y los patrones de crecimiento urbano.

Seleccionadas las métricas, las características espaciales medidas por ellas se pueden poner en relación con las características de los patrones de crecimiento urbano. De esta forma, la variación conjunta de los valores de las diferentes métricas podrá ser interpretada como una tendencia hacia uno u otro patrón de crecimiento urbano en las zonas estudiadas. A modo de ejemplo, podemos señalar que una elevación del número de manchas (NP) junto a una disminución de su tamaño medio (AREA_MN), indicarían una mayor fragmentación, que podría ser interpretada como una tendencia hacia un patrón de crecimiento disperso.

La tabla 21 trata de resumir la relación que se puede establecer entre la evolución en los valores de las métricas y los posibles patrones de crecimiento urbano.

Tabla 21. Interpretación de los cambios en las métricas en relación con los diferentes patrones de crecimiento urbano.

METRICA	PROPIEDAD ESTIMADA	INTERPRETACIÓN A NIVEL DE PATRONES DE CRECIMIENTO URBANO
NP	Cambio en el número de teselas o fragmentos del uso urbano.	Un incremento estaría asociado a una mayor dispersión del uso y una disminución a una mayor agregación. Se debe valorar conjuntamente con el AREA_MN.
AREA_MN	Cambio en el tamaño medio de los fragmentos de cada uso urbano.	Un incremento mostraría unas teselas de mayor tamaño. Unido a una disminución del NP se interpretaría como incremento de la agregación. Sin embargo, un cambio en el mismo sentido que el NP puede indicar un patrón de crecimiento disperso.
SHAPE_MN	Cambio en la forma/elongación de los fragmentos.	Un incremento sugiere fragmentos más alargados, propios de una menor compacidad de los fragmentos.
GYRATE_MN	Cambio en la forma de los fragmentos.	Su interpretación es similar a la del SHAPE_MN, con mayor elongación para valores más altos. Sin embargo esta métrica es dependiente del AREA_MN, luego a mayores AREA_MN tiende a incrementarse.
ENN_MN	Cambio en la distancia media de un fragmento al más cercano.	Su incremento mostraría una mayor dispersión del uso por el territorio. Unido a incrementos de NP y AREA_MN se traduce en patrones dispersos. Una disminución unida a descenso del NP y aumento del AREA_MN mostraría un patrón más agregado.

Fuente: Aguilera, 2010.

5. 4. 5. La cartografía de los usos del suelo residenciales.

Para lograr los valores resultado de cada índice, ha sido necesaria la obtención de las imágenes de los usos del suelo residenciales en la Comunidad de Madrid. Para ello como ya indicamos en el apartado 3. 1., hemos empleado la información proveniente del proyecto *CORINE Land Cover*, correspondiente a los años 1990, 2000 y 2006. Se trata

de la única información disponible elaborada con criterios homogéneos para las tres fechas seleccionadas en este estudio.

El programa CORINE (*Coordination of Information of the Environment*) nace con el objetivo de recopilar de manera coordinada y homogénea información sobre el estado del medio ambiente y los recursos naturales en la Unión Europea. Dicha iniciativa se materializa con la elaboración del *CORINE Land Cover* del año 1990, base de datos a escala 1:100.000 sobre la cobertura y/o uso del territorio en el ámbito europeo, para cuya elaboración todos los países de la Unión Europea siguieron unas directrices comunes (figura 101).

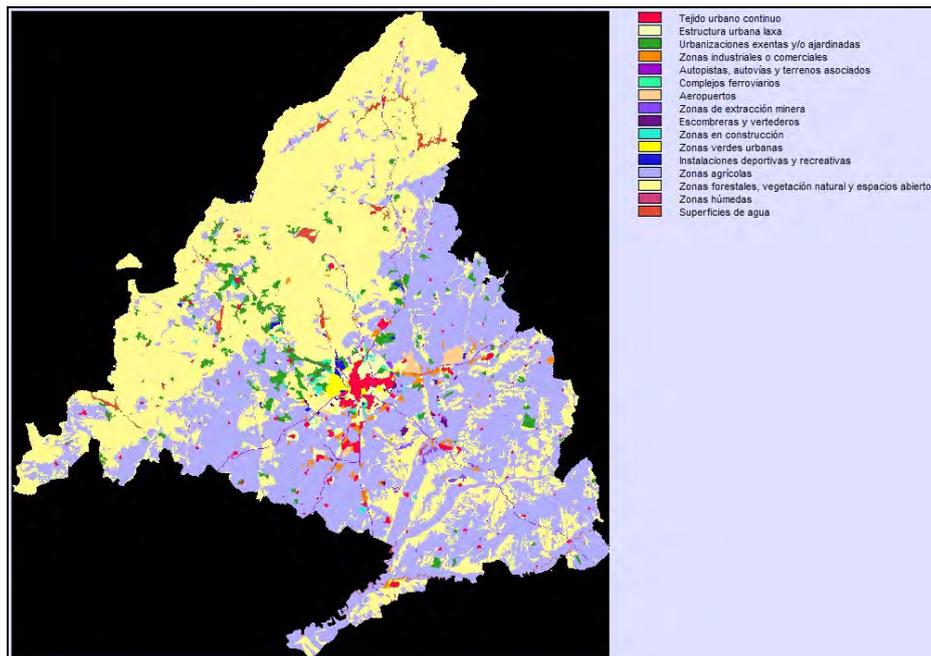


Figura 101. Mapa de usos del suelo (*CORINE Land Cover*) de la Comunidad de Madrid, correspondiente al año 1990.

Diez años después se ha llevado a cabo a cabo una actualización de esta base de datos, de modo que la información fuese comparable para las dos fechas. A partir del empleo de imágenes del sensor *Thematic Mapper*, a bordo del satélite *Landsat-7*, se ha elaborado un nuevo mapa de cobertura y uso del suelo para el año 2000. Finalmente, en los últimos años, la Agencia Europea del Medio Ambiente ha puesto a disposición de la comunidad científica el CLC2006, mapa de usos del suelo para el año 2006, realizado a partir de imágenes de los satélites SPOT-4 e IRS P6.

Para este trabajo, hemos empleado las categorías “tejido urbano continuo”, “estructura urbana laxa” y “urbanizaciones exentas y/o ajardinadas” de los mapas de usos del suelo de los años 1990 y 2000 (figura 102) y sus categorías equivalentes, “tejido urbano continuo” y “tejido urbano discontinuo”, del mapa del año 2006, con el fin de obtener una imagen para cada año en la que únicamente se recogieran, con un

valor unitario, las áreas de uso del suelo residencial en la Comunidad de Madrid (figura 103).

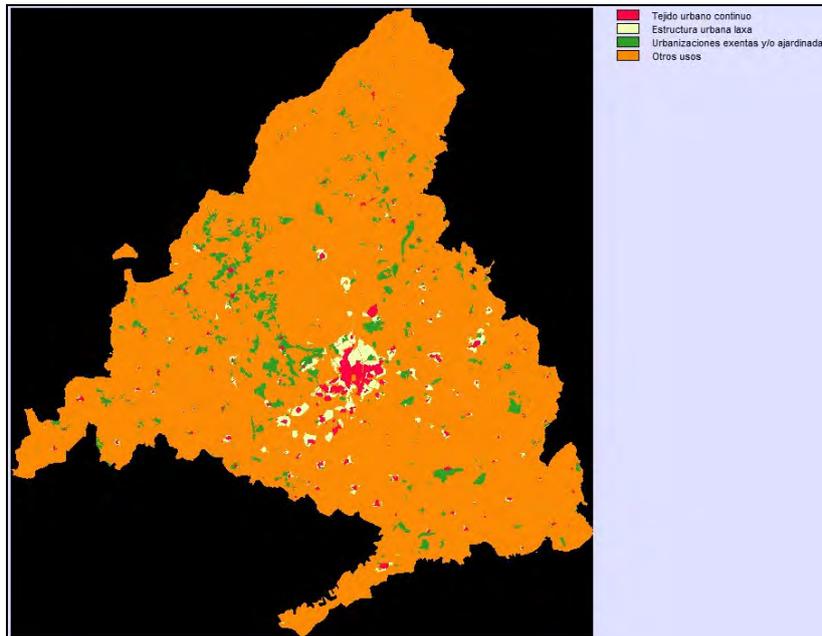


Figura 102. Usos de suelo urbano en la Comunidad de Madrid para el año 2000.

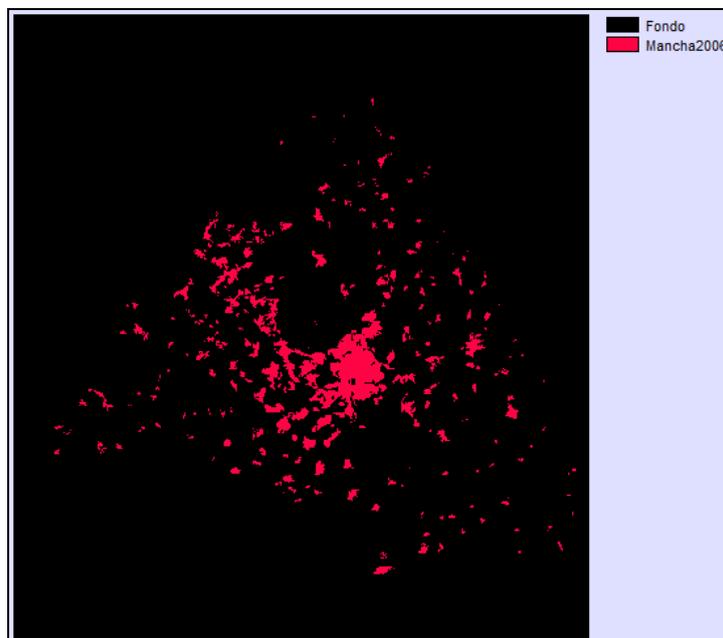


Figura 103. Áreas residenciales en la Comunidad de Madrid para el año 2006.

En el caso de la aglomeración urbana de Granada, hemos utilizado las imágenes obtenidas por fotografía aérea de los años 1977, 1990 y 1999, una vez digitalizada la información. La fotografía aérea de 1977 formaba parte de un vuelo a escala 1:18.000, realizado por el Ministerio de Agricultura, mientras que las imágenes correspondientes a

1990 y 1999 procedían del Mapa Digital de Andalucía, comercializado por el ICA, a escala 1:10.000. Ello nos ha permitido obtener los mapas de uso del suelo residencial en el área metropolitana de Granada para esos tres años (figura 104), que se han empleado, posteriormente, para obtener los valores de las diferentes métricas escogidas para este trabajo.

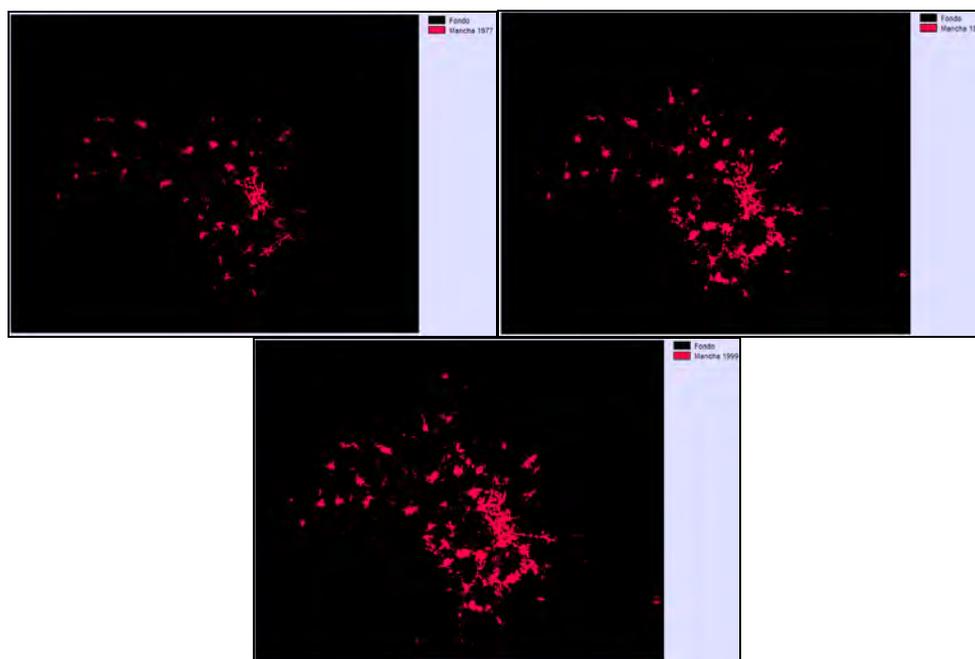


Figura 104. Distribución espacial del uso del suelo residencial en el área metropolitana de Granada, en los años 1977, 1990 y 1999, respectivamente (de izquierda a derecha, y de arriba a abajo).

5. 4. 6. El cálculo de las métricas de análisis espacial.

La cartografía obtenida en el apartado anterior ha sido importada en el software FRAGSTATS (McGarigal y Marks, 1995), instrumento para el cálculo de las métricas de análisis de ecología del paisaje. Este software, de la Universidad Amherst de Massachusetts, de acceso libre disponible en la red (www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html), permite obtener un amplio conjunto de métricas de este tipo, estando considerado como el programa más completo en lo que se refiere a la diversidad y capacidad para desarrollar cálculos métricos (Aguilera, 2008).

FRAGSTATS opera a partir de capas categóricas en formato ráster que, como vimos en el apartado anterior, hemos generado a partir de la cartografía de usos del suelo. Según sus propios autores, es "un software de análisis de patrones espaciales para cuantificar la estructura del paisaje" que, como ya indicamos, ha sido ampliamente

empleado en estudios de paisajes agrarios, naturales e incluso urbanos y suburbanos. De esta forma, se puede obtener un conjunto de índices de cuantificación de la estructura de los paisajes atendiendo a sus características espaciales, como instrumento de valoración de su cambio (figura 105).

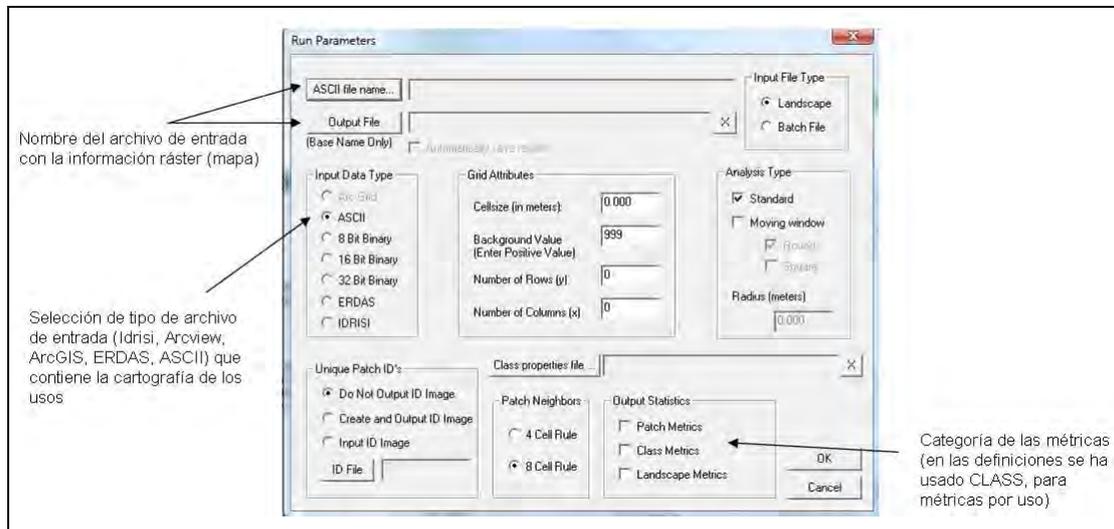


Figura 105. Aplicación práctica del empleo del software FRAGSTATS.

Gracias al empleo del software FRAGSTATS y, a partir de los mapas de uso del suelo residencial en la Comunidad de Madrid para los años 1990, 2000 y 2006 (figura 106), se han obtenido los valores de las distintas métricas seleccionadas para este estudio (figura 107). Estos valores nos permitirán medir la estructura del paisaje en tres momentos diferentes y poder inferir los procesos de cambio que han tenido lugar en el período comprendido entre las tres fechas.

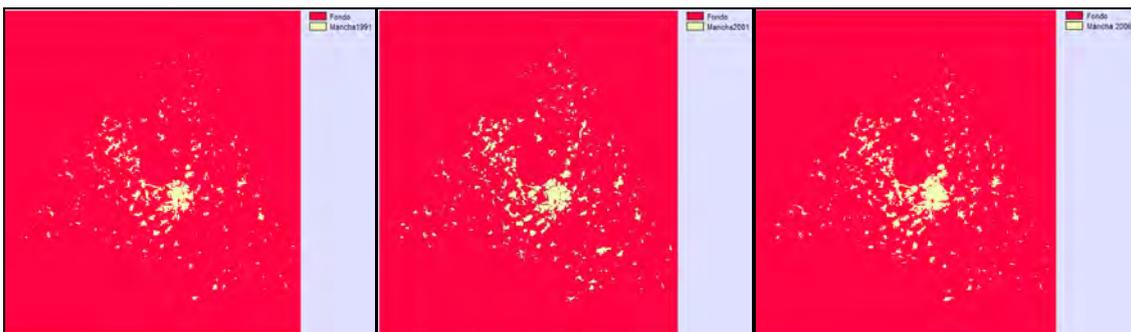


Figura 106. Distribución espacial del uso del suelo residencial en la Comunidad de Madrid, en los años 1990, 2000 y 2006, respectivamente (de izquierda a derecha).

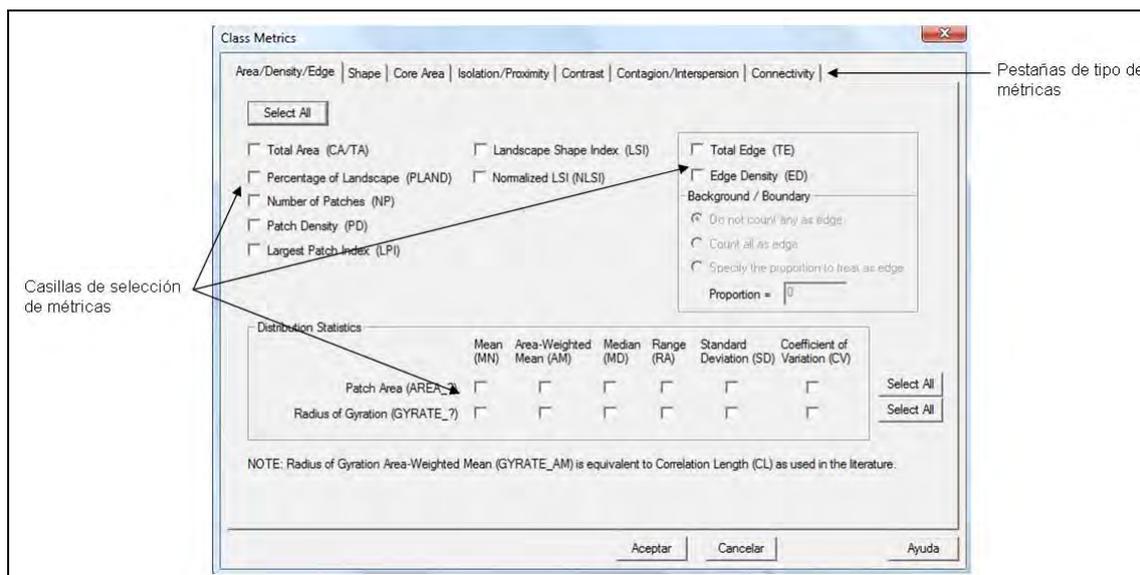


Figura 107. El cálculo de las métricas de análisis espacial.

5. 4. 7. Resultados y discusión para el conjunto de la Comunidad de Madrid.

Una vez que hemos obtenido los valores de las distintas métricas, hemos llevado a cabo una valoración de los resultados para cada uno de los diferentes índices en cada una de las tres fechas del estudio para la CAM: 1990, 2000 y 2006.

El índice relativo al “número de manchas” nos indica que el uso de suelo residencial en la Comunidad de Madrid se fragmenta en el período 1990-2000, al pasar de un total de 419 teselas en el primer año a 646. Por tanto, el incremento del valor estaría asociado a una mayor dispersión del uso residencial. Sin embargo, este índice nos indica que en el período 2000-2006 se produce el fenómeno contrario, al reducirse de las 646 manchas comentadas anteriormente a 304, por lo que este menor número de manchas nos muestra una mayor compactación de la superficie residencial durante los últimos años (figura 108). Es decir, la disminución del valor está asociada a una mayor agregación.

Por tanto, podemos pensar que en el periodo 1990-2000 tuvieron mayor relevancia los desarrollos urbanos ligados a un tipo de crecimiento urbano más disperso, lo que evidencia una ruptura con el modelo anterior (el modelo residencial propio de la década de los setenta, cuando se conformó el modelo metropolitano de la Comunidad de Madrid, con un claro patrón de crecimiento compacto y monocéntrico). Sin embargo, entre los años 2000 y 2006, los datos parecen indicar, sino una vuelta a un tipo de crecimiento compacto y contiguo, si una menor dispersión relativa del desarrollo residencial en la región, que podría estar ligado a la consolidación de los núcleos secundarios de poblamiento en el área metropolitana madrileña, que generan su propio crecimiento urbano, “rellenando” los extensos espacios libres que aparecieron durante la expansión urbana dispersa del periodo anterior.

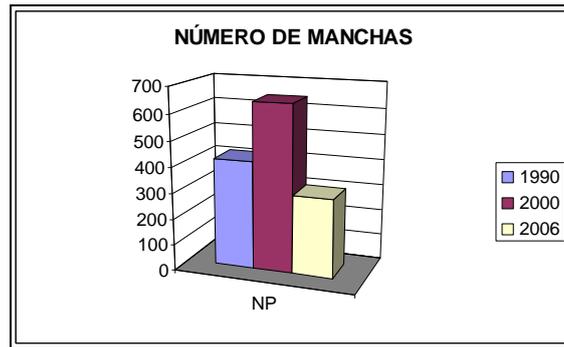


Figura 108. Resultado obtenido a partir del índice “número de manchas” en la Comunidad Autónoma de Madrid.

Por su parte, el “tamaño medio de las manchas” nos muestra que se produce un incremento de la fragmentación del uso de suelo residencial en el período 1990-2000, al pasar de un valor de superficie media de las teselas de 100,75 en el año 1990 a 97,36 en el año 2000. Este descenso muestra unas teselas de menor tamaño en el año 2000. El incremento en el número de manchas en el periodo 1990-2000, junto con una disminución del valor del tamaño medio de las manchas en este mismo periodo, confirma el incremento de la fragmentación. El importante aumento del tamaño medio de las manchas en el año 2006 (con un valor de 215,09) es indicativo del incremento de la compacidad en el segundo periodo estudiado. El aumento del valor en el periodo 2000-2006 revela unas teselas de mayor tamaño, lo que unido a una disminución del número de manchas se interpreta como un incremento de la agregación.

En cuanto a los resultados conseguidos mediante la métrica de la “compacidad media de los fragmentos”, podemos comentar que el descenso en el valor en el periodo 1990-2000 discurre paralelo a una mayor compacidad de los diferentes fragmentos de uso residencial (el valor del índice pasa de 328,85 a 319,45), para aumentar entre los años 2000 y 2006, al presentar un valor de 481,70 en este último año (figura 109). El incremento del valor en este periodo muestra una mayor elongación de los fragmentos, propio de una menor compacidad.

Por consiguiente, los datos obtenidos mediante los índices “tamaño medio de las manchas” y “compacidad media de las manchas” parecen confirmar las ideas planteadas tras el estudio del número y densidad de las manchas del uso del suelo residencial en el área metropolitana madrileña: entre los años 1990 y 2000 se produjo un patrón de crecimiento más cercano al modelo de ciudad dispersa, mientras que entre los años 2000 y 2006 este patrón de crecimiento de las ciudades derivó hacia una mayor significación de los desarrollos contiguos y compactos.

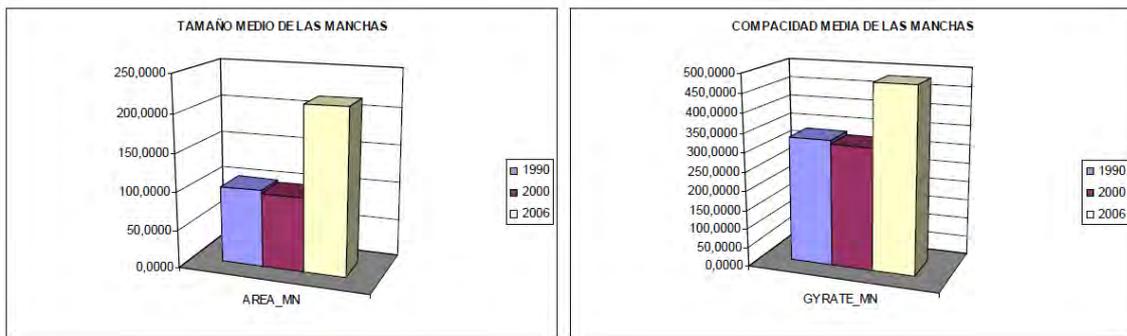


Figura 109. Resultados obtenidos a partir de los índices “tamaño medio de las manchas” y “compacidad media de las manchas”, en la Comunidad Autónoma de Madrid.

El “índice de forma” nos indica que la forma de las manchas del uso de suelo residencial se va volviendo más compleja con el paso de los años, con valores, respectivamente, de 1,49; 1,53 y 1,75 respectivamente para los años 1990, 2000 y 2006. Además, nos aporta una medida de la compacidad de los fragmentos, que se hacen menos compactos con el paso del tiempo. El aumento continuo de este valor es indicativo de la complejidad de la formas de las manchas de uso residencial con el paso de los años. Por tanto, el incremento del valor sugiere fragmentos más alargados, propios de una menor compacidad.

Por su parte, el índice “distancia media a las manchas más próximas” presenta unos valores de 1.383,27 (año 1990), 771 (año 2000) y 1.208,28 (año 2006). La disminución del valor en el primer periodo (1990-2000) hace suponer la aparición de nuevos fragmentos del uso del suelo residencial, mientras que su incremento entre los años 2000 y 2006 nos permite pensar en la agregación de múltiples fragmentos que se encontraban muy cercanos (figura 110).

Estos valores parecen abundar en la tesis de la gran importancia de los desarrollos urbanos ligados a un tipo de crecimiento más disperso de la metrópoli en el periodo 1990-2000, y el cambio hacia unos desarrollos concentrados y compactos entre los años 2000 y 2006.

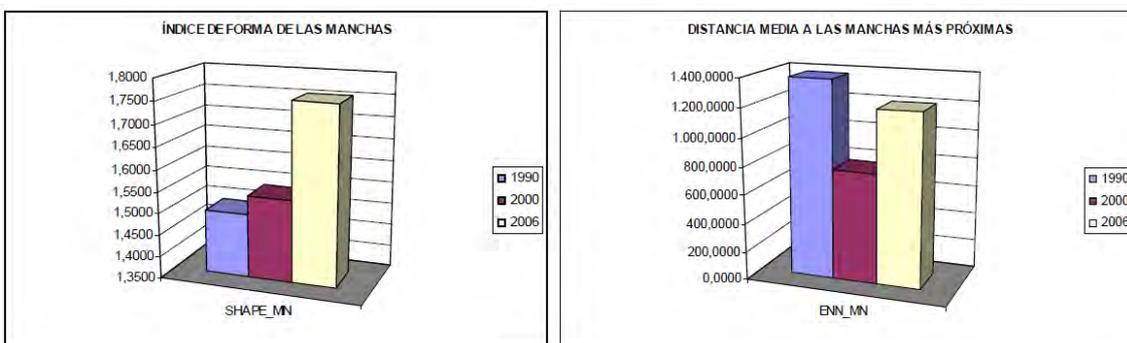


Figura 110. Resultados obtenidos a partir de los índices “forma de las manchas” y “distancia media a las manchas más próximas”, en la Comunidad Autónoma de Madrid.

5. 3. 8. El estudio de las métricas de análisis espacial en los diferentes sectores de la Comunidad de Madrid.

Al igual que se ha realizado en otros apartados de este estudio, vamos a analizar los resultados de la aplicación de las métricas de análisis espacial en los sectores espaciales de la Comunidad de Madrid, que presentan unos rasgos sociodemográficos y territoriales claramente diferenciados.

Ya hemos comentado que el desarrollo urbano de las periferias de nuestras grandes ciudades ha venido marcado por la dispersión, la fragmentación y las bajas densidades, dentro del marco de la ciudad difusa. Sin embargo, podemos señalar que, en las nuevas periferias de Madrid, el crecimiento de manera dispersa puede encubrir toda una serie de contrastes espaciales. Por ello, hemos llevado a cabo un análisis en los cuatro sectores de la Comunidad de Madrid: norte, este, sur y oeste. El primero de ellos se articula en torno al corredor de la carretera de Burgos; el segundo se ubica alrededor de la carretera de Barcelona, en el corredor del río Henares; el tercero se ubicaría en el territorio comprendido entre las carreteras de Andalucía y de Extremadura; y el último se encontraría articulado en torno a la carreteras de La Coruña (figura 78).

Como señalamos anteriormente, el incremento del parque de viviendas y el cambio en las tipologías edificatorias hacia modelos urbanos de baja densidad atestiguan la tendencia al desarrollo de un modelo de crecimiento más disperso y fragmentado, al menos hasta los primeros años del siglo XXI. Entre los años 1991 y 2001, el aumento del parque de viviendas se puede cifrar en más de 543.000, lo que supone un incremento del 28,1%, mientras que la población únicamente creció un 9,6% (García y Gutiérrez, 2007). Sin embargo, pensamos que esta tendencia hacia un modelo de desarrollo residencial disperso y fragmentado no se puede aplicar por igual a todos los sectores de la CAM, existiendo diferencias en el modelo de crecimiento entre unas zonas y otras.

Este modelo de crecimiento madrileño presenta como característica principal la gran dicotomía entre la zona noroeste, con una población de mayor poder adquisitivo y construcciones con menores densidades residenciales, frente al área sureste, de un nivel de renta más bajo, mayores densidades edificatorias y una gran especialización en actividades industriales (Méndez y Ondátegui, 2000; García y Gutiérrez, 2007). Los municipios del este y del sur, con mayor tradición industrial, acogen una población joven en busca de empleo y de su primera residencia; mientras que en el norte y el oeste se instala una población de mayor edad media y de más status social, que exigía un hábitat menos denso y de mayor calidad ambiental (Méndez, 2001).

Resultados y discusión para el área este de la Comunidad de Madrid.

A partir de los mapas de uso del suelo residencial en la Comunidad de Madrid para los años 1990, 2000 y 2006 (figura 111), hemos obtenido los valores de las métricas seleccionadas para este estudio en la zona este de la CAM.



Figura 111. Distribución espacial del uso del suelo residencial en la zona este de la Comunidad de Madrid, en los años 1990, 2000 y 2006, respectivamente (de izquierda a derecha).

La evolución del valor del “número de manchas” pone de manifiesto que el uso de suelo residencial, en la zona este de la Comunidad de Madrid, se fragmentó en el período 1990-2000, al pasar de un total de 48 teselas en el primer año a 63. En este caso, podemos inferir que el incremento del valor está asociado a una mayor dispersión del uso residencial. Sin embargo, en el período 2000-2006, se produjo el fenómeno contrario, al pasar de las 63 manchas comentadas anteriormente a 57, por lo que este menor número de manchas nos muestra que este uso se compacta superficialmente en los últimos años. Así, la disminución del valor está asociada a una mayor agregación (figura 112).

Por tanto, podemos pensar que, en la zona este de la CAM, entre los años 1990 y 2000, tuvieron cierta importancia los desarrollos urbanos asociados con un tipo de crecimiento urbano disperso. Al igual que ocurría para el conjunto de toda la Comunidad, entre los años 2000 y 2006, las cifras parecen señalar una vuelta a un tipo de crecimiento compacto y contiguo.

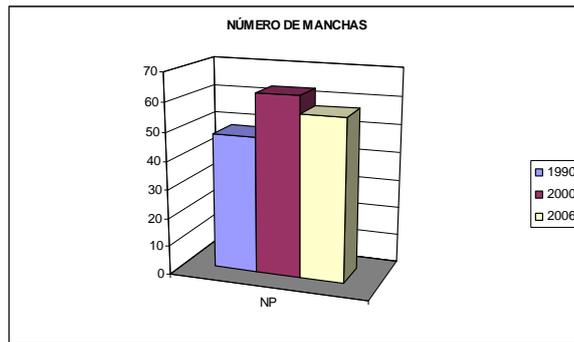


Figura 112. Resultado obtenido a partir del índice “número de manchas”, en la zona este de la Comunidad de Madrid.

El “tamaño medio de las manchas” nos muestra que se produce un incremento de la compacidad del uso de suelo residencial en el período 1990-2006, al pasar de un valor de superficie media de las teselas de 66,14 en el año 1990 a 74,00 en el año 2000 y a 84,57 en el año 2006. El incremento en el número de manchas en el periodo 1990-2000, junto con el aumento del valor del tamaño medio de las manchas en este mismo periodo, puede indicarnos un patrón de crecimiento disperso. Por el contrario, el aumento del valor en el periodo 2000-2006 nos indica unas teselas de mayor tamaño, lo que unido a una disminución del número de manchas se interpreta como un incremento de la agregación.

En cuanto a los resultados conseguidos mediante la métrica “compacidad media de los fragmentos”, el índice aumentó entre los años 1990 y 2000 (pasando de 271,81 a 285,51), para seguir incrementándose entre los años 2000 y 2006, al presentar un valor de 304,82 en este último año (figura 113). El constante crecimiento del valor en todo el periodo de estudio muestra la mayor elongación de los fragmentos, propio de una menor compacidad. Hay que tener en cuenta, además, que, al estar influenciado este índice por el tamaño de los fragmentos, incrementos en el valor del tamaño medio de las manchas se traducen en un incremento del valor de la compacidad.

Por todos estos datos, los índices “tamaño medio de las manchas” y “compacidad media de las manchas” parecen indicarnos que, también en el área este de la Comunidad de Madrid, entre los años 1990 y 2000 se produjo un patrón de crecimiento del usos del suelo residencial de acuerdo al modelo de ciudad dispersa, mientras que entre los años 2000 y 2006 este patrón de crecimiento deriva hacia unos desarrollos más contiguos y compactos.

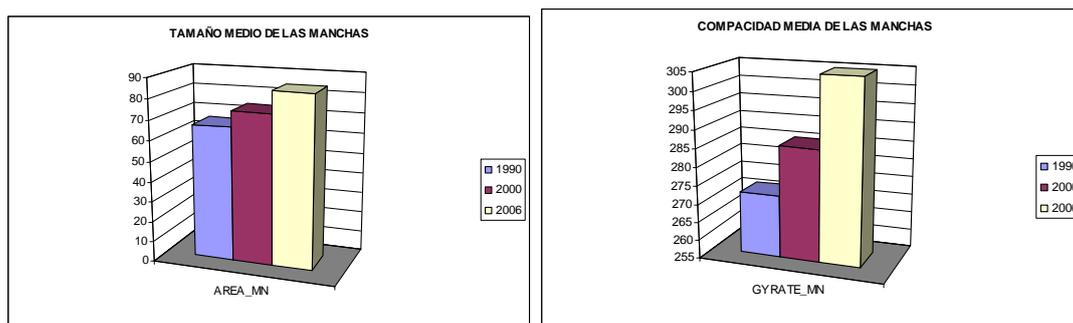


Figura 113. Resultados obtenidos a partir de los índices “tamaño medio de las manchas” y “compacidad media de las manchas, en la zona este de la Comunidad de Madrid”.

Por su parte, el “índice de forma” nos indica que la forma de las manchas del uso de suelo residencial se fue volviendo más compleja con el paso de los años, con valores, respectivamente, de 1,40; 1,47 y 1,53, respectivamente para los años 1990, 2000 y 2006. El aumento continuo de este valor muestra un incremento de la complejidad de las formas de las manchas de uso residencial con el transcurso del tiempo. Además, el incremento del valor apunta hacia fragmentos más alargados, lo que nos indica una menor compacidad de los fragmentos.

Finalmente, el índice “distancia media a las manchas más próximas” presenta unos valores de 1.373,55 (año 1990), 908,55 (año 2000) y 797,79 (año 2006). La disminución progresiva de este valor a lo largo del periodo de estudio indica la aparición de nuevos fragmentos del uso de suelo residencial a lo largo de todos estos años (figura 114).

Estos valores parecen incidir en la gran importancia de los desarrollos urbanos asociados a un tipo de crecimiento más disperso, también en el sector este de la CAM, en el periodo 1990-2000, y el cambio hacia unos desarrollos más concentrados y compactos entre los años 2000 y 2006.

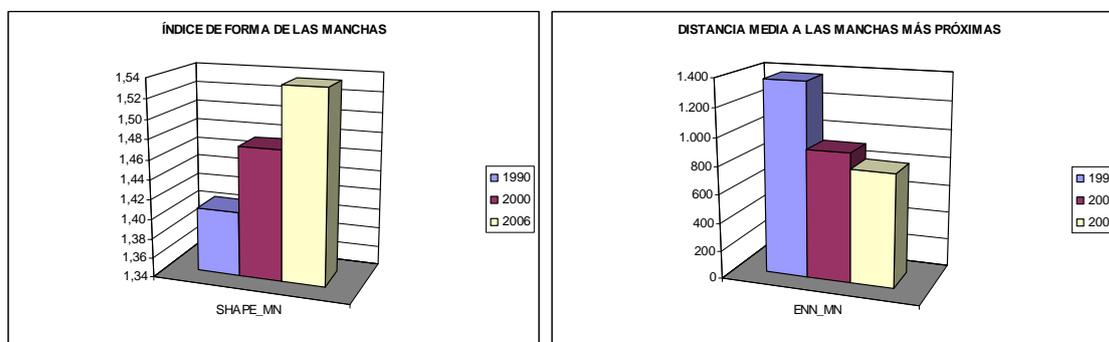


Figura 114. Resultados obtenidos a partir de los índices “forma de las manchas” y “distancia media a las manchas más próximas”, en la zona este de la Comunidad de Madrid.

Resultados y discusión para el área sur de la Comunidad de Madrid.

A partir de los mapas de uso del suelo residencial en la Comunidad de Madrid para los años 1990, 2000 y 2006 (figura 115), hemos obtenido los valores de las métricas seleccionadas en la zona sur de la CAM.

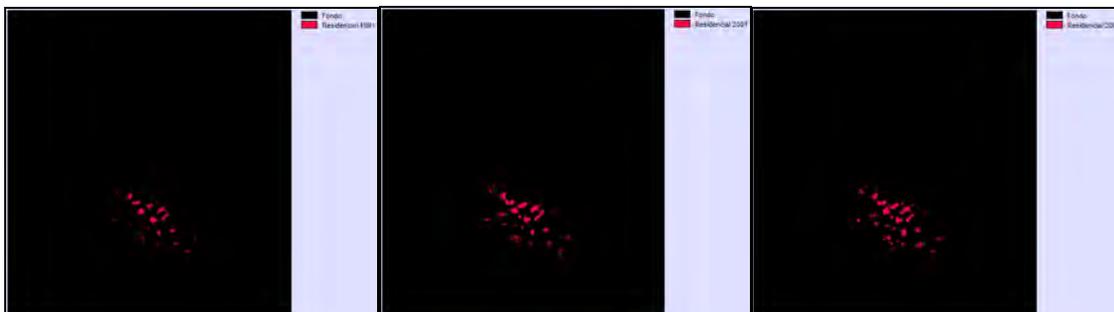


Figura 115. Distribución espacial del uso del suelo residencial en la zona sur de la Comunidad de Madrid, en los años 1990, 2000 y 2006, respectivamente (de izquierda a derecha).

El “número de manchas” muestra que el uso de suelo residencial en la zona sur de la Comunidad de Madrid se fragmentó en el período 1990-2000, al pasar de un total de 54 teselas en el primer año a 80. Sin embargo, este índice indica que, en el período 2000-2006, se produjo el fenómeno inverso, al pasar de 80 manchas a 51, por lo que este menor valor del índice constata la compactación acaecida durante los últimos años (figura 116). El incremento del valor en el primer periodo estaría asociado a una mayor dispersión del uso residencial, mientras que su disminución estaría ligada a un aumento de la agregación.

Estos datos nos indicarían la implantación de un tipo de urbanismo ligado con un crecimiento urbano más disperso, en el primero de los periodos analizados. Por contra, entre los años 2000 y 2006, los valores de los índices parecen apuntar hacia un tipo de crecimiento compacto y contiguo.

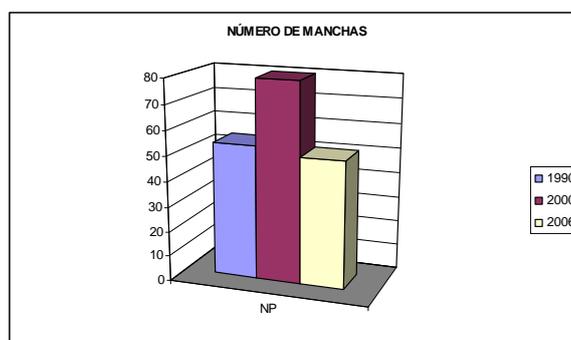


Figura 116. Resultado obtenido a partir del índice “número de manchas”, en la zona sur de la Comunidad de Madrid.

El índice “tamaño medio de las manchas” nos señala que se produjo un incremento constante de la fragmentación del uso de suelo residencial con el paso de los años, al pasar de un valor de superficie media de los fragmentos de 86,17, en el año 1990, a 99,34 en el año 2000 y a 165,52 en el año 2006. El aumento del valor del tamaño medio de las manchas en el periodo 1990-2000, junto con el incremento en el número de manchas en este mismo periodo, parece indicarnos un patrón de crecimiento disperso en estos años. El incremento del tamaño medio de las manchas entre los años 2000 y 2006 nos indica la presencia de teselas de mayor tamaño, lo que unido a un descenso del número de manchas se puede interpretar como un aumento de la agregación.

En cuanto a los resultados obtenidos con la métrica denominada “compacidad media de los fragmentos”, podemos observar como la compacidad aumentó en todo el periodo de estudio. Entre los años 1990 y 2000, el valor del índice pasó de 311,25 a 335,96, volviendo a aumentar entre los años 2000 y 2006, con un valor de 434,36 para este último año (figura 117). El incremento continuo del valor de este índice nos estaría indicando una mayor elongación de los fragmentos con el paso de los años, propio de una menor compacidad. También hay que señalar que este índice está influenciado por el tamaño de los fragmentos, por lo que un aumento en el valor del tamaño medio de las manchas normalmente se convierte en un crecimiento del valor de la compacidad.

Tras el estudio de los valores de estos dos últimos índices, los datos parecen ratificar que entre 1990 y 2000 se produjo un patrón de crecimiento en el sector sur de la CAM de acuerdo al modelo de ciudad dispersa, mientras que entre los años 2000 y 2006 este patrón de crecimiento de las ciudades se modificó hacia un tipo de desarrollo compacto y contiguo.

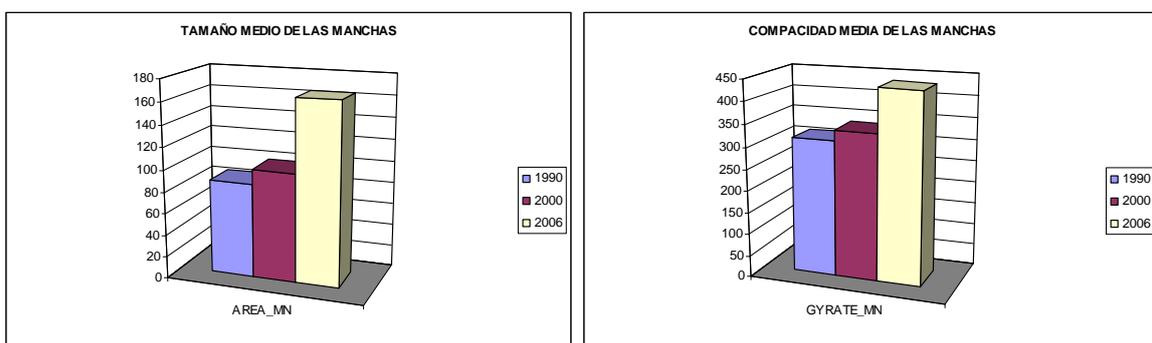


Figura 117. Resultados obtenidos a partir de los índices “tamaño medio de las manchas” y “compacidad media de las manchas, en la zona sur de la Comunidad de Madrid”.

El “índice de forma” nos indica que la forma de las manchas del uso de suelo residencial se va volviendo más compleja con el paso de los años, con valores,

respectivamente, de 1,46; 1,52 y 1,55 para los años 1990, 2000 y 2006. El continuo aumento de este valor con el paso del tiempo indica un aumento de la complejidad de las formas de las manchas de uso residencial. Además, el incremento del valor apunta hacia fragmentos más alargados, característicos de una menor compacidad de los fragmentos.

Por otro lado, el índice “distancia media a las manchas más próximas” presentaba un valor de 1.170,22 en el año 1990, disminuyendo hasta 669,17 en el año 2000 y aumentando de nuevo su valor hasta 1.187,58 en el año 2006. La disminución del valor en el primer periodo (1990-2000) supone la aparición de nuevos fragmentos del uso del suelo residencial, mientras que su aumento entre los años 2000 y 2006 nos invita a pensar en la unión de fragmentos que se encontraban muy próximos unos de otros (figura 118).

Estos resultados parecen incidir en la idea de la gran significación del crecimiento disperso en la zona sur de la Comunidad de Madrid entre los años 1990 y 2000, y la transformación hacia unos desarrollos más compactos y concentrados en el periodo 2000-2006.

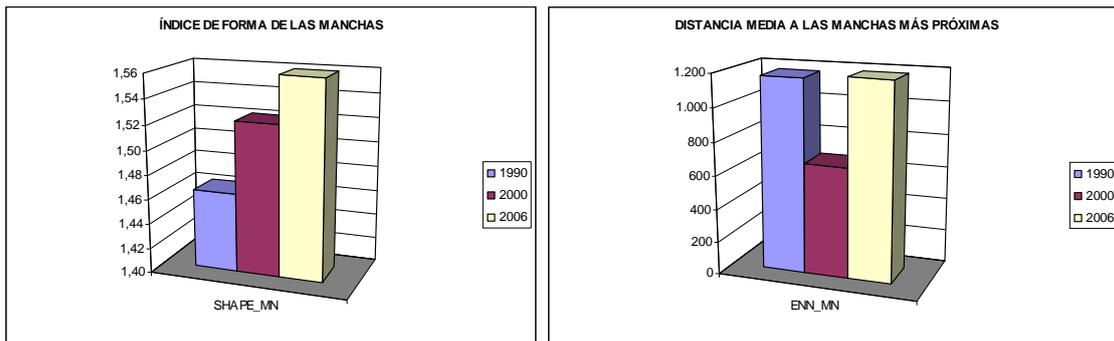


Figura 118. Resultados obtenidos a partir de los índices “forma de las manchas” y “distancia media a las manchas más próximas”, en la zona sur de la Comunidad de Madrid.

Resultados y discusión para el área norte de la Comunidad de Madrid.

Partiendo de los mapas de uso del suelo residencial en la Comunidad de Madrid para los años 1990, 2000 y 2006 (figura 119), hemos conseguido obtener los valores de las diferentes métricas para la zona norte de la CAM.



Figura 119. Distribución espacial del uso del suelo residencial en la zona norte de la Comunidad de Madrid, en los años 1990, 2000 y 2006, respectivamente (de izquierda a derecha).

El índice “número de manchas” señala que se produjo una fragmentación en el uso de suelo residencial, en la zona norte de la Comunidad de Madrid, en el período 1990-2000, al pasar de un total de 113 teselas en el primer año a 194. Sin embargo, el índice nos indica que en el período 2000-2006 se obtuvieron los resultados contrarios, al pasar de 194 manchas a sólo 73, con lo que este uso se compactó superficialmente, de manera muy importante, entre esos años (figura 120). Por tanto, el incremento del valor entre los años 1990 y 2000 estaría asociado a una mayor dispersión del uso residencial, y su disminución entre los años 2000 y 2006 tendría que ver con un aumento de la agregación.

Por tanto, los datos parecen señalar que este sector de la CAM ocurre algo similar a lo observado anteriormente en las áreas este y sur: gran importancia de los desarrollos urbanos asociados a un tipo de crecimiento urbano más disperso en el periodo 1990-2000, y un tipo de crecimiento más compacto entre los años 2000 y 2006.

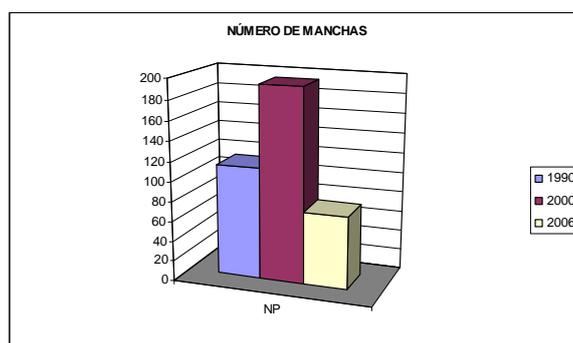


Figura 120. Resultado obtenido a partir del índice “número de manchas”, en la zona norte de la Comunidad de Madrid.

La métrica “tamaño medio de las manchas” nos muestra que tuvo lugar un incremento de la fragmentación del uso de suelo residencial en el período estudiado, con unos valores de superficie media de las teselas de 46,26 en el año 1990, 51,25 en el año 2000 y 101,21 en el año 2006. El importante aumento del tamaño medio de las manchas

en el año 2006 respecto al año 2000 nos indica el incremento de la compacidad en el segundo periodo estudiado, con unas manchas de mayor tamaño, lo que unido a un descenso del número de manchas se puede interpretar como un incremento de la agregación. El aumento en el número de manchas en el periodo 1990-2000, unido al incremento del valor del tamaño medio de las manchas en esos mismos años, nos orienta hacia un patrón de crecimiento disperso.

Estos datos parecen coincidir con los resultados conseguidos mediante la “compacidad media de los fragmentos”, ya que aumenta entre los años 1990 y 2000 (el valor del índice pasa de 219,17 a 237,83), así como entre los años 2000 y 2006, al presentar un valor de 352,54 en este último año (figura 121). Este incremento constante del valor nos indica una mayor elongación de los fragmentos, con una menor compacidad, aunque debemos tener en cuenta que, normalmente, incrementos en el valor del tamaño medio de las manchas se traducen en un incremento del valor de la compacidad.

Por tanto, estos nuevos datos parecen abundar en la idea del patrón de crecimiento de acuerdo al modelo de ciudad dispersa entre los años 1990 y 2000, y del patrón de crecimiento compacto en el periodo 2000-2006.

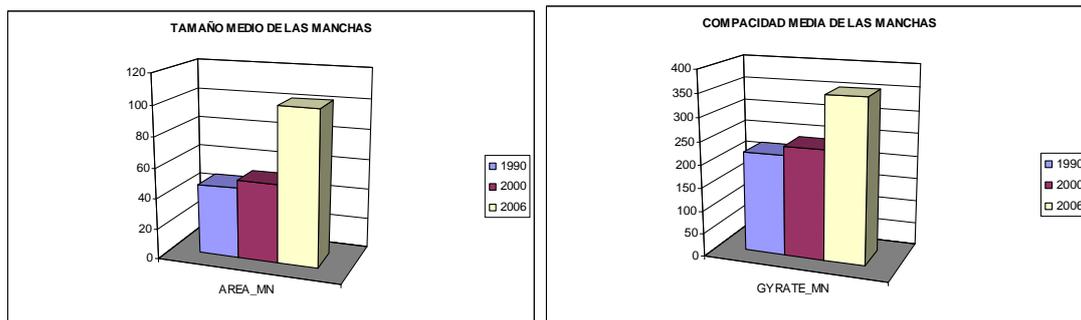


Figura 121. Resultados obtenidos a partir de los índices “tamaño medio de las manchas” y “compacidad media de las manchas”, en la zona norte de la Comunidad de Madrid.

El valor del “índice de forma” nos indica que el aspecto de las manchas del uso de suelo residencial se va volviendo más complejo, con valores 1,36; 1,47 y 1,69 para los años 1990, 2000 y 2006, respectivamente. Ese aumento continuo de su valor nos indica el crecimiento de la complejidad de las formas de las manchas de uso residencial con el paso de los años, con fragmentos más alargados, propios de una menor compacidad de los fragmentos.

En cuanto a la métrica “distancia media a las manchas más próximas”, presenta unos valores de 1.614,60 (año 1990), 806,84 (año 2000) y 1.124,66 (año 2006). Su incremento entre los años 2000 y 2006 nos permite pensar en la agregación de múltiples fragmentos que se encontraban muy cercanos, mientras que la disminución de este valor

en el periodo 1990-2006 supone la aparición de nuevos fragmentos del uso de suelo residencial (figura 122).

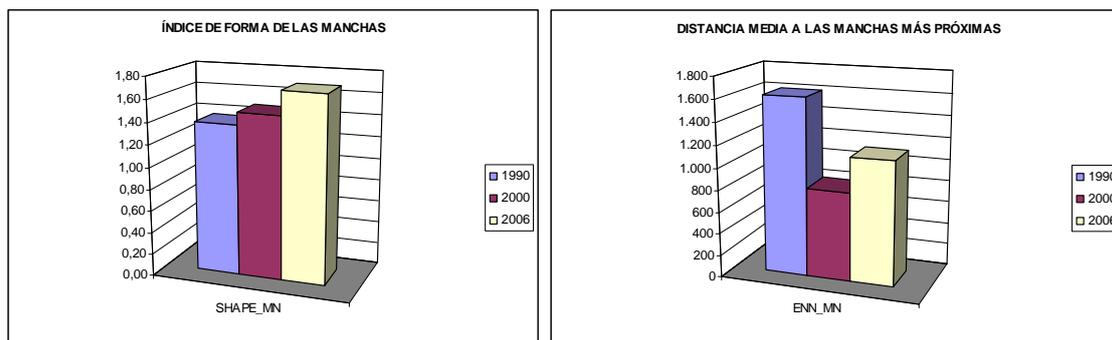


Figura 122. Resultados obtenidos a partir de los índices “forma de las manchas” y “distancia media a las manchas más próximas”, en la zona norte de la Comunidad de Madrid.

Resultados y discusión para el área oeste de la Comunidad de Madrid.

Como en los casos anteriores, a partir de los mapas de uso del suelo residencial en la Comunidad de Madrid, para los años 1990, 2000 y 2006 (figura 123), hemos obtenido los valores de las métricas en la zona oeste de la CAM.

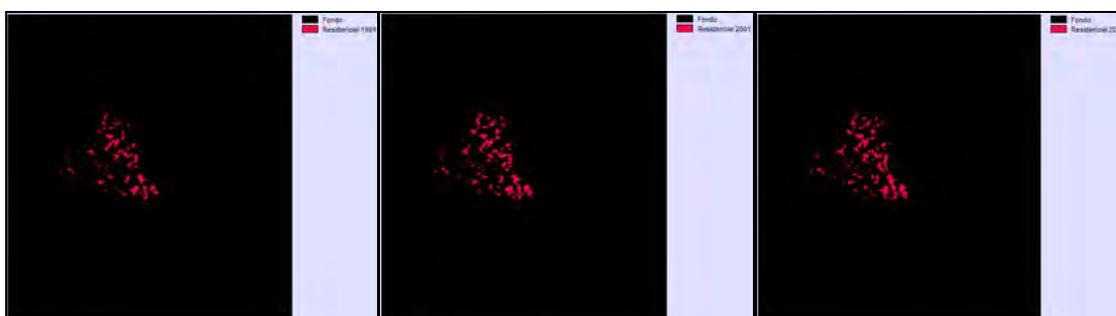


Figura 123. Distribución espacial del uso del suelo residencial en la zona oeste de la Comunidad de Madrid, en los años 1990, 2000 y 2006, respectivamente (de izquierda a derecha).

El índice “número de manchas” nos indica que el uso de suelo residencial en la zona oeste de la Comunidad de Madrid se fragmentó en el período 1990-2000, al pasar de un total de 110 teselas en el primer año a 154. Sin embargo, en el período 2000-2006 se produjo el fenómeno inverso, al pasar de las 154 manchas comentadas anteriormente a 96. El incremento del valor en el primero de los periodos estaría asociado a una mayor dispersión del uso residencial, mientras que la disminución del valor en el segundo de ellos estaría asociada a una mayor agregación (figura 124).

De estos datos podemos inferir que en el periodo 1990-2000 tienen gran importancia los desarrollos urbanos ligados con un tipo de crecimiento urbano más disperso. Sin embargo, entre los años 2000 y 2006, los datos parecen indicar un tipo de crecimiento compacto y contiguo.

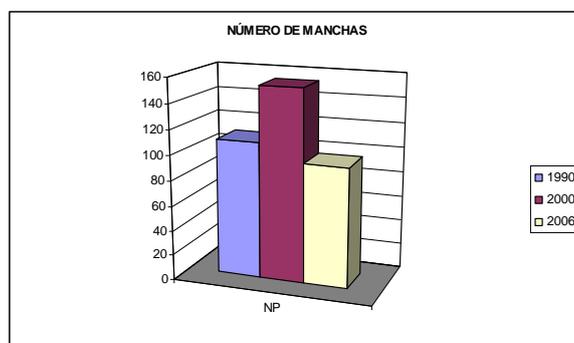


Figura 124. Resultado obtenido a partir del índice “número de manchas”, en la zona oeste de la Comunidad de Madrid.

El índice “tamaño medio de las manchas” nos muestra que no se produjo un incremento de la fragmentación del uso de suelo residencial en el período 1990-2000, ya que el valor de la superficie media de las teselas se mantiene, prácticamente, estable: 103,74 en el año 1990 y 103,51 en el año 2000. El incremento en el número de manchas en este mismo periodo, junto con esta ligerísima disminución del valor del tamaño medio de las manchas, nos estaría indicando un pequeño incremento de la fragmentación. Por el contrario, el importante aumento del tamaño medio de las manchas en el año 2006 (con un valor de 172,20) nos indica el incremento de la compacidad en el segundo periodo estudiado. Este incremento del valor del índice, unido a la disminución del número de manchas en esos mismos años, se puede interpretar como un incremento de la agregación.

Los resultados conseguidos mediante la métrica “compacidad media de los fragmentos” nos indican que la compacidad disminuye entre los años 1990 y 2000 (el valor del índice pasa de 372,07 a 346,83), para aumentar entre los años 2000 y 2006, al presentar un valor de 466,65 en este último año (figura 125). La disminución del valor de este índice en el primero de los periodos nos estaría indicando un aumento de la compacidad de las manchas de uso residencial, mientras que el incremento del valor entre los años 2000 y 2006 nos señalaría una mayor elongación de los fragmentos, propia de una menor compacidad.

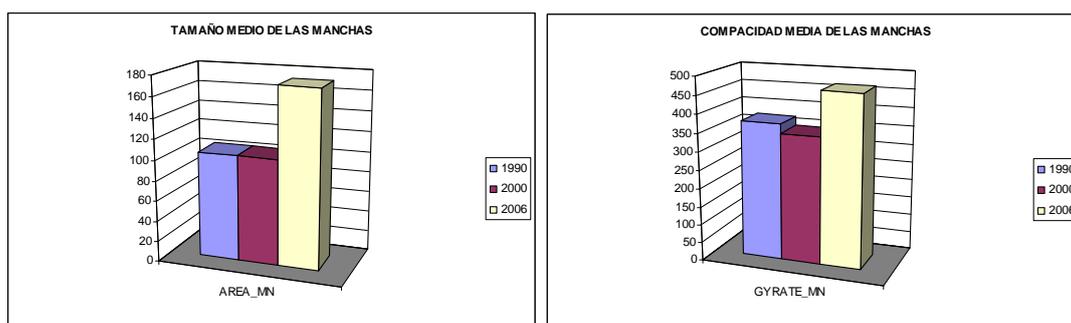


Figura 125. Resultados obtenidos a partir de los índices “tamaño medio de las manchas” y “compacidad media de las manchas”, en la zona oeste de la Comunidad de Madrid.

El “índice de forma” nos indica que la forma de las manchas del uso de suelo residencial se hace más sencilla entre los años 1990 y 2000 (con valores, respectivamente, de 1,60 y 1,55 para cada uno de los años) y se vuelve más compleja con el paso de los años, con un valor de 1,76 para el año 2006. La disminución del valor del índice en el primer periodo estudiado indica un descenso de la complejidad de las formas de la mancha residencial, mientras que el aumento de este valor entre los años 2000 y 2006 señala un incremento de la complejidad de esas mismas formas con el paso de los años. Por tanto, el incremento del valor sugiere fragmentos más alargados, propios de una menor compacidad.

Por su parte, el índice “distancia media a las manchas más próximas” presentaba unos valores de 903,05 (año 1990), 589,55 (año 2000) y 493,28 (año 2006). La disminución de este valor a lo largo de todo el periodo de estudio supone la aparición de nuevos fragmentos del uso de suelo residencial y, por tanto, una menor dispersión del uso por el territorio. Su disminución entre los años 2000 y 2006, unido a un descenso del número de manchas y a un aumento del tamaño medio de las manchas, durante el mismo periodo, nos permite hablar de patrones dispersos de las teselas de uso residencial (figura 126).

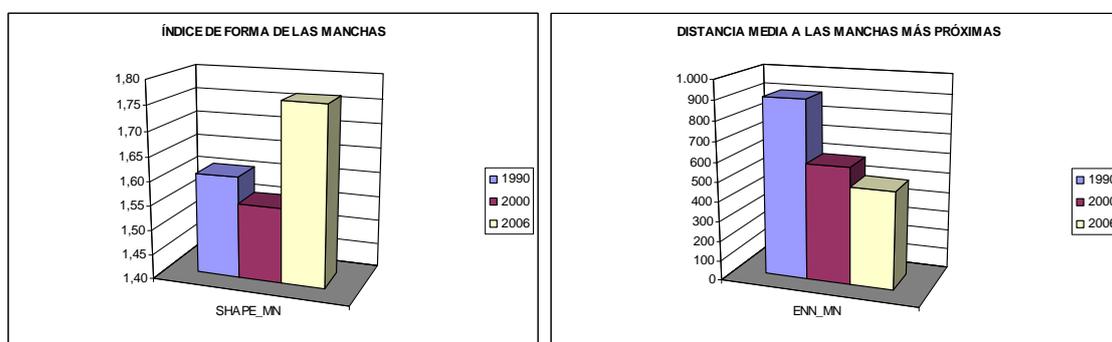


Figura 126. Resultados obtenidos a partir de los índices “forma de las manchas” y “distancia media a las manchas más próximas”, en la zona oeste de la Comunidad de Madrid.

El índice “densidad de manchas” en los diferentes sectores de la Comunidad de Madrid.

Puesto que el índice denominado “Densidad de Manchas”, “Patch Density” (PD), que nos indica el número de manchas del uso residencial dividido por al área total de la zona de estudio, nos permite realizar comparaciones entre zonas de tamaño diferente al expresar el número de manchas por unidad de área, vamos a comparar los resultados obtenidos mediante este índice en los diferentes sectores de la Comunidad de Madrid (figura 127 y tabla 22).

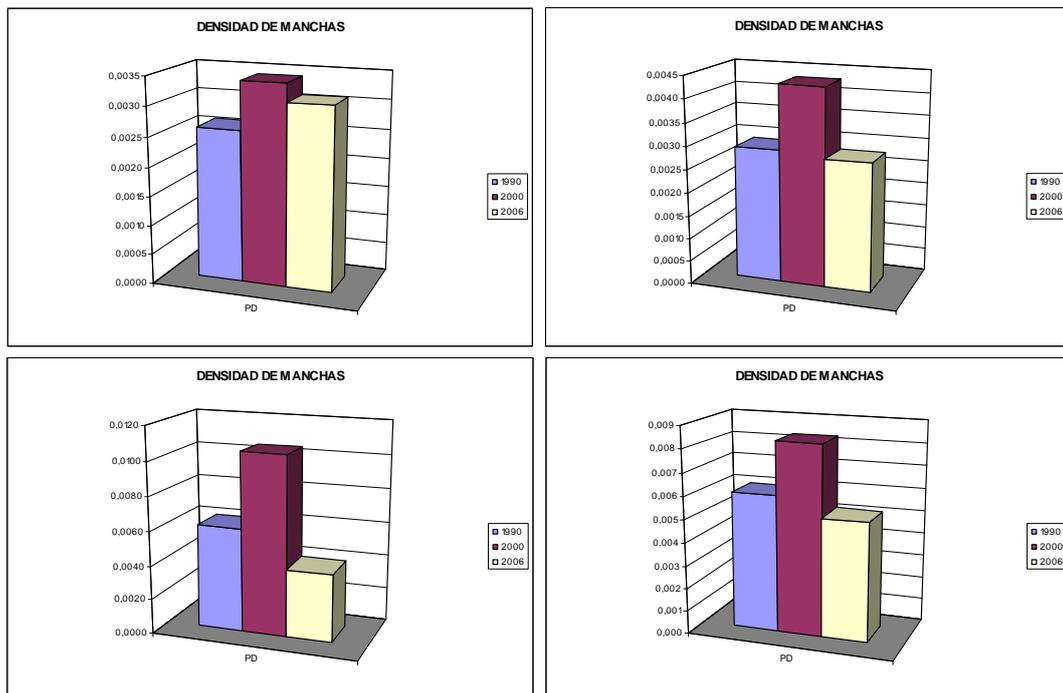


Figura 127. Resultados obtenidos a partir del índice “densidad de manchas”, en las zonas este, sur, norte y oeste, respectivamente (de izquierda a derecha y de arriba abajo).

Tabla 22. Valores del índice “densidad de manchas” en cada uno de los sectores de la Comunidad de Madrid.

	Sector Este	Sector Sur	Sector Norte	Sector Oeste
1990	0,0026	0,0029	0,0061	0,0060
2000	0,0034	0,0043	0,0105	0,0083
2006	0,0031	0,0028	0,0040	0,0052

A la vista de los datos, podemos señalar que el uso residencial presentaba la mayor fragmentación, en el año 1990, en el sector norte de la CAM, aunque el sector oeste mostraba, prácticamente, el mismo valor. Por el contrario, es en el sector este donde el uso residencial manifestaba una distribución más compacta, seguido por el sector sur. Los valores en los sectores este y sur de la Comunidad de Madrid son, aproximadamente, un 50% más bajos que en los sectores norte y oeste.

En el año 2000, el sector norte de la CAM destacaba sobremanera respecto a la fragmentación en el uso del suelo residencial, seguido por el sector oeste, aunque con diferencias superiores entre ambos. También sigue siendo el sector este donde el uso residencial presenta una distribución más compacta, seguido por el sector sur. Cabe destacar que las diferencias entre los valores de los sectores este y sur de la Comunidad de Madrid con los sectores norte y oeste siguen siendo muy importantes, dando idea de que en estos dos últimos sectores el crecimiento disperso tiene mucha mayor importancia.

Finalmente, en el año 2006, cambia la tendencia, y es en el sector oeste de la CAM donde podemos encontrar mayor fragmentación en el uso del suelo residencial, seguido por el sector norte. También se producen cambios en cuanto a la zona donde el uso residencial presenta una distribución más compacta, ya que es en la zona sur donde este proceso tiene más relevancia, seguido por el sector este. Sin embargo, el patrón general se mantiene, con los sectores oeste y norte como paradigmas del crecimiento disperso en la Comunidad de Madrid, mientras que los sectores sur y este presentan un modelo de crecimiento, en comparación, mucho más compacto.

5. 4. 9. Resultados y discusión para el área metropolitana de Granada.

A partir de los datos disponibles para el área metropolitana de Granada, los mapas de uso del suelo residencial para los años 1977, 1990 y 1999, hemos obtenido los valores de las métricas en esta zona de nuestro país (figura 128).

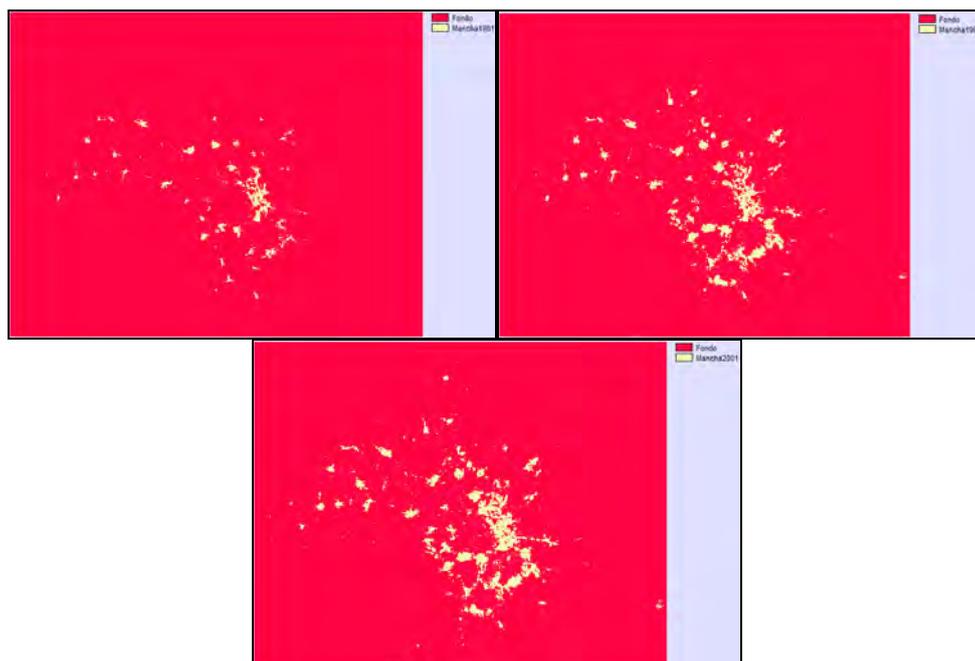


Figura 128. Distribución espacial del uso del suelo residencial en el área metropolitana de Granada, en los años 1977, 1990 y 1999, respectivamente (de izquierda a derecha, y de arriba a abajo).

La métrica “número de manchas” nos indica que el uso de suelo residencial en el área metropolitana de Granada se fragmentó superficialmente con el paso del tiempo, al pasar de un total de 327 teselas en 1977 a 704 en 1990 y a 827 en 1999 (figura 129). Es decir, se produjo un aumento de la fragmentación durante todo el periodo de estudio, por lo que el incremento del valor está asociado a una mayor dispersión del uso residencial. Por tanto, podemos pensar que, en el área metropolitana de Granada, en el periodo estudiado (1977-1999), tienen gran relevancia los desarrollos urbanos ligados a un tipo de crecimiento urbano más disperso.

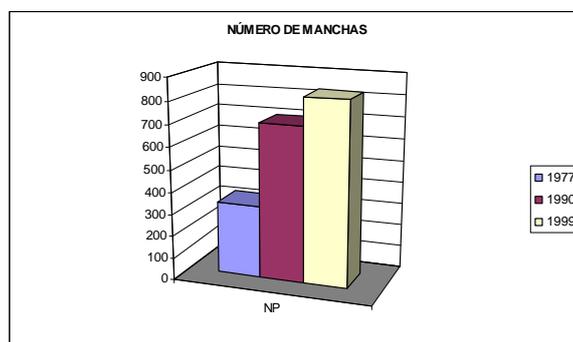


Figura 129. Resultado obtenido a partir del índice “número de manchas”, en el área metropolitana de Granada.

El índice “tamaño medio de las manchas” nos muestra que se produce un incremento de la compactación del uso de suelo residencial en el período 1977-1999, ya

que el valor de la superficie media de las teselas va aumentando con el paso del tiempo: 5,68 en el año 1977; 6,47 en el año 1990 y 7,03 en el año 1999. El incremento en este tamaño medio de las manchas, junto con el cambio en el mismo sentido del número de manchas en el mismo periodo, nos estaría indicando un patrón de crecimiento disperso.

Los resultados obtenidos mediante la métrica “compacidad media de los fragmentos” nos indican que este valor disminuyó entre los años 1977 y 1990 (pasando de 64,92 a 60,34), y se mantuvo prácticamente estable entre los años 1990 y 1999, al presentar un valor de 60,85 en este último año (figura 130). La disminución del valor de este índice entre los años 1981 y 1991 nos estaría indicando un aumento de la compacidad de las manchas de uso residencial; mientras que el ligerísimo incremento del valor entre los años 1991 y 2001 nos indicaría una mayor elongación de los fragmentos, propio de una menor compacidad.

Por consiguiente, los datos obtenidos mediante los índices “tamaño medio de las manchas” y “compacidad media de las manchas” parecen confirmar las ideas planteadas tras el estudio del número de las manchas del uso del suelo residencial en el área metropolitana granadina: entre los años 1977 y 1999 tuvo lugar una tendencia del crecimiento urbano hacia un patrón de crecimiento de acuerdo al modelo de ciudad dispersa.

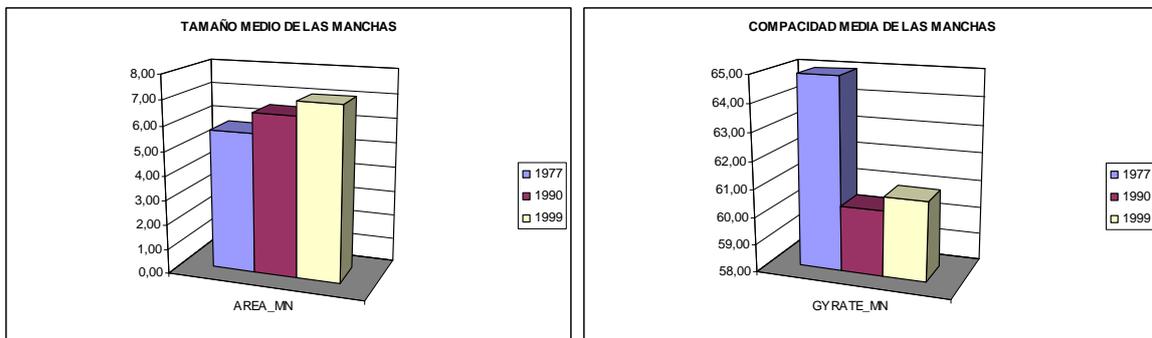


Figura 130. Resultados obtenidos a partir de los índices “tamaño medio de las manchas” y “compacidad media de las manchas”, en el área metropolitana de Granada.

El “índice de forma” nos indica que la forma de las manchas del uso de suelo residencial se hizo más sencilla entre los años 1977 y 1990 (con valores, respectivamente, de 1,26 y 1,18 para cada uno de los años), aumentado ligeramente con el paso de los años, con un valor de 1,19 para el año 1999. La disminución del valor del índice en el primer periodo estudiado nos indica un descenso de la complejidad de las formas de la mancha residencial. Por el contrario, el pequeño aumento de este valor entre los años 1991 y 2001 indica un incremento de la complejidad de las formas de las manchas de uso residencial con el paso de los años. Por tanto, el incremento del valor

sugiere fragmentos más alargados, propios de una menor compacidad de los fragmentos.

Finalmente, el índice “distancia media a las manchas más próximas” presenta unos valores de 287,43 (año 1977), 302,87 (año 1990) y 273,70 (año 1999) (figura 131). El aumento de este valor entre 1977 y 1990 mostraría una mayor dispersión del uso del suelo residencial por el territorio analizado, lo que unido al incremento del número de manchas y del tamaño medio de las manchas se traduce en un patrón de crecimiento disperso. La disminución de este valor entre los años 1990 y 1999 supone la aparición de nuevos fragmentos del uso de suelo residencial y, por tanto, una menor dispersión del uso por el territorio.

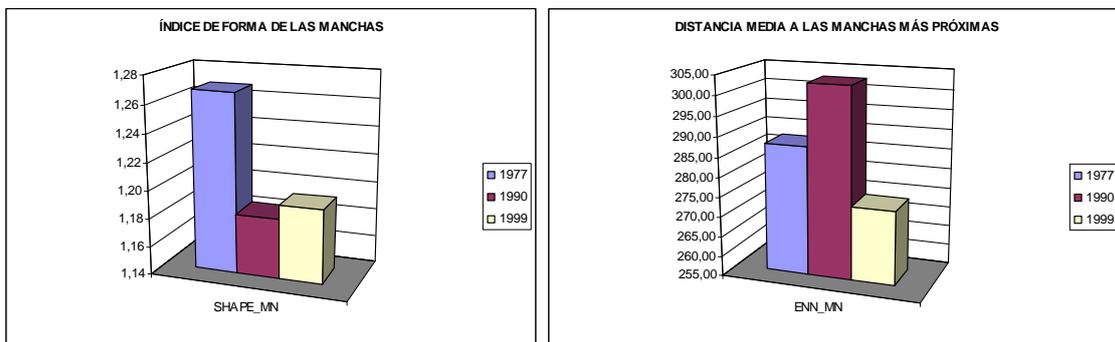


Figura 131. Resultados obtenidos a partir de los índices “forma de las manchas” y “distancia media a las manchas más próximas”, en el área metropolitana de Granada.

El índice “densidad de manchas” en el área metropolitana de Granada.

Como vimos anteriormente, el índice “Densidad de Manchas” nos permite realizar comparaciones entre zonas de tamaño diferente al expresar el número de manchas por unidad de área. En este apartado del trabajo vamos a comparar los resultados obtenidos mediante este índice en el área metropolitana de Granada y en el conjunto de la Comunidad de Madrid (figura 132 y tabla 23).

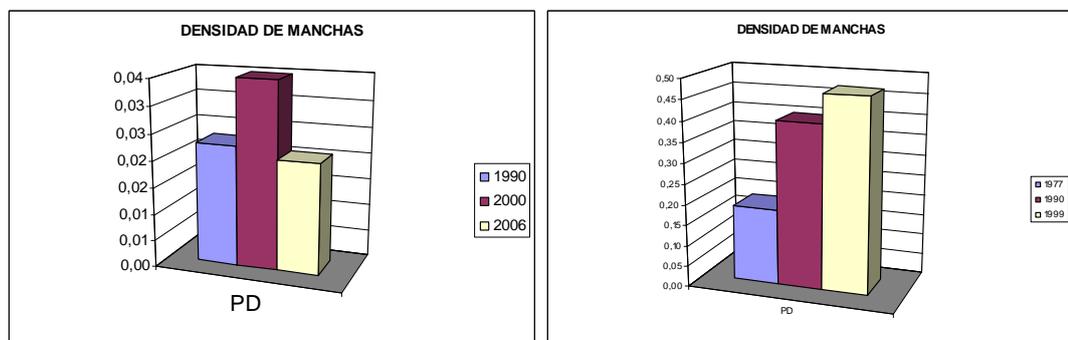


Figura 132. Resultados obtenidos a partir del índice “densidad de manchas” en la Comunidad de Madrid (derecha) y en el área metropolitana de Granada (izquierda).

Tabla 23. Valores del índice “densidad de manchas” en cada una de las dos áreas aglomeraciones urbanas de Madrid y Granada.

	Comunidad de Madrid	Área Metropolitana de Granada
1990	0,0227	0,3992
2000	0,0350	0,4690

A la vista de los valores obtenidos, podemos indicar que el uso residencial presenta una mayor fragmentación, para los dos años de referencia, en los que es posible realizar comparaciones entre las dos áreas de estudio, en Granada que en Madrid. Según los datos, es en la CAM donde el uso residencial presenta una distribución más compacta. Sin embargo, hay que acoger estos datos con cautela, ya que las fuentes originales de los datos no son las mismas y las diferencias encontradas entre las dos zonas pueden deberse, precisamente, a la diferente calidad entre los datos de origen de las imágenes objeto de este estudio.

5. 4. 10. Conclusiones.

Los resultados presentados muestran la existencia de una serie de cambios en los patrones de distribución espacial del uso de suelo residencial en la aglomeración urbana de Madrid, desde el año 1990 al 2006.

El crecimiento del suelo destinado a vivienda que ha tenido lugar en el periodo 1990-2000 se encuentra en consonancia con un avance importante hacia el modelo de ciudad dispersa, caracterizado por la baja densidad edificatoria, la discontinuidad y fragmentación de los nuevos usos del suelo en el territorio y la preponderancia del transporte privado por carretera.

Por el contrario, en el periodo 2000-2006 parece producirse una disminución de la tendencia, con una vuelta relativa hacia el modelo residencial propio de la década de los setenta, cuando se conformó el modelo metropolitano madrileño, con un claro patrón de crecimiento compacto. Esta cierta ruptura con el modelo del periodo anterior probablemente se encuentre relacionada con la consolidación de núcleos secundarios de poblamiento en la Comunidad de Madrid, que generaron su propio crecimiento urbano basado en tipologías edificatorias de alta densidad.

En el caso del Área Metropolitana de Granada, en el periodo analizado (1977-1999), tuvieron gran importancia los desarrollos urbanos unidos a un tipo de crecimiento urbano disperso. Posiblemente, si dispusiéramos de datos más recientes para esta zona de estudio, podríamos refrendar las observaciones que hemos podido realizar en la Comunidad de Madrid, con una disminución de los estándares próximos al

modelo disperso y un acercamiento a patrones de crecimiento del uso del suelo residencial de tipo compacto.

Finalmente, parece adecuado señalar que el empleo de una serie de índices de análisis espacial, empleados generalmente en la ecología del paisaje, se ha demostrado útil para la determinación de las características espaciales de los cambios metropolitanos. Estas métricas posibilitan el análisis de formas y patrones de ocupación urbana, además de monitorizar el cambio en los usos urbanos a lo largo del tiempo, a través de su seguimiento temporal, lo que permite identificar procesos metropolitanos de cambio, detectando posibles tendencias o nuevas formas y modelos de ocupación.

6. CONCLUSIONES FINALES

Los resultados obtenidos en la investigación permiten establecer un conjunto de conclusiones generales, que podemos concretar en:

1) En los últimos años, el modelo territorial de las grandes áreas urbanas de los países desarrollados ha sufrido una evolución muy importante, pasando de un modelo urbano de áreas más compactas, de centros definidos y carácter autónomo, típica del modelo metropolitano monocéntrico, a un modelo de ciudad dispersa, caracterizado por la proliferación de viviendas de baja densidad, en un tejido residencial fragmentado y falto de continuidad, y la expansión cada vez más periférica de funciones urbanas antes centralizadas, como el comercio, las oficinas o determinados servicios, que han difuminado, hasta límites insospechados, la separación entre el campo y la ciudad. Las causas de esta transformación son múltiples y, en general, están motivadas por los procesos de innovación tecnológica más recientes, la universalización del acceso del automóvil y el abaratamiento del coste del transporte. Las consecuencias más inmediatas han sido: un creciente consumo de suelo, no correspondido por el incremento de los efectivos demográficos; la descentralización en la periferia del empleo terciario e, incluso, cuaternario; y la pérdida de la densidad, de la interacción funcional y de la continuidad espacial. Ello ha conllevado al uso de patrones de ocupación del suelo muy complejos, debido a la mezcla y diversidad de las actividades urbanas que los ocupan

2) Este nuevo modelo de ciudad, típico de las aglomeraciones urbanas norteamericanas, se ha propagado, durante los últimos años, a las principales urbes europeas, tanto de la órbita anglosajona como mediterránea. En España, como está ocurriendo en todo el sur de Europa, se ha acelerado, durante los últimos años el proceso de suburbanización, característico de la fase inicial de conformación de nuestras principales metrópolis. La aparición de determinados rasgos del modelo disperso de ciudad, como la baja densidad de la ocupación del suelo y la existencia de desarrollos residenciales y comerciales, cada vez más descentralizados, permite aventurar que nos hallamos en presencia de un modelo territorial mixto, que conserva, aún, muchos de los rasgos de la ciudad tradicional, con áreas compactas y densamente pobladas, con mixtura de usos y superior interacción entre los elementos que la conforman. Esta nueva estructura urbana, más laxa y desconectada, se apoya, además, en los centros suburbanos, originados durante la conformación del modelo metropolitano, en los años sesenta y setenta del pasado siglo.

3) El término disperso es comúnmente utilizado para describir este patrón de crecimiento, habiéndose convertido en tema preferente de investigación y debate, debido a su incidencia e impactos negativos en el medio ambiente, tanto en áreas urbanas como rurales. Medir el grado de dispersión de una ciudad se ha convertido en una práctica común, a partir de mediados de los años noventa del pasado siglo. La

batería de indicadores que han sido utilizados es amplia: densidad, continuidad, concentración, centralidad y diversidad.

4) En nuestra investigación, hemos creído oportuna la definición operativa del concepto de dispersión, con la intención de permitir la aplicación de metodologías específicas de contraste entre áreas urbanas diferenciadas. En este sentido, hemos seleccionado una serie de características o atributos que aparecen ligados a este fenómeno tan característico de nuestro tiempo, como la baja densidad edificatoria, la discontinuidad y fragmentación de los nuevos usos del suelo en el territorio y la lejanía a los centros urbanos, no solo el centro urbano de la ciudad, sino también los subcentros suburbanos, tan importantes en la organización espacial de nuestras metrópolis. Consideramos, por tanto, que el policentrismo se muestra como una de las dimensiones de la dispersión, formando parte de la misma realidad urbana.

5) Con objeto de juzgar el grado de acercamiento al patrón de la ciudad dispersa, comparando los diversos momentos de la evolución en el tiempo, hemos definido una metodología cuantitativa que permitiera expresar los aspectos fundamentales de la estructura urbana de cada una de las dos áreas metropolitanas de Madrid y Granada. En primer lugar, nos hemos centrado, de forma exclusiva, en la función residencial, a partir de la información georreferenciada en formato raster, correspondiente a la ocupación de este uso del suelo y la desagregación espacial de la población. El uso de las nuevas Tecnologías de la Información Geográfica, con la utilización de los SIG, nos ha posibilitado una gestión racional y eficaz del territorio, permitiéndonos alcanzar los principales objetivos del análisis de una manera rápida y efectiva. Las metodologías seleccionadas: medición del gradiente de densidad de la ocupación del suelo con la distancia al centro urbano; elaboración de un patrón espacial de la ciudad dispersa; la medición del cambio de usos del suelo y empleo de índices en la medición de la estructura del suelo ocupado han resultado suficientemente operativas, en el intento de obtener conclusiones pertinentes.

6) La aplicación de las metodologías descritas nos han permitido extraer un conjunto de conclusiones generales sobre la evolución de las principales metrópolis de nuestro país, respecto al acercamiento progresivo al modelo de ciudad disperso. En primer lugar, los resultados del estudio avalan la realidad de la existencia de una incipiente transformación de los patrones de crecimiento urbano, desde un modelo urbano denso y compacto, que tenía lugar en forma de “mancha de aceite”, a otro más complejo, caracterizado por una multiplicidad de desarrollos urbanísticos menos densos y de mayor discontinuidad. En líneas generales, el nuevo crecimiento del suelo destinado a la vivienda, que ha tenido lugar entre 1981 y 2006, ha seguido determinadas pautas, destacando, entre ellas, que el incremento de suelo residencial ocupado ha crecido más a mayor distancia del centro de la metrópoli, a medida que ha transcurrido el tiempo, desplazando las mayores tasas de crecimiento a coronas cada vez más alejadas del centro metropolitano. Este nuevo modelo de expansión urbana, ha estado marcado, en

cierta manera, por una serie de factores, como el policentrismo, la red de vías de comunicación por carretera, la fragmentación territorial y el contraste de densidades.

7) El modelo territorial no ha seguido, sin embargo, una evolución constante a lo largo del tiempo. Por los resultados obtenidos, en todos los procedimientos aplicados, las etapas correspondiente a los periodos de 1980-1990 y 1990-2000, han estado más en consonancia con un avance hacia el modelo de crecimiento urbano disperso (sobre todo la primera de ellas), caracterizado por la discontinuidad espacial de los usos del suelo, separados por intersticios espaciales, mientras que en los primeros años del presente siglo, parece haberse producido una disminución de la tendencia, con una vuelta relativa hacia el modelo residencial propio de la década de los setenta, cuando se conformó el modelo metropolitano madrileño, con un claro patrón de crecimiento compacto.

8) El nuevo modelo de expansión urbana disperso, característico de los ochenta y noventa del pasado siglo, no ha sido uniforme en todo el territorio de la Comunidad de Madrid, apreciándose fuertes contrastes sectoriales entre el este y sur, donde ha predominado un crecimiento urbano mucho más compacto, respecto al oeste y el norte, con un modelo de crecimiento urbano más diseminado y aislado en el espacio. El sector sureste de la Comunidad de Madrid se ha caracterizado, desde su conformación inicial, por constituir un claro exponente de crecimiento urbano de alta densidad poblacional, con tipologías de vivienda de alta densidad edificatoria y desarrollo residencial compacto. Únicamente, en la década de los noventa, se produjo en la zona un pequeño atisbo de desarrollos menos densos, correspondiente al momento del boom de las urbanizaciones de chalets adosados. Por el contrario, el sector noroeste ha sido, desde siempre, lugar preferente de residencia de las clases medias y medio-altas madrileñas, que lo eligieron por sus especiales características de atractivo paisajístico por su proximidad a la sierra madrileña, con estándares de baja ocupación residencial, en un hábitat predominante de chalets y viviendas unifamiliares. Sin embargo, en la década de los años noventa, comenzaron a aparecer desarrollos urbanísticos de mayor densidad edificatoria y poblacional, poniendo de manifiesto una leve compactación de los patrones de crecimiento urbano, tendencia que continuó, entre 2001-2006, con una particular dicotomía entre los desarrollos dispersos en urbanizaciones de baja densidad, y los desarrollos de mayor densidad edificatoria.

9) Los rasgos del modelo urbano disperso son evidentes, tanto en las aglomeraciones urbanas de mayor tamaño, como el área metropolitana madrileña, como en otras de tamaño más reducido, como el área metropolitana de Granada. En el primero de los casos, el fenómeno se ha manifestado, sin duda, con mayor intensidad, alcanzando espacios geográficos situados a más de 50 kilómetros de distancia de la capital. En el caso de la aglomeración urbana de Granada, tras un periodo de consolidación del espacio central, frente al resto de la comarca, comenzaron a producirse ciertas formas de crecimiento “disperso”, generando un espacio urbano discontinuo, con amplios espacios rurales de separación, en el que abundan urbanizaciones de chalets adosados o individuales en los municipios limítrofes cercanos a la ciudad central. En ambos

ámbitos metropolitanos, Madrid y Granada, el proceso de urbanización fragmentario y disperso que ha acompañado al modelo urbano tradicional de alta densidad, ha producido un profundo cambio, de un modelo metropolitano monocéntrico a una conurbación urbana, que ha absorbido los centros habitados cada vez más alejados y las áreas rurales antes autónomas y separadas respecto de la ciudad principal, disolviéndolas en un continuo urbanizado.

7. BIBLIOGRAFÍA CITADA

AGARWAL, C.; GREEN, G.L.; GROVE, J.M.; EVANS, T. y SCHWEIK, C. (2000): *A Review and Assessment of Land Use Change Models dynamics of space, time, and human choice*. En 4th International Conference on Integrating GIS and Environmental Modelling (GIS/EM4): Problems, Prospects and Research Needs. Baniff, Alberta (Canada), 2-8 Septiembre 2000.

AGENCIA EUROPEA DEL MEDIO AMBIENTE Y COMISIÓN EUROPEA (2008): *Expansión urbana descontrolada en Europa. Un desafío olvidado*.

AGUILERA BENAVENTE, F. (2006): “Predicción del crecimiento urbano mediante sistemas de información geográfica y modelos basados en autómatas celulares”, *GeoFocus*.

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

ALBERTI, M. (1999): “Urban Patterns and environmental performance: what do we know?” *Journal of Planning Education and Research*, nº 19 (2), pp. 151–163.

ALBERTI, M. y WADDELL, P. (2000): “An integrated urban development and ecological simulation model”. *Integrated Assessment*, nº 1, pp. 215–227.

ALBERTI, M. y MARZLUFF, J. (2004): “Ecological resilience in urban ecosystems: Linking urban patterns to human and ecological functions”. *Urban Ecosystems*, nº 7, pp. 241-265.

ALDANA, A.T. (2005): *Cartografía de los cambios en las cubiertas artificiales de la Comunidad de Madrid-España*. Revista Forestal Latinoamericana, nº 35, pp. 59-86.

AGUILERA BENAVENTE, F. (2010): “Aplicación de métricas de ecología del paisaje para el análisis de patrones de ocupación urbana en el Área Metropolitana de Granada”. *Anales de Geografía*, vol. 30, nº 2, pp. 9-29.

ANTROP, M. (2000): “Changing patterns in the urbanized countryside of Western Europe”. *Landscape Ecology*, nº 15, pp. 257-270.

ANTROP, M. (2001): “The language of landscape ecologists and planners. A comparative content analysis of concepts used in landscape ecology”. *Landscape and Urban Planning*, nº 55, pp. 163-173.

ANTROP, M. (2004). Landscape change and urbanization process in Europe. *Landscape and Urban Planning* 67 (1-4): 9-26

AUDRIAC, I. (2005): Information technology and urban form: challenges to smart growth. *International Regional Science Review* 28 (2), pp. 119-145.

BARREDO, J. I., KASANKO, M., MCCORMICK, N. Y LAVALLE, C. (2003): "Modelling dynamic spatial processes: simulation of urban future scenarios through cellular automata", en *Landscape and Urban Planning*, vol 64, pp. 145-160.

BERLING-WOLF, S. y WU, J. (2004): "Modelling urban landscape dynamics: A case study in Phoenix, USA". *Urban Ecosystems*, nº 7, pp. 215-240.

BETTINI, V.; GIANONI, P.; DI I NOTO, F.; STEVANIN, M. y ZANNIN, D. (2001): Landscape ecology e la teoria della percolazione in ecologia urbana: un'applicazione alla revisione di un PRG: il caso Pozzallo, Ragusa. Bologna, Arpa Ecosistemi Urbani, 2001.

BETTINI, V.; BISELLO, A.; FARINA, A. y ROSNATI, C. (2006): Landscape and Sustainability. Congreso "Metropolitan and Capital Regions Spatial Planning: State of the Art", Madrid, 30 pp.

BONILLA, R.; ROSERO-BIXBY, L. (2008): "Rasterización de los censos de población y vivienda de 1973, 1984 y 2000. Lo rural es diverso: evidencia para el caso de Costa Rica". San José, Costa Rica : IICA, pp 135-151.

BOSQUE, J. y GARCÍA, R. C. (2000): "El uso de los sistemas de información geográfica en la planificación territorial". *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, nº 20, pp. 49-67.

BOTEQUILHA-LEITÃO, A. y AHERN, J. (2002): "Applying landscape concepts and metrics in sustainable landscape planning". *Landscape and Urban Planning*, nº 59, pp. 65-93.

BOTEQUILHA-LEITÃO, A., MILLER, J., AHERN, J. Y MCGARIGAL, K. (2006): *Measuring Landscapes. A Planner's Handbook*. Island Press, Washington, D. C.

BRIASSOULIS, H. (1999): *Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modelling Approaches*. [En línea]. Morgantown, WV: Regional Research Institute, West Virginia University. <<http://www.rrl.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/contents.htm>>.

BURNICKI, A.C.; BROWN, D.G. y GOOVAERTS, P. (2007): *Simulating error propagation in land-cover change analysis: the implications of temporal dependence*. Computers, Environment and Urban Systems, vol. 31, pp. 282-302.

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, ISBN 950-892-063-7.

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

CAÑETE J.A., LOZANO MALDONADO, J.M. y SÁENZ LORITE, M. (2005): “Cambios demográficos en la aglomeración urbana de Granada y Plan de Ordenación del Territorio”. *Cuadernos Geográficos*, 36 (2005-1), pp. 275-289.

CASTRO, R. y GARCÍA ABAD, J. (1993): Confección de Cartografía Dinámica de Ocupación del Suelo con SIG: Municipio de Brea del Tajo (Comunidad Autónoma de Madrid). 2º Congreso de AESIG. Madrid, pp. 375-392.

CLARK, C. (1950): “Urban Population Densities”, en *Journal of the Royal Statistics Society*, Serie A, vol 144, parte 4, pp. 490-496.

DALDA, J.A; DOCAMPO, M. G. y HARGUINDEY, J. G. (2006): *La Ciudad Difusa en Galicia*, Consellería de Política Territorial, Obras públicas y Transporte, Santiago. 126 pp.

DI BARI, J. (2007): “Evaluation of five landscape-level metrics for measuring the effects of urbanization on landscape structure: the case of Tucson, Arizona, USA”. *Landscape and Urban Planning*, nº 79, pp. 308-313.

DOWNS, A. (1998) “How America’s Cities are Growing: The Big Picture” en *Brookings Review* 16 (4), pp. 8-12.

DRAMSTAD, W. E.; OLSON, J. D. y FORMAN, R. T. (1996): *Landscape Ecology. Principles in Landscape Architecture and Land-Use Planning*. Island Press, Harvard, 80 pp.

ENTRENA DURÁN, F. (2005): ” Procesos de periurbanización y cambios en los modelos de ciudad. Un estudio europeo de casos sobre sus causas y consecuencias”, en *Papers* nº 78, pp 59-88

ESCOLANO UTRILLA, S. y ORTIZ VÉLIIZ, J. (2006): Movilidad espacial de la población y cambios recientes del modelo de densidad en ciudades del sistema urbano chileno. *Geographicalia* 49, pp. 139-155.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2006): *Urban Sprawl in Europe*. EEA Report N°10/2006, Ispra, 110 pp.

EWING, R. (1997): "Is Los Angeles-Style Sprawl Desirable?" en *Journal of American Planning Association*. Winter 1997; v.63, n.1, pp.107-126.

FERNÁNDEZ CALDERA, D. (2004): "Bases para la evaluación ambiental y territorial del crecimiento urbano del Área Metropolitana de Granada". Jornadas Técnicas de Ciencias Ambientales. Universidad de Granada.

FLOWERDEW, R.; GREEN, M. Y KEHRIS, E. (1991): "Using areal interpolation methods in GIS". *Papers in regional science*, 70, 3, pp 303-315.

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

FORMAN, R.T.T. y Godron, M. (1986): *Landscape Ecology*. John Wiley and Sons, Nueva York, 619 pp.

FORMAN, R.T.T. (1995): *Land Mosaics: The Ecology Of Landscapes And Regions*. Cambridge University Press, Cambridge, 632 pp.

FRANCO, D.; BOMBATO, A.; MANNINO, I.; GHETTI, P.F. y ZANETTO, G. (2005): "The evaluation of a planning tool through the landscape ecology concepts and methods". *Management of Environmental Quality: An International Journal*, nº 16 (1), pp. 55-70.

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" en *Housing Policy Debate*, Vol 12, Issue4, pp. 681-717.

GARCÍA LÓPEZ, M-A (2008): Quince años de suburbanización en la Barcelona metropolitana, ¿se está dispersando la población?. *Investigaciones económicas*, vol. XXXII (1), pp. 53-86.

GARCÍA-LÓPEZ, M. A. y MUÑIZ, I. (2005): *Descentralisation, integration y polycentrism in Barcelona*, Department d'Economia Aplicada, UAB.

GARCÍA PALOMARES, J. C. Y GUTIÉRREZ PUEBLA, J. (2007): "La ciudad dispersa: cambios recientes en los espacios residenciales de la Comunidad de Madrid", en *Anales de Geografía*, vol.27, núm 1, pp. 45-67.

GARCÍA-LÓPEZ, M. A. Y MUÑIZ, I. (2005): *Descentralisation, integration y polycentrism in Barcelona*, Department d'Economia Aplicada, UAB.

GARCÍA-LÓPEZ, M. A. Y MUÑIZ, I. (2007): ¿Policentrismo o dispersión? Una aproximación desde la Nueva Economía Urbana. *Investigaciones regionales*, 11, pp. 25-43.

GARROCHO, C. (1996): “Distribución espacial de la población en la zona metropolitana de la Ciudad de México, 1950-1990”, en *Estudios Demográficos y Urbanos*, pp. 69-100.

GEOGHEGAN, J.; WAINGER, L. A. y BOCKTAEL, N. E. (1997): “Spatial landscape indices in a hedonic framework: an ecological economics analysis using GIS”. *Ecological Economics*, nº 23, pp. 251-264.

GÓMEZ DELGADO, M. Y BARREDO CANO, J. I. (2005): *Sistemas de Información Geografía y Evaluación Multicriterio aplicados al ordenamiento del territorio*. Ed. Ra-Ma. Madrid, 279 páginas.

GRASLAND, C.; MATHIAN, H. Y VINCENT, J. M. (2000): “Multiple analysis and maps generalization of discrete social phenomena: Statistical problems and political consequences”. *Statistical Journal of the United Nations Economic Commission for Europe*, 17, 2, (January), pp 157-188.

GUSTAFSON, E. J. (1998): “Quantifying landscape spatial pattern: What is the state of the art?”, en *Ecosystems*, 1, pp. 143-156.

GUTMAN, G.; JANETOS, A.; JUSTICE, C.; MORAN, E.; MUSTARD, J.; RINDFUSS, R.; SKOLE, D.; TURNER, B.L. y COCHRANE, M. (Ed.) (2004): *Land Change Science. Observing, Monitoring and Understanding Trajectories of Change on the Earth's Surface*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

GUZMÁN GARCÍA, L. A. Y DE LA HOZ SÁNCHEZ, D. (2008): “Dispersión urbana. Estudio de la Comunidad de Madrid por corredores y su dependencia del centro”. *VIII Congreso de Ingeniería de Transporte*. A Coruña

GUZMÁN GARCÍA L. A. (2008): *Análisis de impactos en la tarifa de cobro por congestión, sus corredores y su relación con el centro*. Universidad Politécnica de Madrid.

HANDY, S. (2005): “Smart growth and the transportation land use connection: what does the research tell us?”. *International Regional Science Review* 28 (2), pp. 146-167.

HARVEY, R. O. Y CLARK, W. (1971): “The Nature and Economics of Urban Sprawl”, en *Internal Structure of City* (Ed.: L.S. Bourne). Oxford University Press, New York.

HEROLD, M.; GOLDSTEIN, N. C. y CLARKE, K. C. (2003): "The spatiotemporal form of urban growth: measurement, analysis and modeling". *Remote Sensing of Environment*, nº 86, pp. 286–302.

HEROLD, M., COUCLELIS, H. Y CLARKE, K. C. (2005): "The role of spatial metrics in the analysis and modeling of urban land use change", en *Comput. Environ. Urban.*, vol 29, pp. 369–39.

HERZOG, F. y LAUSCH, A. (2001): "Supplementing land use statistics with landscape metrics: some methodological considerations". *Environmental Monitoring and Assessment*, nº 72, pp. 37–50.

INDOVINA, F. (2005): *L'esplosione della città*. Ed. Compositori, Bologna, 240 pp.

JONGMAN, R. H. G. (2004): *The new dimension of the European Landscape*. Ed. Springer, Dordrecht.

JORDAN, S., ROSS, J. Y USOWSKI, K. (1998): "U.S. Suburbanization in the 1980s". *Regional Science and Urban Economics*, 28, pp. 611-27.

KASANKO, M.; BARREDO, J. I.; LAVALLE, C.; McCORNICK, I.; 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.

KEINER, M. y ARLEY, K. (2007): "Transnational city networks for sustainability". *European Planning Studies*, nº 15 (10), pp. 1368–1395.

KONG, F.; YIN, H. y NAKAGOSHI, N. (2007): "Using GIS and landscape metrics in the hedonic price modeling of the amenity value of urban green space: A case study in Jinan City, China". *Landscape and Urban Planning*, nº 79, pp. 240–252.

LAMBIN, E.F. (1997): *Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions*. *Physical Geography*, vol. 21, pp. 375-393.

LAMBIN, E.F. y GEIST, H.J. (Ed.) (2006): *Land Use, and Land-Cover Change. Local Processes and Global Impacts*. Berlin, Springer.

LANGRAN, G. (1992): *Time in Geographic Information Systems*, Taylor and Francis, Londres.

LEBOREIRO, A. (1999): *De la teoría a la práctica en la planificación territorial*. *Urban*, nº 3, pp. 68-79.

LI, X.; YANG, Q. y LIU, X. (2008): “Discovering and evaluating urban signatures for simulating compact development using cellular automata”. *Landscape and Urban Planning*, nº 86, pp. 177–186.

LÓPEZ LUCIO, R. (2004): “Morfología y características de las nuevas periferias. Nueve paisajes residenciales en la región urbana de Madrid”. *Urban*, nº 9, pp. 56-80.

LÓPEZ LUCIO, R. (2007): ”Transformaciones territoriales recientes en la región urbana de Madrid“, en *Urban* 8, pp. 124-161.

MALPEZZI , S. Y GUO, W. (2001) “Measuring “Sprawl”. Alternative Measures of Urban Form in U.S. Metropolitan Areas” The Center for Urban Land Economics Research. University of Wisconsin, Madison, (<http://www.bus.wisc.edu/realstate/docs/docs/Alternative%20Measures%20of%20Urban%20Form.doc>)

MARTIN, F. (1989): “Mapping population data from zone centroid locations” en *Transactions of the Institute of British Geographers*, 14: pp 90-97.

MAS, J.F. y FERNÁNDEZ, T. (2003): *Una evaluación cuantitativa de los errores en el monitoreo de los cambios de cobertura por comparación de mapas*. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, núm. 51, pp. 73-87.

MATEUCCI, S.D. y SILVA, M. (2005): “Selección de métricas de configuración espacial para la regionalización de un territorio antropizado”. *GeoFocus*, nº 5, pp. 180-202.

MAYAUX, P.H.; EVA, H.; BINK, A.; ACHERAL, F. y BELWARD, A. (2008): Remote Sensing of Land Cover and Land-Use Dynamics. En Chuvieco, E. (Ed.): *Earth Observation of Global Change. The Role of Satellite Remote Sensing in Monitoring the Global Environment*. New York, Springer, pp. 85-108.

MAYOR FERNÁNDEZ, M. Y HERNÁNDEZ MUÑOZ, M. (2000): Una aproximación al gradiente de densidad de población. *Anales de Economía Aplicada*. XIV Reunión. ASEPELT. Oviedo.

MCGARIGAL K. Y MARKS, B. J. (1995): *Fragstats. Spatial pattern analysis programa for quantifying landscape structure*. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 122 páginas, en <http://www.umass.edu/landeco/pubs/mcgarigal.marks.1995.pdf>.

MÉNDEZ, R. Y ONDÁTEGUI, J. (2000): “La estructura territorial del sistema productivo”, en J.L. García Delgado (dir). *Estructura económica de Madrid*. Civitas, Madrid, pp. 131-165.

MÉNDEZ, R. (2001): “Difusión de actividades y cambio metropolitano: el dinamismo de la franja periurbana de Madrid”. *Homenaje a los profesores Antonio López Gómez y José M^a Sanz Donaire*. Boletín de la Real Sociedad Geográfica. Vol. CXXXVII-CXXXVIII.

MENOR TORIBIO, J. (1997): “Transformaciones recientes en la organización territorial de la Vega de Granada: del espacio agrario tradicional a la aglomeración urbana actual”, en *Estudios Regionales*, nº 48, pp. 189-214.

MENOR TORIBIO, J. (2000): *La Vega de Granada: transformaciones agrarias recientes en un espacio periurbano*. Ed. Universidad de Granada. Granada.

MILLS, E. S. (1970): “Urban Density Functions”, *Urban Studies*, 7, pp. 5-20.

MINISTERIO DE LA VIVIENDA (2006): Atlas Estadístico de las Áreas Urbanas en España 2004. Ministerio de Vivienda, Madrid, 226 pp.

MUGURUZA CAÑAS, C. Y SANTOS PRECIADO, J. M. (1988): “La importancia de las unidades de análisis en el modelo de ecología factorial”. *Espacio, Tiempo y Forma*. Revista de la Facultad de Geografía e Historia de la U.N.E.D. Madrid.

MUÑIZ, I., GALINDO, A. y GARCÍA, M.A. (2005): *Descentralización, integración y policentrismo en Barcelona*. Departament d’Economia Aplicada. Document de Treball. UAB

MUÑIZ, I., GARCÍA, M. A. Y CALATAYUD, D. (2006): *Sprawl. Definición, causas y efectos*. Departament d’Economia Aplicada, Campus de Bellaterra. Barcelona.

MUÑIZ, I. Y GARCÍA-LÓPEZ, M.A. (2007): Anatomía de la dispersión en Barcelona. Departament d’Economia Aplicada. UAB.

MUTH, R. F. (1969): *Cities and Housing. The Spatial Pattern of Urban Residential Land Use*. The University of Chicago Press.

NEWLING, B. E. (1978): “The Spatial Variation of Urban Population Densities”, en Larry S. Borne (ed.), *Internal Structure of the City: Readings on Space and Environment*, Oxford University Press, pp. 329-337.

NOGUÉS LINARES, S. Y SALAS OLMEDO, H. (2008): “La medición del impacto territorial de las carreteras en áreas periféricas a través del análisis de los usos del suelo”. *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*, Hernández, L. y Parreño, J. (eds.). Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria, pp. 978-84.

O'NEILL, R. V.; KRUMMEL, J. R.; GARDNER, R. H.; SUGIHARA, G.; JACKSON, B. L.; DE ANGELIS, D. L.; MILNE, B. T.; TURNER, M. G.; ZYGMUNT, B.; CHRISTENSEN, S. W.; DALE, V. H. y GRAHAM, R. L. (1988); "Indices of landscape pattern". *Landscape Ecology*, nº 1 (3), pp. 153-162.

OSE (2006): *Sostenibilidad en España 2006*. Universidad de Alcalá.

OTERO, I. (1993): *Una aplicación del Pc ArcInfo al análisis del cambio paisajístico*. En Los Sistemas de Información Geográfica en el umbral del siglo XXI. Madrid, Asociación Española de Sistemas de Información Geográfica, pp. 501-517.

PLATA ROCHA, W., GÓMEZ DELGADO, M., Y BOSQUE SENDRA, J. (2008): "Cambios de usos del suelo y expansión urbana en la Comunidad de Madrid", en *Scripta Nova* Vol. XIII, nº 293.

PONTIUS, R. G., SHUSAS, E. Y MCEACHERN, M. (2004), "Detecting important categorical land changes while accounting for persistence", en *Agriculture, Ecosystems and Environment*, nº 101, pp. 251-268.

RASE, D. (2001): "Dealing with the modifiable areal unit problem. Spatial transformation methods for the analysis of geographic data". In *Towards agrienvironmental indicators. Integrating statistical and administrative data with land cover information*. Topic report nº 6. Eurostat. DG Agriculture. DG Environment. Joint Research Center. European Environment Agency, pp 25-38.

RICHARDSON, H.W. (1978): *Economía regional y urbana*. Madrid. Alianza Editorial.

RIITERS, K. H.; O'NEILL, R.V.; HUNSAKER, C. T.; WICKHAM YANKEE, D. H.; TIMMINS, S. P.; JONES, R. B. y JACKSON, B. L. (1995): "A factor analysis of landscape pattern and structure metrics". *Landscape Ecology*, nº 10 (1), pp. 23-39.

ROCA CLADERA, J. (2003): "La delimitación de la ciudad: ¿una cuestión imposible?". *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, XXXV (135), pp. 17-36.

SÁENZ LORITE, M. (1996): "De la Vega a la aglomeración urbana de Granada. Aproximación geográfica a un espacio en fase de reorganización" en *Cuadernos Económicos de Granada*, nº 5, Editorial Caja General de Ahorros de Granada.

SÁNCHEZ DEL ÁRBOL, M.A. (1999): "La propuesta de Ordenación Territorial de la Aglomeración Urbana de Granada". *Cuadernos Geográficos*, num. 29. Universidad de Granada. Granada, pp. 119-135.

SANCHO COMINS, J., BOSQUE SENDRA, J. Y MORENO SANZ, F. (1993): “La dinámica del paisaje: aplicaciones de un SIG raster al ejemplo de Arganda del Rey en las Vegas de Madrid”, en *Catastro*, pp. 35-51.

SANTIAGO RODRÍGUEZ, E. de (2007): “Madrid, ‘ciudad única’. Pautas y lógicas espaciales recientes en la región madrileña”. *Urban*, nº 12, pp. 8-33.

SANTIAGO RODRÍGUEZ, E. de (2008b): *El sector logístico y la gestión de los flujos globales en la región metropolitana de Madrid*. Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias sociales, Universidad de Barcelona, 15 de febrero de 2008, vol. 12, nº 259, <<http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-259.htm>>.

SANTOS PRECIADO, J. M. Y GARCÍA LÁZARO, F. J. (2003): “El método dasimétrico –picnofiláctico: Un procedimiento para la desagregación de datos censales”. *IX Conferencia Iberoamericana de SIG*. Cáceres, 24-26 de Septiembre de 2003.

SAPIÑA, F. (2002): ¿Qué es el cambio global? Instituto de Ciencia de los Materiales. Universitat de València. http://www.uv.es/metode/anuario200289_2002.html.

SCHMID, C. F. Y MACCANNELL, E. H. (1955): “Basic problems, techniques and theory of isopleth mapping”. *Journal of the American Statistical Association*, 50, 1955, pp 220-239.

SENES, G. y TOCCOLINI, A. (2004): “Sustainable land use planning and valorisation of the natural and cultural resources in the metropolitan area of Milan (Italy)”. En Tress, G; Tress, B; Harms, B; Smeets, P. y Van Der Valk, A. (Eds.): *Planning Metropolitan Landscapes: Concepts, Demands, Approaches*. Delta Series, nº4, Wageningen, 287 pp.

SERRANO CAMBRONERO, M.; GAGO GARCÍA, C. y ANTÓN BURGOS, F.J. (2002): *Impacto territorial de las carreteras orbitales de la Comunidad de Madrid*. Madrid, Dirección General de Investigación, Consejería de Educación de la Comunidad de Madrid.

SHERRATT Y TANNER (1960): A model for general urban growth. *Management Science, Models and Techniques*. 2 vols. New York.

SHLOMO, A.; PARENT, J. y CIVCO, D. (2007) “Urban sprawl metrics: An analysis of global urban expansion using GISASPRS 2007”, *Annual Conference Tampa*, Florida, May 7-11.

SOBRINO, J. (2006): Patrones de dispersión intrametropolitana en México. *Estudios demográficos y urbanos*, vol. 22, num 3 (66), pp. 583-617.

SONG, Y. y KNAAP, G. J. (2004): "Measuring Urban Form. Is Portland winning the War on Sprawl?" *Journal of the American Planning Association*, nº 70 (2), pp. 210-225.

SOTELO NAVALPOTRO, J. A. (1991): Paisaje, semiología y análisis geográfico. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, nº 11, pp. 11-23.

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), en *Spatial Models and GIS*, pp. 45-61. Taylor & Francis, Londres.

SUÁREZ VEGA, R.; SANTOS PEÑATE, D. R. Y DORTA GONZÁLEZ, P. (2008): "Generación de un modelo superficial de la población de Gran Canaria", en Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), en *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria, pp. 183-193.

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.

TURNER, M. G. (2005): "Landscape Ecology: What is the state of the science"? *Annu. Rev. Evol. Syst.*, nº 36, pp. 319-344.

VAN BEUSEKOM, R. (2003): Livability and Sustainability Indicators for Land-Use Models; Potential Use of Pattern-Describing Indicators for Spatial Planning. University of Utrecht, Msc Thesis, 350 pp.

VIDAL ROJAS, R. (1997): "Metrópolis en Reconstrucción: Elementos para una Teoría de la Fragmentación Urbana". *6º Encuentro de Geógrafos de América Latina*, Dpto. de Geografía, Fac.de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires.

VILA SUBIRÓS, J.; VARGA, D.; LLAUSÀS, A. Y RIBAS, A. (2006): "Conceptos y métodos fundamentales en Ecología del paisaje (landscape ecology). Una interpretación desde la Geografía", en *Doc. Anàl. Geogr.*, 48, pp. 151-166.

VINUESA ANGULO, J. (1976): *El Desarrollo Metropolitano de Madrid: Sus Repercusiones Geodemográficas*. Instituto de Estudios Madrileños. Madrid.

WHITE, M.J. (1999): urban areas with decentralized employment: theoretical and empirical work". *Handbook of Regional and Urban Economics*, Amsterdam. vol.3, pp.1375-1412.

ZÁRATE MARTÍN, A. (1984): *El mosaico urbano: organización interna y vida en las ciudades*. Madrid. Cincel. Cuadernos de Estudio. Geografía.

ZÁRATE MARTÍN, A. (1991): *El espacio interior de la ciudad*. Madrid, ed. Síntesis.

ZÁRATE, A.; OJEDA, L.; REBOLLO, J.; PÉREZ, M. y DE PABLO, C. (1998): “Cambios en el Paisaje de la Comunidad de Madrid”. En Arias, A. y Fourneau, F. (Ed.): *El paisaje mediterráneo*. Granada, Universidad de Granada, Junta de Andalucía, pp. 213-228.