

## CIUDAD Y TERRITORIO

## ESTUDIOS TERRITORIALES

ISSN(P): 1133-4762; ISSN(E): 2659-3254

Vol. LVI, Nº 221, otoño 2024

Págs. 731-750

<https://doi.org/10.37230/CyTET.2024.221.1>

CC BY-NC-ND



# Hacia una caracterización de los patrones y procesos de transformación de las áreas metropolitanas españolas

Francisco AGUILERA-BENAVENTE <sup>(1)</sup>  
Cristian Andrés VERGARA-FERNÁNDEZ <sup>(2)</sup>  
José Antonio CUESTA-GRANDE <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Profesor Titular

<sup>(2)</sup> Estudiante de Doctorado

<sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup> Departamento de Geología, Geografía y Medio Ambiente

<sup>(2)</sup> Laboratorio de Planificación Territorial, Departamento de Ciencias Ambientales

<sup>(2)</sup> Facultad de Recursos Naturales, Universidad Católica de Temuco, Temuco, Chile

<sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup> Universidad de Alcalá de Henares, España

<sup>(3)</sup> Técnico GIS. DEYDE Datacentric (Grupo TINSÁ)

**Resumen:** Los cambios experimentados por las áreas metropolitanas españolas tienen como expresión espacial transformaciones en los patrones de ocupación del territorio, con motivo de la aparición de nuevas formas de expansión urbana. Las métricas espaciales son un conjunto de variables del ámbito disciplinar de la ecología del paisaje que permiten cuantificar y caracterizar las formas, tamaño y configuración de los fragmentos urbanos, pudiendo ser un instrumento útil para caracterizar patrones de ocupación urbana y procesos de transformación de un patrón a otro. En este trabajo se presenta una

Recibido: 24.03.2023; Revisado: 04.12.2023

Correo electrónico (1): [f.aguilera@uah.es](mailto:f.aguilera@uah.es); Nº ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5710-2057>

Correo electrónico (2): [cristian.vergara@uah.es](mailto:cristian.vergara@uah.es); Nº ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7255-0325>

Correo electrónico (3): [jose.cuesta@edu.uah.es](mailto:jose.cuesta@edu.uah.es); Nº ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3838-3903>

Los autores agradecen los comentarios y sugerencias realizados por las personas evaluadoras anónimas, que han contribuido a mejorar y enriquecer el manuscrito original.

El presente trabajo se ha realizado en el ámbito del proyecto de investigación de Prueba Concepto "Desarrollo Tecnológico de un prototipo de simulación de escenarios futuros de transporte y usos del suelo" (SIM4PLAN), financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación de España (PDC2021-121568-C21) del que es IP el autor de correspondencia; así como gracias a la ayuda "Estímulo a la Excelencia para Profesores Universitarios Permanentes" de la que también es beneficiario, financiada por la universidad de Alcalá y la Comunidad de Madrid (EPU-INV/2020/009).

clasificación multitemporal de las áreas metropolitanas españolas empleando para ello la cartografía CORINE para el período 1990-2018 a partir de la identificación de diversos patrones espaciales, así como los procesos de transformación desde unos patrones de ocupación a otros. Los resultados muestran un importante cambio en los patrones, que tienden hacia formas más dispersas y fragmentadas.

**Palabras clave:** Áreas Metropolitanas; Clasificación; Patrones; Procesos; Dispersión Urbana.

## Towards an urban growth patterns and processes characterization in Spanish Metropolitan Areas

**Abstract:** Spatial changes in metropolitan areas in Spain are consequence of the emergence of new urban growth patterns. Spatial metrics are a useful tool to characterize and quantify urban patterns and processes. This research presents a multitemporal classification of Spanish metropolitan areas using CORINE land cover data for 1990-2018 period. Urban patterns were identified, and urban processes were inferred as changes in urban patterns. Results show a high level of urban pattern change throughout all the metropolitan areas, leading to more disperse urban growth pattern configuration.

**Keywords:** Metropolitan Areas; Classification; Urban Patterns; Urban processes; Urban sprawl.

### 1. Introducción

El rápido crecimiento urbano experimentado en las últimas décadas, impulsado por el crecimiento demográfico, la globalización, y la liberalización de la economía mundial, ha transformado una gran extensión de la superficie de la tierra, generando importantes impactos ambientales a diferentes escalas (AGUILERA & al., 2011; DENG & al., 2009; GRIMM & al., 2008). Según el BANCO MUNDIAL (2021), alrededor del 57% de la población mundial (4430 millones de habitantes) vive en ciudades, y dicha tendencia se mantendrá en el futuro. Así, en el 2050, la población urbana se podría duplicar a nivel mundial, de tal modo que casi 7 de cada 10 personas vivirían en ciudades, siendo estos porcentajes mayores en el caso de la Unión Europea (75%) (BANCO MUNDIAL, 2021) e incluso superiores en España, que ya alcanza el 81% de población urbana en el año 2021 (MINISTERIO DE VIVIENDA Y AGENDA URBANA, 2023) y que además ha sufrido importantes procesos de expansión urbana asociados a la burbuja inmobiliaria (BURRIEL, 2013).

Este incremento de la población y áreas urbanas coincide con un interés creciente por el estudio de los espacios urbanos desde la academia, que ha llevado aparejada la aparición de múltiples trabajos a este respecto, tanto en el ámbito internacional como en el estatal. En el caso de España, encontramos interesantes trabajos centrados en aspectos relacionados con los espacios urbanos. Así, un grupo interesante de estudios se centra en la delimitación de Áreas

Metropolitanas (AM) españolas, siendo buenos ejemplos los de FERIA TORIBIO (2008) CARRERAS & al., (2009); SALOM & ALBERTOS (2010); ROCA CLADERA & al., (2012); FERIA TORIBIO (2013), FERIA TORIBIO & al. (2018); MIRAMONTES & VIEIRA (2016); SELVA-ROYO (2020) e incluso el Atlas Digital de las Áreas Urbanas de España elaborado por el Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana (2023).

Existen también múltiples trabajos que estudian algún AM o espacio urbano en detalle en relación con aspectos como la jerarquía urbana, movilidad, identidad, ocupación de suelo, logística, crecimiento urbano, etc.; siendo múltiples los estudios recientes existentes. A modo de ejemplo, y sin pretender ser exhaustivos, encontramos interesantes trabajos en las Áreas Metropolitanas de Madrid, (CARPIO-PINEDO & LÓPEZ BAEZA, 2021; RUBIALES PÉREZ & al., 2013); Barcelona (COSTA LOSA & PORCEL LÓPEZ, 2012; FRAGO I CLOLS, 2015; MEZETTI & al., 2021; MIRALLES-GUASCH, 2011; MARMOLEJO & CERDÁ TRONCOSO, 2017); Málaga (MONTOSA MUÑOZ & REYES CORREDERA (2021); Bilbao (JUARISTI LINACERO, 2011), Sevilla (FERIA TORIBIO & ANDÚJAR LLOSA, 2015); Granada (AGUILERA-BENAVENTE & al., 2010), Murcia, (GIMÉNEZ-GARCÍA & al., 2023), Burgos (ANDRÉS-LÓPEZ, 2022) entre muchos otros.

Por último, existen otros estudios que exploran la realización de clasificaciones o aproximaciones a una taxonomía de ciudades y/o AM. A este respecto, destacan, entre otros, la clasificación que realiza el Atlas Digital de las Áreas Urbanas de España (MINISTERIO DE VIVIENDA Y AGENDA

URBANA, 2023); los trabajos de BOIX-DOMÉNECH (2007) que clasifican las AM en 4 niveles atendiendo al criterio de población; los trabajos de FERIA TORIBIO (2013) que dan lugar a 6 categorías de áreas metropolitanas; los más recientes de PASCUAL & al. (2019) que clasifican las AM de España en tres fechas usando Corine Land Cover (CLC), los de CEBRIÁN-ABELLÁN & al. (2021) que clasifican ciudades medias españolas, y los de CAMBAS-MUÑOZ & al. (2022), que realizan una clasificación de los municipios españoles de más de 100 000 habitantes a partir de datos de usos del suelo extraídos de catastro.

Estos tres últimos trabajos además aplican, como paso previo a la realización de clasificaciones de ciudades/AM, un análisis factorial para reducir el número de variables empleadas en la clasificación, que se revela de esta forma como una herramienta útil en el proceso de clasificación de espacios urbanos a partir de un conjunto de variables diversas. Estas variables pueden incluir datos de carácter sociodemográfico (CEBRIÁN-ABELLÁN & al., 2021), los usos del suelo a escala de parcela catastral (CAMBAS-MUÑOZ & al., 2022), o también métricas espaciales (PASCUAL & al., 2019).

A este respecto, las métricas espaciales, entendidas como “medidas cuantitativas y agregadas derivadas del análisis digital de mapas temático-categoricos que se emplean para analizar y describir cambios en el grado de diversidad espacial” (HEROLD & al., 2005, p. 374), se han aplicado con profusión en el análisis de ciudades y AM a partir de la configuración y composición de los fragmentos/teselas de usos urbanos especialmente en el ámbito internacional (BUYANTUYEV & al., 2010; SCHWARZ, 2010; WU & al., 2011; TIAN & al., 2011; AGUILERA-BENAVENTE & al., 2014; DAHAL & al., 2017; BOSCH & al., 2020, entre otros).

Su uso, combinado con la realización de análisis multitemporales, ha permitido realizar estudios de clasificación multitemporal de AM en diferentes fechas, y así observar cómo se producen cambios en las clasificaciones con el paso del tiempo (PASCUAL & al., 2019) producto de procesos de transformación urbana (DIETZEL & al., 2005).

De esta forma, y dada la disponibilidad de información de uso y cobertura de suelo con dimensión multitemporal actualizada como es Corine Land Cover (CLC), el objetivo de este estudio es doble: i) realizar una clasificación multitemporal de las AM españolas a partir de las métricas espaciales, empleando toda la serie temporal de CLC disponible (1990 a 2018); ii) estudiar los procesos de cambio en las formas urbanas a

partir de los cambios en la clasificación que experimentan las AM a lo largo del tiempo.

La clasificación multitemporal se realizó a partir de un conjunto amplio de variables o métricas espaciales calculadas para cada una de las fechas disponibles. Posteriormente, mediante análisis factorial, y a partir de las citadas variables, se seleccionaron las dimensiones espaciales con mayor poder explicativo, para luego, mediante análisis de conglomerados, generar una clasificación de las AM en las diferentes fechas. Finalmente, el análisis de los cambios en las clasificaciones entre las diferentes fechas permitió inferir diferentes procesos de transformación en las AM españolas. De esta forma, el uso de las variables seleccionadas, y la descripción de los procesos inferidos podrían sentar las bases para el establecimiento de procesos de monitoreo y seguimiento de la evolución de los espacios metropolitanos.

El artículo está organizado de la siguiente manera: en el segundo epígrafe se describen las AM españolas incluidas en el estudio, así como los datos empleados. Seguidamente, se describe el proceso metodológico, (cálculo de variables espaciales; Análisis Factorial; Análisis de conglomerados). En el cuarto epígrafe se comentarán los resultados de las clasificaciones obtenidas y en el quinto se discutirán los patrones y procesos identificados. Por último, las conclusiones se abordan en el sexto y último epígrafe.

## 2. Área de Estudio: las AM españolas y los datos de partida

Debido a la inexistencia en España de una delimitación administrativa de las áreas metropolitanas (FERIA TORIBIO & al., 2018), como sí ocurre en otros países, se optó por emplear una delimitación de las existentes en la bibliografía. De entre todas ellas (por ejemplo, el Atlas Digital de las Áreas Urbanas, la propuesta de FERIA TORIBIO & al., 2018 o la de SELVA-ROYO, 2020) se optó por la delimitación de 46 AM propuestas en FERIA TORIBIO (2008) (FIG. 1), donde se emplea la variable de movilidad trabajo-residencia para seleccionar los municipios a incluir en cada AM. A pesar de no tratarse de la delimitación más reciente, ha sido seleccionada ya que se ha empleado previamente en otros estudios que analizan los cambios en los patrones y procesos en las AM españolas (PASCUAL & al., 2019), siendo interesante poder comparar resultados previos con delimitaciones de AM equivalentes.



FIG. 1 / Delimitación de las Áreas Metropolitanas establecidas en FERIA TORIBIO (2008) empleadas en el estudio y su ocupación urbana

Fuente: Elaboración propia

En lo que respecta a los datos de partida, para cada una de las AM se ha generado la cartografía de usos y coberturas del suelo urbano a partir de los datos CLC en las 5 fechas disponibles (1990, 2000, 2006, 2012 y 2018). Esta cartografía vectorial se ha rasterizado con 100 m de tamaño de píxel, el más adecuado para la resolución de la fuente de datos (PASCUAL & al., 2014). Posteriormente, todos los usos del suelo de carácter urbano para cada AM fueron agrupados en una única categoría, de tal forma que se obtuvo una única cobertura de suelo "urbano" para cada una de las 46 AM en cada fecha.

### 3. Metodología

La metodología de análisis se estructuró en cuatro etapas: i) cálculo de métricas espaciales para cada AM en cada fecha; ii) análisis factorial para identificar las dimensiones espaciales con mayor poder explicativo; iii) análisis de conglomerados para generar agrupamientos de AM en las diferentes fechas; iv) discusión e

interpretación de los agrupamientos, su patrón espacial y los procesos de cambio. Todos los procesos relacionados con la producción cartográfica fueron realizados en ArcGIS 10.8; para el cálculo de las métricas se empleó Fragstats 4.2 (MCGARIGAL & al., 2012); y, finalmente tanto el análisis factorial como el análisis de conglomerados fueron elaborados en R (*Rstudio*), utilizando la función *fa* y *hclust* del paquete *pschy*.

#### 3.1. Métricas espaciales

Las métricas espaciales se utilizan ampliamente para estudiar la estructura, las dinámicas y las características espaciales de los procesos urbanos (AGUILERA & al., 2011, TIAN & al., 2011, SORRIA-LARA & al., 2016, HAGEN-ZANKER, 2016; entre otros). La ingente cantidad de métricas existentes supone uno de los desafíos más importantes para el investigador, que debe determinar qué métricas emplear para cuantificar la composición y configuración de los paisajes urbanos (BOTEQUILHA-LEITAO & AHERN, 2002). Esta elección

presenta una gran influencia tanto en la redundancia observada en los resultados, como en la dimensionalidad de la estructura del paisaje, por lo que es deseable utilizar el menor número de métricas independientes que cuantifiquen dicho paisaje de forma adecuada. A este respecto, son múltiples los trabajos que indagan en los procesos de selección de un conjunto de métricas (BOTEQUILHA-LEITAO & al., 2006; CUSHMAN & al., 2008; AGUILERA-BENAVENTE & BOTEQUILHA-LEITAO, 2012; PASCUAL & al., 2019). SU & al., (2011) y SU & al. (2014) incluso establecen tres criterios generales para la realización de dicha selección: i) el conjunto seleccionado debe cubrir las diferentes dimensiones de las características del paisaje: bordes, tamaño, forma, conectividad, etc.; ii) el conjunto no debe contener métricas redundantes; y iii) las métricas seleccionadas deberían estar suficientemente documentadas en la bibliografía y ser comparables con otros estudios.

A partir de estos criterios generales, se seleccionaron inicialmente quince métricas bien documentadas en la bibliografía y ampliamente empleadas que incluyeron todas las dimensiones espaciales de mayor relevancia en la caracterización del paisaje (bordes, tamaño, aislamiento, forma, fragmentación, etc.) (CUSHMAN & al., 2008) (FIG.2).

Las métricas fueron calculadas para las 46 AM en cada una de las 5 fechas de CLC disponibles (1990, 2000, 2006, 2012, 2018) obteniendo un total de 230 valores para cada métrica (5 fechas x 46 AM). Los valores obtenidos para las métricas serán las variables empleadas en los análisis siguientes.

### 3.2. Análisis Factorial y dimensiones espaciales para la caracterización de las AM

A partir de los valores obtenidos para las métricas espaciales, se realizó un análisis factorial

ACRÓNIMO	MÉTRICA	DESCRIPCIÓN
CA	Área total de la categoría	Área urbana total (hectáreas)
NP	Número de fragmentos	Número de fragmentos urbanos
PD	Densidad de fragmentos	Número de fragmentos urbanos en relación con área total (por cada 100 hectáreas)
LPI	Índice de la tesela grande	Porcentaje del paisaje comprendido por el fragmento urbano más grande
TE	Longitud de borde	Suma total de las longitudes de todos los bordes de los fragmentos urbanos (metros)
ED	Densidad de bordes	Suma total de las longitudes de todos los bordes de los fragmentos urbanos (metros), dividido entre el área total del paisaje (hectáreas)
AREA_MN	Área media de los fragmentos	Área media de los fragmentos urbanos
AREA_AM	Área media ponderada por el área de los fragmentos	Área media ponderada por el tamaño de los fragmentos
SHAPE_MN	Índice de forma medio	Valor medio de la complejidad de la forma medido como la relación área-perímetro ajustada a un cuadrado.
SHAPE_AM	Índice de forma medio ponderado por el área	Valor medio de la complejidad de la forma medido como la relación área-perímetro ajustada a un cuadrado, ponderado por el área de las teselas.
FRAC_MN	Índice de dimensión fractal medio	Valor medio de la complejidad de la forma medida usando el logaritmo del perímetro de los fragmentos urbanos dividido por el logaritmo de su área.
FRAC_AM	Índice de dimensión fractal ponderado por el área	Valor medio de la complejidad de la forma medida usando el logaritmo del perímetro de las teselas urbanas dividido por el logaritmo de su área, ponderado por el área de cada tesela.
ENN_MN	Distancia media al fragmento urbano más próximo	Distancia media al fragmento urbano más cercano en metros.
ENN_AM	Distancia media al fragmento urbano más próximo ponderado por el área	Distancia media a la tesela urbana más cercana ponderada por el área de las teselas.

Fig. 2 / Resumen y descripción de las métricas utilizadas

Fuente: Elaboración propia



(AF). Esta técnica consiste en reducir un número determinado de variables de entrada con diferente grado de correlación, manteniendo gran parte de la varianza explicada por las mismas. De esta forma, se consigue reducir la dimensionalidad de las variables, identificando factores latentes que expliquen gran parte de la varianza común existente y permitiendo la generación de nuevas variables o factores a partir del agrupamiento de aquellas fuertemente correlacionadas entre sí (WATKINS, 2021).

La aplicación del análisis factorial consideró los siguientes pasos: i) análisis exploratorio de las variables; ii) elección del número óptimo de factores; iii) extracción de factores; iv) elección del método de rotación (SARMENTO & COSTA, 2017); v) cálculo de los “scores” o puntajes.

El análisis exploratorio incluyó la estandarización de las variables entre 0 y 1 por medio del método *Min Max*, el estudio de la distribución de las variables, la determinación del nivel de correlación, y la prueba de adecuación Kaiser-Meyer-Olkin (KMO). Esta última mide el nivel de adecuación de la matriz de correlación para el análisis factorial, entregando un valor global, y un valor por variable (KAISER, 1974). Dicho valor indica si es posible resumir las variables iniciales en un número reducido de factores. Así, valores de KMO inferiores a 0.5 se pueden interpretar como la existencia de una matriz de datos inadecuada para el análisis factorial; Valores entre 0.5 y 0.6 se interpretan como una baja adecuación de los datos; superiores a 0.7 indicarían una buena adecuación y superiores a 0.8 mostrarían una excelente adecuación de los datos para la realización de un AF.

El número de factores óptimos, el método de rotación y el método de extracción fueron elegidos a través de un proceso iterativo que buscó identificar la estructura más simple posible (WATKINS, 2021) que permitiera una adecuada interpretación de los factores resultantes. La estructura simple se refiere a la situación ideal en que cada variable muestra una alta carga con solo uno de los factores.<sup>1</sup> Adicionalmente, se empleó como referencia para conocer el número óptimo de

factores el método empírico de análisis paralelo (*Parallel Analysis*, PA) (WATKINS, 2021).

Por último, una vez interpretados los factores a partir de su relación con las variables/métricas espaciales, el valor de los *scores* o puntajes de cada factor fue obtenido como la suma ponderada de los valores de las observaciones originales estandarizadas, ponderados por el valor de su carga. En dicho cálculo únicamente se consideraron las variables con valores de carga superiores a 0.7 (DIPSTEPHANO & al., 2009).

### 3.3. Análisis de conglomerados e identificación de patrones

A partir de los puntajes en los factores, se realizó un análisis de conglomerados para agrupar las AM de las cinco fechas disponibles en la cartografía CLC (46 AM \* 5 fechas = 230 en total). Esta técnica permite clasificar un conjunto de observaciones en diferentes grupos o conglomerados en función de los valores de diversas variables (los factores obtenidos, en este caso). Al igual que en otros estudios similares (AGUILERA-BENAVENTE & al., 2014; PASCUAL & al., 2019, SCHWARZ, 2010, CEBRIÁN-ABELLÁN & al., 2021) se empleó un agrupamiento jerárquico aglomerativo, utilizando el método de enlace de *Ward* (MURTAGH & LEGENDRE, 2014)<sup>2</sup>. A modo de ejemplo, a partir de dos factores definidos como tamaño y fragmentación, el análisis de conglomerados permitiría agrupar aquellas áreas metropolitanas de mayor tamaño y mayor fragmentación en un mismo grupo, y las de menor tamaño y menor fragmentación en otro. Una descripción más detallada del método puede encontrarse en (SUN & al., 2017).

De esta forma, cada conglomerado obtenido representará un patrón espacial determinado, que comparten todas las AM agrupadas en él. Igualmente, el cambio de un conglomerado a otro entre dos fechas para un AM concreta podrá ser interpretado como un cambio en el patrón espacial de esa AM (AGUILERA-BENAVENTE & al., 2014, PASCUAL & al., 2019) y considerado por tanto como un proceso de cambio metropolitano. De esta forma se pudieron inferir los procesos de transformación de la morfología de las

<sup>1</sup> Se aplicaron diferentes tipos de rotaciones para la matriz de variables que incluyeron rotaciones oblicuas *promax*, *oblimin*, y ortogonales *varimax*, *quartimax* y *BentlerT*, que fueron calculadas para 3, 4 y 5 factores. Los métodos de extracción empleados fueron los de *maximum likelihood* y *Minchi*.

<sup>2</sup> Este método agrupa las observaciones en base a su cercanía, medida a partir de un criterio de similaridad (ALAMINOS & al., 2015). El número de conglomerados elegidos se determinó procurando la mejor interpretabilidad de los grupos resultantes (PASCUAL & al., 2019, SCHWARZ, 2010).

AM españolas a lo largo del período comprendido entre los años 1990 y 2018.

## 4. Resultados

### 4.1. Análisis Factorial (AF) y dimensiones espaciales para la caracterización de las AM

El análisis exploratorio de los datos mostró que las variables espaciales en su gran mayoría no se distribuían normalmente. Además, se identificaron como valores atípicos los obtenidos para el AM de Ferrol en los años 1990 y 2000, asociados a problemas en la cartografía CLC para este AM (PASCUAL & al., 2019), por lo que fueron excluidos del análisis. La evaluación de la adecuación inicial de la matriz de correlaciones mostró que variables individuales como *AREA\_MN*, *SHAPE\_MN*, *FRAC\_MN*, presentaban valores bajo el umbral mínimo de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) < 0.5. Por tanto, estas variables fueron excluidas, alcanzando la matriz de correlaciones así un valor global de KMO= 0.67. Por su parte, los resultados del análisis paralelo (PA) y los ensayos de AF realizados con 3, 4 y 5 factores sugirieron que la elección de 4 factores con el método de extracción *Minchi*, y la rotación *Promax*, daba lugar a la estructura más simple y robusta. El resultado obtenido se muestra en

la FIG.3 junto con el porcentaje de varianza explicada y las cargas de cada variable, interpretadas como la correlación entre cada variable y dicho factor o dimensión espacial.

El Factor 1 (Tamaño), con un 34% de la varianza total, presenta una alta correlación con las variables de longitud total de bordes (*Total Edge*, *TE*), número de teselas (*Number of Patches*, *NP*), total del área urbana (*Class Area*, *CA*) y el área media de las teselas urbanas ponderadas por su tamaño (*Area Mean*, *AREA\_AM*). Por tanto, esta dimensión espacial se ha interpretado como el tamaño del área metropolitana, ya que un mayor tamaño del AM estaría relacionado con una mayor superficie urbana (*CA*), un mayor tamaño del núcleo principal (*Mean Area Weighted*, *AREA\_AM*), y generalmente, mayor longitud de bordes (*TE*) y un mayor número de teselas (*NP*).

El Factor 2 (Fragmentación), con un 22% de la varianza total, se encuentra relacionado fundamentalmente con las variables o métricas de densidad de bordes (*Edge Density*, *ED*), la densidad de teselas urbanas (*Patch Density*, *PD*), y el índice de tesela más grande (*Largest Patch Index*, *LPI*). Especialmente el *ED* y el *PD* miden el grado en que los usos urbanos se encuentran divididos en muchas o pocas teselas (independientemente del tamaño del AM) y el *LPI* el porcentaje de superficie que representa la tesela más grande frente al resto. Por ello, esta dimensión espacial se identificó como la

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Comunalidad	Unicidad	Complejidad
<b>%VARIANZA</b>	34%	22%	18%	17%	<b>Varianza acumulada: 91%</b>		
<b>CA</b>	<b>1.03</b>	0.00	-0.11	0.00	1.0	0.040	1.0
<b>NP</b>	<b>0.96</b>	0.06	-0.06	-0.11	1.0	0.044	1.0
<b>PD</b>	-0.05	<b>0.93</b>	-0.11	-0.14	0.9	0.105	1.1
<b>LPI</b>	0.01	<b>0.70</b>	0.35	0.18	0.7	0.268	1.6
<b>TE</b>	<b>0.99</b>	0.05	-0.03	-0.03	1.0	0.005	1.0
<b>ED</b>	0.04	<b>0.98</b>	-0.06	-0.06	1.0	0.005	1.0
<b>AREA AM</b>	<b>0.83</b>	-0.12	0.25	0.11	0.9	0.148	1.3
<b>SHAPE AM</b>	0.15	-0.01	<b>0.92</b>	0.00	1.0	0.005	1.1
<b>FRAC AM</b>	-0.11	0.02	<b>0.77</b>	-0.23	0.9	0.076	1.2
<b>ENN MN</b>	-0.03	-0.08	0.00	<b>0.91</b>	0.9	0.072	1.0
<b>ENN AM</b>	0.00	0.02	-0.16	<b>0.87</b>	0.9	0.115	1.1

FIG. 3 / Factores extraídos y valores de varianza. La comunalidad se refiere a la proporción de la varianza, para una variable en particular, explicada por los factores retenidos. Unicidad se refiere a la proporción de varianza, para una variable en particular, que no es explicada por los factores retenidos. Complejidad se refiere al número de factores que muestran altos valores de carga asociados a una variable en particular

Fuente: Elaboración propia

fragmentación de los usos urbanos en el AM, ya que valores altos implicarían elevada densidad de bordes y teselas, y un peso elevado del tamaño de la tesela principal frente a las otras (múltiples teselas de pequeño tamaño).

El Factor 3 (Forma), con un 18% de la varianza explicada, presenta valores altos de cargas en métricas relacionadas con la forma de los fragmentos o teselas urbanas (*Mean Weighted Shape Index*, SHAPE\_AM); así como los índices de dimensión fractal (*Mean Weighted Fractal Dimension*, FRAC\_AM). Por ello, la tercera dimensión espacial fue interpretada como la complejidad de la forma de las teselas urbanas, de tal modo que valores bajos indicarían formas más simples o redondeadas, y valores altos indicarían teselas más complejas con formas elongadas que, por ejemplo, podrían ser propias de AM situadas en ámbitos con una topografía más adversa, o fuertemente influidas por la línea costera.

Por último, el Factor 4 (Aislamiento) con un 17% de la varianza total explicada, se encuentra correlacionado principalmente con la distancia media a la tesela más próxima (*Mean Euclidean Nearest Neighbour distance*, ENN\_MN y *Mean Weighted Euclidean Nearest Neighbour distance*, ENN\_AM), de tal forma que se interpretó la última dimensión como el grado de aislamiento de las teselas urbanas.

#### 4.2. Resultados del análisis de conglomerados: clasificación de las áreas metropolitanas

A partir de los scores obtenidos para los 4 factores o dimensiones espaciales, se realizó un análisis de conglomerados. Se optó por realizar una clasificación en cinco grupos tras

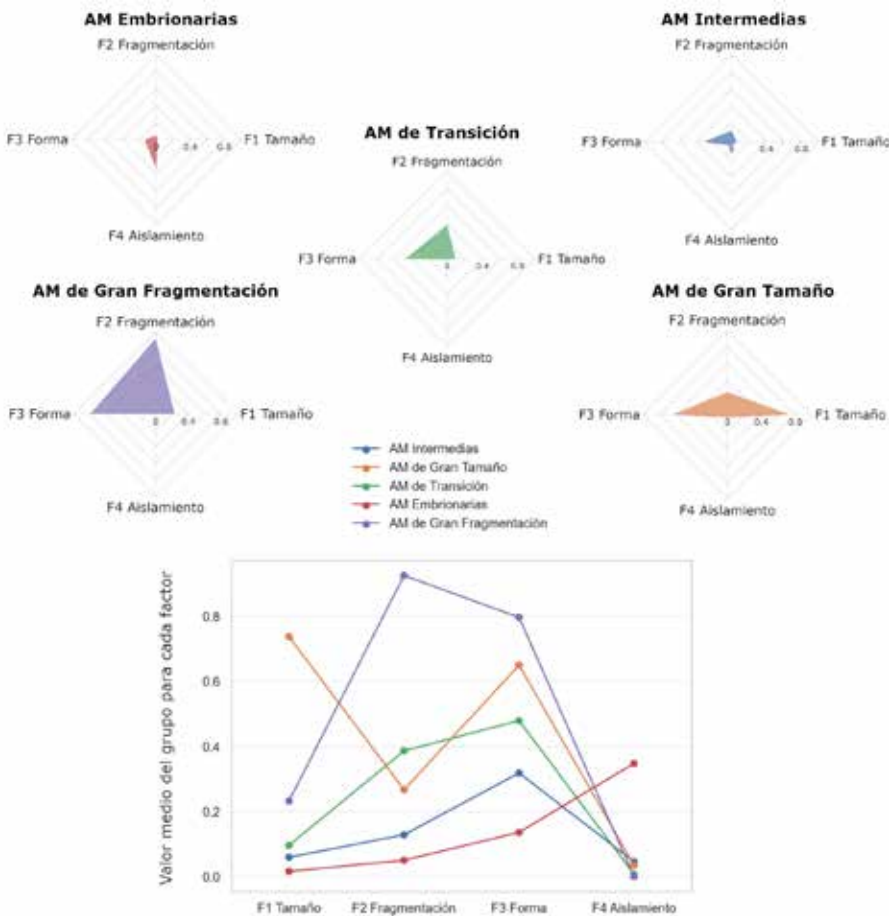


FIG. 4 / Valores medios de los cuatro factores para cada agrupamiento

Fuente: Elaboración propia



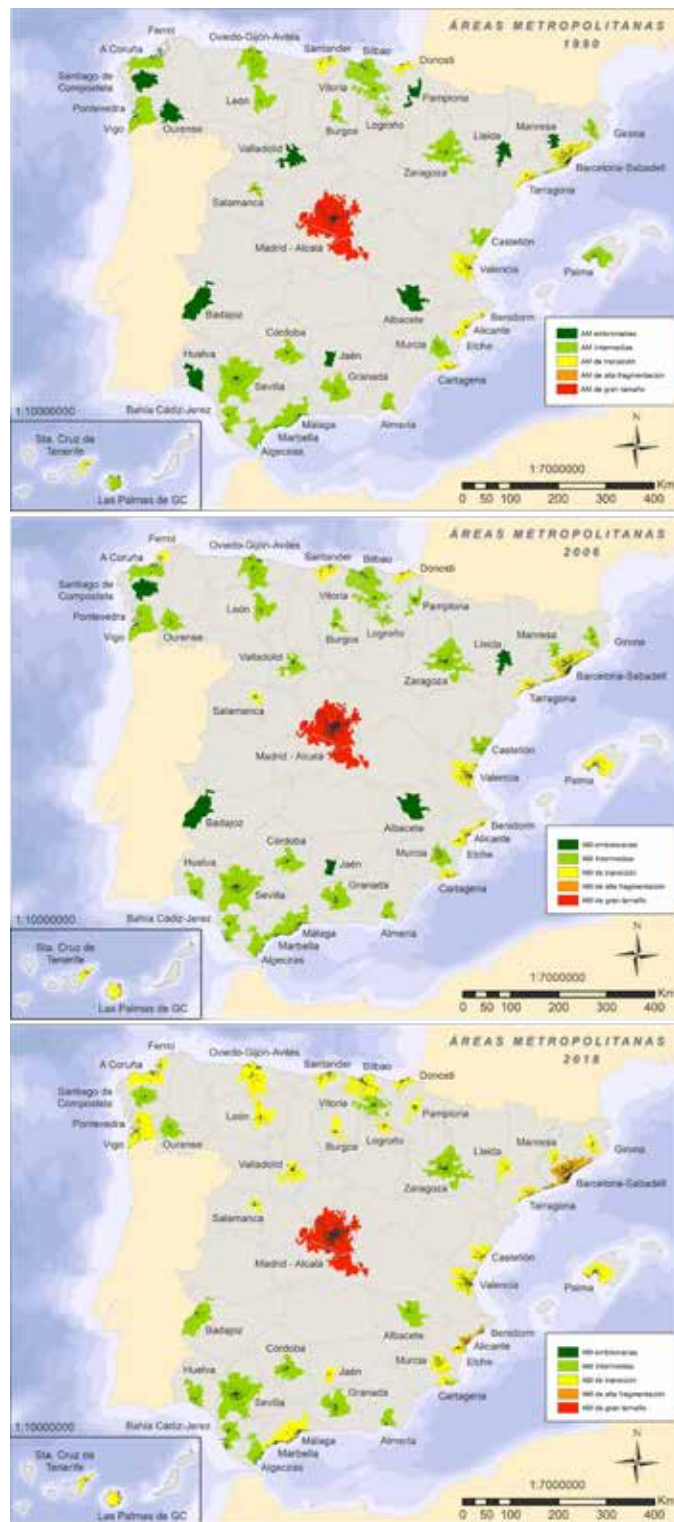


FIG. 5 / Agrupamientos generados para 1990 (5A), 2006 (5B) y 2018 (5C)

Fuente: Elaboración propia

probar diferentes números de agrupamientos y evaluar la separabilidad de los clústeres obtenidos mediante el método de *silhouette* (ROUSSEEUW, 1987), así como también mediante la interpretabilidad de los resultados. Los 5 grupos seleccionados pudieron interpretarse como tipos de AM, a partir de los valores medios de cada uno de los 4 factores (FIG. 4) denominándose AM embrionarias, AM Intermedias, AM de transición, AM de alta fragmentación, y AM de gran tamaño.

El primer grupo, denominado “AM Embrionarias”, se corresponde con AM en una etapa de desarrollo inicial, compuesto por 9% del total de las AM en las 5 fechas analizadas (20 de 228) (rojo en la FIG. 4). Se caracterizan por bajos valores en tres de los cuatro factores: pequeño tamaño del AM, baja fragmentación, formas simples, pero el valor más alto de aislamiento. Algunos ejemplos de estas AM son Badajoz, Albacete, Jaén, Huelva, o Santiago durante los años 90 (FIG.5A).

El segundo grupo, denominado “AM Intermedias”, es el grupo más numeroso, representando el 47% de las observaciones para las 5 fechas. Estas AM se caracterizan por valores más elevados para el factor de tamaño, fragmentación, y forma que las AM Embrionarias. Esto representa un estadio intermedio de desarrollo, similar a las AM embrionarias, pero que han perdido su particular aislamiento. Se trata, por tanto, de AM con una mayor madurez morfológica frente al grupo anterior. Destacan dentro de este grupo AM como Almería, Bilbao, Burgos, Castellón, La Coruña, Murcia, Santiago o Zaragoza.

El tercer grupo, también muy numeroso y que aglutina al 40% del total de observaciones, se ha denominado “AM de Transición”, ya que incluye AM que se encuentran en una etapa intermedia entre el grupo de “AM intermedias” (grupo 2) y el de alta fragmentación (grupo 4, ver más adelante). Estas AM siguen mostrando un tamaño relativamente reducido y notable complejidad de forma, pero en ellas la fragmentación se convierte en un factor relevante en la caracterización de sus formas. Destaca la presencia en este grupo de muchas de las AM costeras, como pueden ser Santander, San Sebastián, y gran parte de AM del arco mediterráneo (Tarragona, Cartagena, Elche, Palma, Benidorm, Alicante, Valencia).

El cuarto grupo es mucho más reducido que los anteriores, representado aproximadamente el 3% del total de observaciones. Se ha denominado “AM de Alta Fragmentación”, y está caracterizado por valores superiores del

factor tamaño, los valores más altos del factor complejidad de las formas, así como del factor de fragmentación, que dobla en valor al siguiente grupo (FIG. 4). Pertenecen a este grupo Barcelona y las AM de Elche, Alicante y Benidorm, todas en el ámbito del corredor mediterráneo.

Finalmente, el quinto grupo (FIG. 4) está compuesto únicamente por el AM de Madrid-Alcalá de Henares (2% del total de observaciones). Se trata de un “AM de Gran Tamaño” dominada fundamentalmente por los elevados valores del factor de tamaño, presentando también una alta complejidad de las formas, una fragmentación moderada, y un aislamiento bajo de los fragmentos urbanos.

### 4.3. Procesos de transformación y evolución de los cambios en la clasificación (1990 al 2018)

La disponibilidad de clasificaciones multitemporales (fechas 1990, 2000, 2006, 2012 y 2018) permitió analizar los cambios en los patrones espaciales de las AM. Así, se pudieron inferir procesos de transformación en las AM a partir de su traslado de un grupo a otro.

En cualquier caso, y de manera general (FIG. 6), se observa una reducción hasta su desaparición de las AM incluidas en el grupo de AM embrionarias; la disminución de las AM intermedias, la estabilidad de las AM de gran tamaño; y un incremento paulatino de las AM de transición, acompañado de incrementos más leves de las AM de gran fragmentación. Estos cambios revelan un gran dinamismo en la evolución de las AM a lo largo del periodo analizado, que transitan desde formas más simples y con poca fragmentación, hasta formas más complejas y fragmentadas, que pueden asociarse a procesos propios de la fase de difusión/ dispersión del proceso de expansión metropolitana (DI ETZEL & al., 2005).

A continuación, se describen detalladamente los procesos de transformación a partir de los cambios en los agrupamientos experimentados por las AM.

#### 4.3.1. Proceso I: dispersión inicial de AM Embrionarias

Este proceso se caracteriza por el aumento de la complejidad de los bordes y fragmentación,

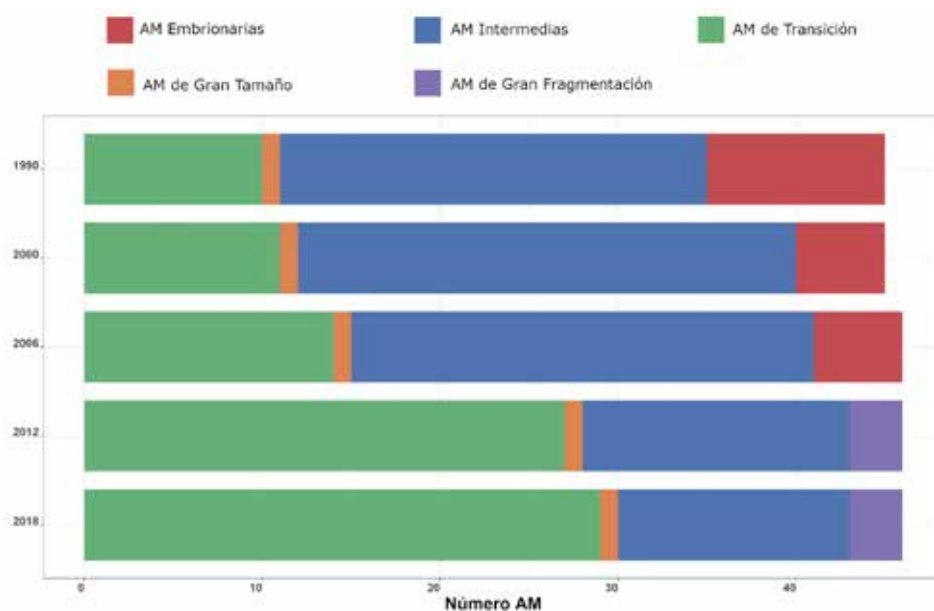


FIG. 6 / Evolución de la clasificación de las Áreas Metropolitanas

Fuente: Elaboración propia

junto con una disminución del grado de aislamiento de las teselas, por aparición de nuevos fragmentos urbanos. La mayor parte de estos cambios ocurren en el periodo comprendido entre los años 1990 y 2000, aunque este proceso continúa en los siguientes periodos, hasta que ninguna AM queda incluida en este grupo en la clasificación del año 2018. Ejemplos de AM que experimentan este proceso con claridad son: Huelva, Manresa, Ourense, Pamplona, Valladolid, Santiago, Jaén, Lleida o Albacete.

La FIG. 7 muestra el cambio experimentado por el AM de Pamplona del año 1990 al 2018, situándose el presente proceso entre el período 1990-2006. Como puede observarse en los gráficos bivariados y en el *radar chat* (FIG. 7), entre el 1990 y el 2006, se produce un incremento de la fragmentación, y un leve incremento de la complejidad de la forma, y del tamaño; unido a una disminución del aislamiento de las teselas. Se produce así un proceso de dispersión, con nuevas teselas que se ubican en el entorno de los fragmentos originales que la sitúan en el grupo de AM Intermedias. Posteriormente, este proceso se completa con otro diferente a partir del año 2006, que es descrito en el epígrafe siguiente.

#### 4.3.2. Proceso II: expansión y dispersión de las AM Intermedias

Este proceso implica un aumento de la dispersión de los usos urbanos, así como de la complejidad de las formas, producto de aparición de nuevas teselas urbanas separadas de las ya existentes, pero con una magnitud superior a las descritas en el primer proceso, unido a una mayor expansión o crecimiento de los usos urbanos. Se trata del proceso más abundante en las AM españolas, y representa el 60% cambios totales. Se observa por ejemplo en las AM de Castellón, Logroño, Málaga, Marbella, Vigo, y Gran Canaria, León, Salamanca, Vigo, Oviedo. La FIG. 8 muestra cómo se produce un incremento importante de la fragmentación y la complejidad que, a diferencia del grupo anterior, no viene acompañada de una disminución del aislamiento, puesto que estas AM ya tenían un mayor nivel de fragmentación, y también implica un incremento del tamaño del AM.

#### 4.3.3. Proceso III: explosión urbana en AM de Transición. Hacia AM de Alta Fragmentación

Este proceso de cambio muestra una versión de mayor escala de los procesos descritos

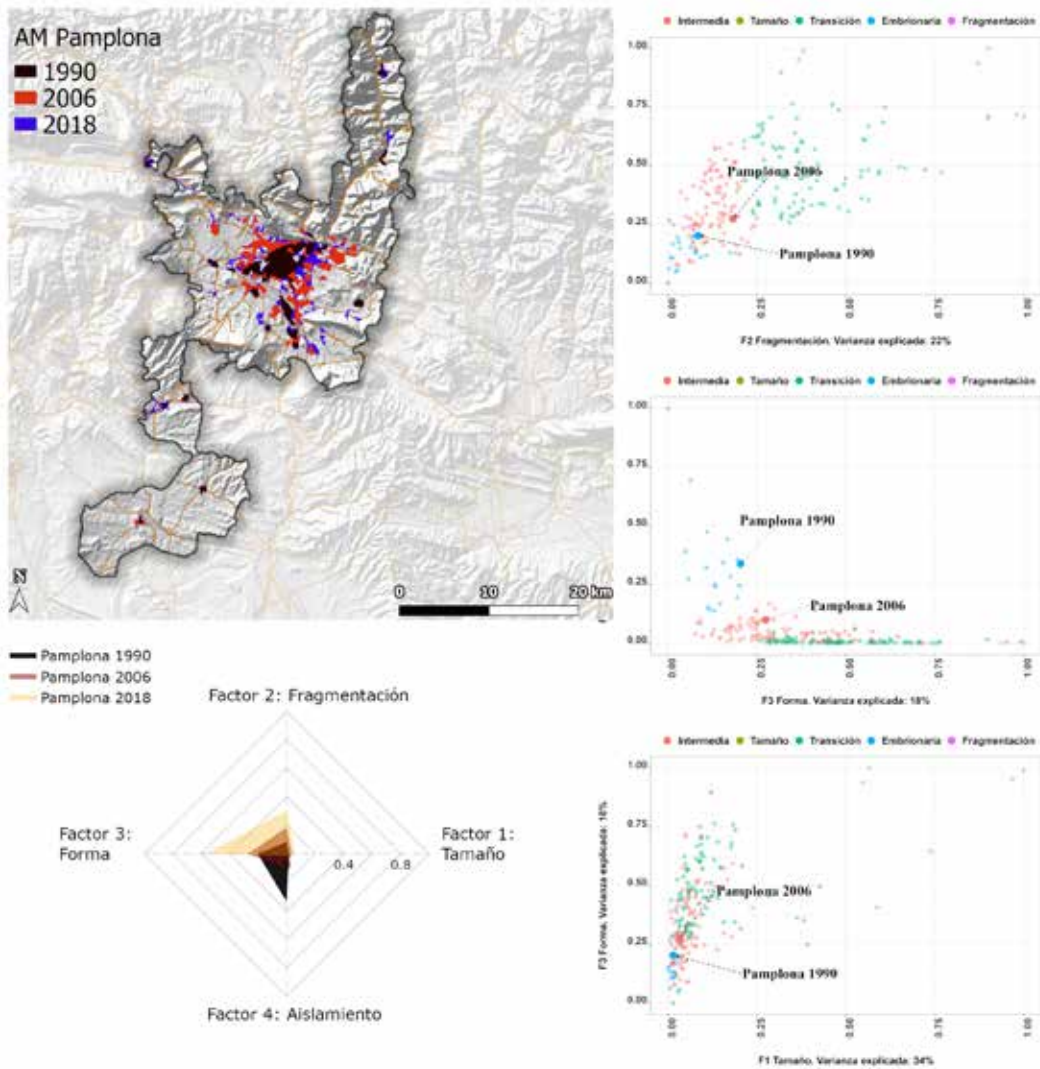


FIG. 7 / Evolución del Áreas Metropolitanas de Pamplona: 1990-2006

Fuente: Elaboración propia

anteriormente, implicando un fuerte incremento de la fragmentación de los usos urbanos, que permite que varias AM sean catalogadas como AM de Alta Fragmentación a partir del año 2006. La Fig. 9 ilustra el caso de Alicante y muestra los principales cambios que implica el proceso, que consisten en un muy fuerte incremento de la fragmentación y de la complejidad de las teselas urbanas con incrementos menos relevantes del factor tamaño y con un factor de aislamiento muy reducido, debido a la importante aparición de teselas de pequeño tamaño que se ubican muy próximas

entre sí. Este proceso se encuentra vinculado al desarrollo urbanístico asociado al turismo en las zonas litorales mediterráneas, que aumentan su suelo edificado a través del patrón descrito.

#### 4.3.4. Proceso IV: el caso de Madrid. Fragmentación y coalescencia

El caso de Madrid-Alcalá es un caso especial debido a que es un AM de Gran Tamaño



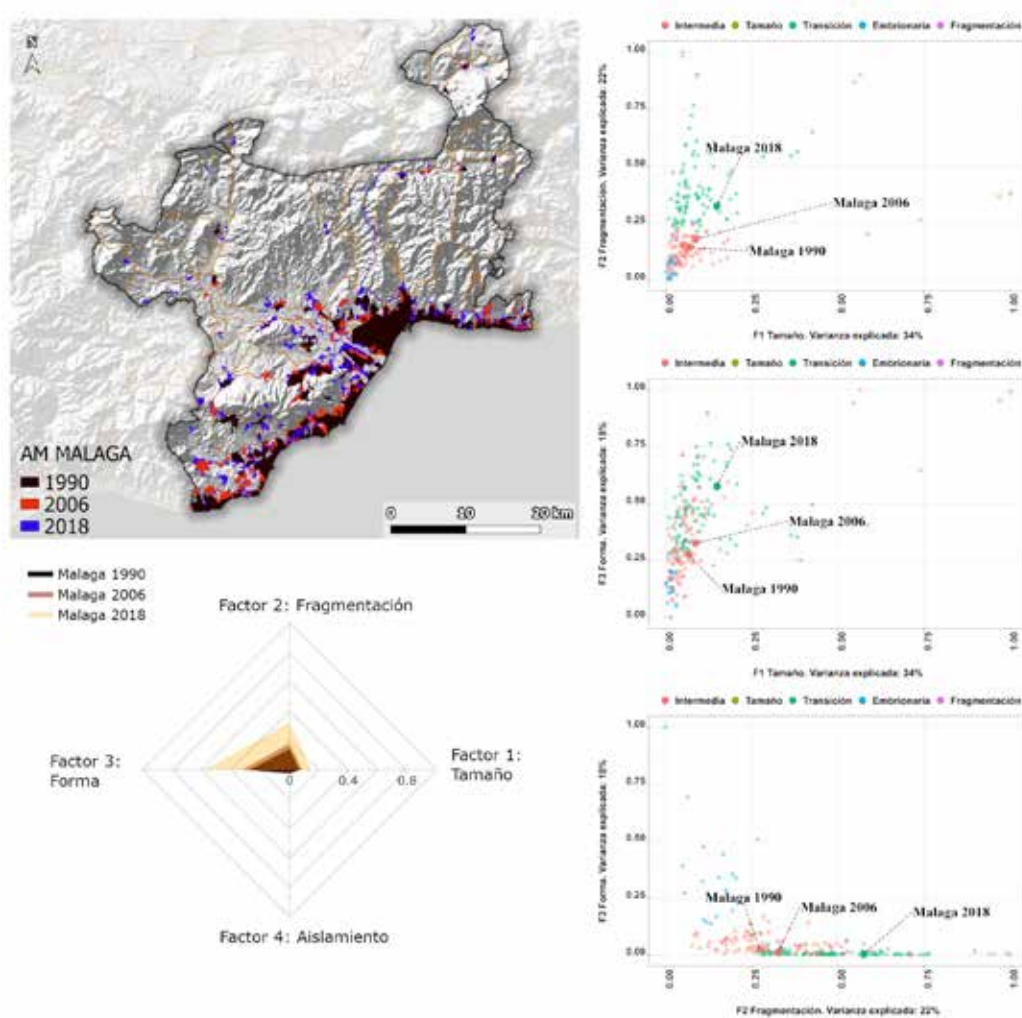


FIG. 8 / Evolución del Área Metropolitana de Málaga: 1990-2018

Fuente: Elaboración propia

(el mayor a nivel estatal), con características muy diferentes al resto. La FIG. 10 muestra la evolución de esta AM y la presencia de un proceso diferente a los anteriormente descritos. Se puede observar un aumento continuo en el factor tamaño y de la complejidad de las formas, junto con un moderado aumento también del factor de fragmentación (especialmente hasta el año 2006), unido a una disminución del aislamiento. Es posible interpretar estos cambios como un proceso de dispersión inicial (1990-2006) que no implica un cambio sustancial de tamaño, al que posteriormente se le superpone un proceso de expansión y complejización del AM, que

aunque genera nuevas teselas, como muestran los incrementos en el factor de fragmentación, también supone la agregación o coalescencia de ciertos fragmentos o teselas urbanas existentes, lo que implica una mayor complejidad en los bordes de las mismas (factor forma), y un incremento de la tesela más grande (factor tamaño), correspondiente con el núcleo urbano de Madrid, que se van conurbando con los núcleos de la primera corona metropolitana.



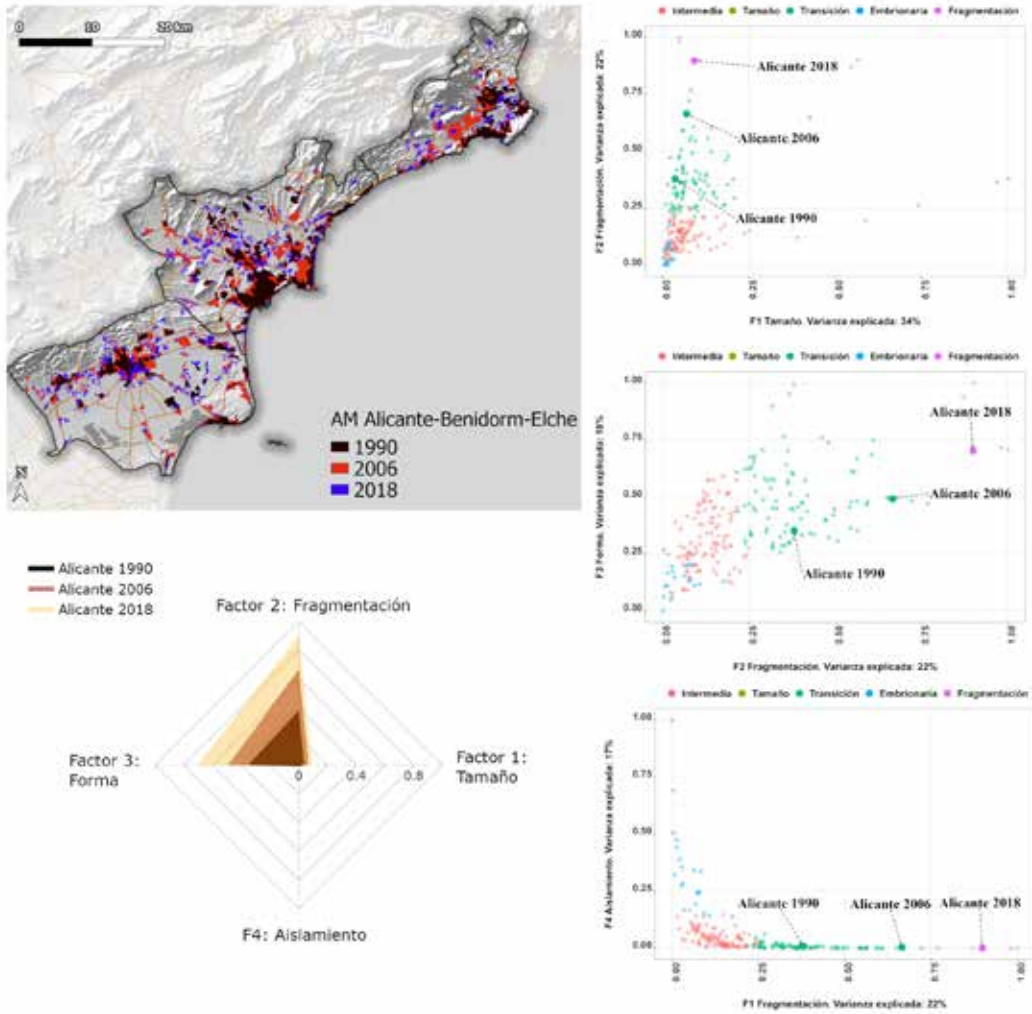


FIG. 9 / Evolución del Área Metropolitana de Alicante: 1990-2018

Fuente: Elaboración propia

## 5. Discusión

### 5.1. Patrones y procesos en AM españolas

La evolución de la estructura espacial de las AM es consecuencia de múltiples factores de índole geográfica, social, económica y tecnológica y, por tanto, la transformación metropolitana no es homogénea ni en el tiempo ni entre las diferentes AM (TIAN & al., 2011). En el presente estudio se analiza la morfología de las AM españolas

partir de la cartografía de la distribución de los fragmentos urbanos que las integran en las cinco fechas disponibles en la cartografía CLC, y se realiza una interpretación de los procesos de cambio derivados de la modificación del patrón espacial (AGUILERA-BENAVENTE & al., 2014; PASCUAL & al., 2019).

Los resultados obtenidos permitieron, mediante el cálculo de un conjunto de métricas espaciales, identificar en primer lugar las dimensiones espaciales más representativas de las formas de las AM españolas en las últimas cuatro décadas. Estas dimensiones espaciales son muy similares a las encontradas por PASCUAL & al.

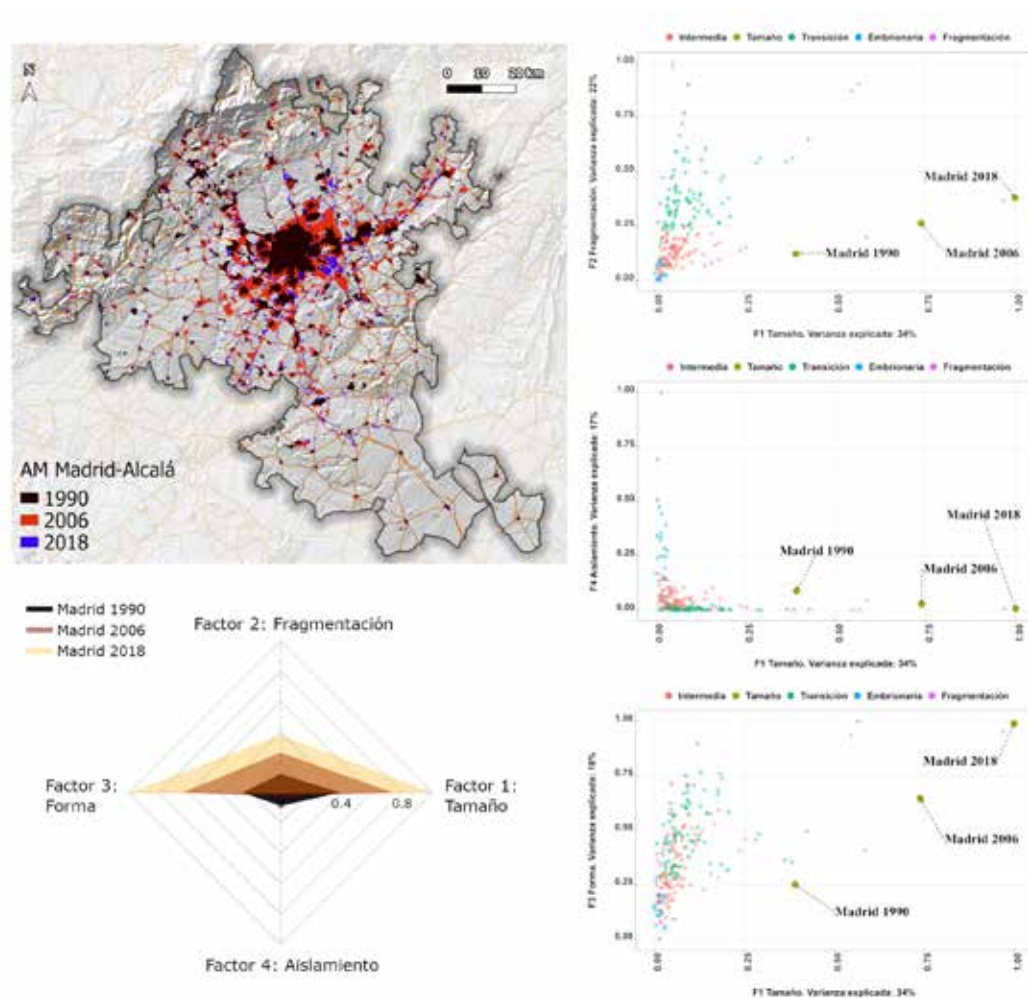


FIG. 10 / Evolución del Área Metropolitana de Madrid-Alcalá de Henares: 1990-2018

Fuente: Elaboración propia

(2019) para las AM españolas, pero empleando únicamente la cartografía CLC para los años 1990 a 2006. Este hecho parece indicar que las características espaciales que definen las AM españolas, desde la perspectiva del análisis de los fragmentos urbanos que las componen, se mantienen estables en el tiempo.

Por otra parte, a partir de dichas dimensiones o factores espaciales, se realizó una clasificación multitemporal de las AM españolas (patrones espaciales), de la que se pudieron inferir procesos de transformación metropolitana. A este respecto, el conocimiento de los patrones de las AM no solo puede facilitar nuestra comprensión

de los sistemas urbanos, sino que también puede ser muy útiles para guiar las prácticas en la planificación, el diseño y la gestión urbana (Wu & al., 2010).

En lo que respecta a los procesos inferidos, muestran de manera general una dinámica de cambio metropolitano similar en las diferentes AM españolas, pero que se encuentra en diferentes etapas o estadios. Así, a excepción del AM de Madrid-Alcalá, se observa una evolución general dominada por procesos de dispersión y fragmentación urbana, con incrementos en el número de fragmentos urbanos, la disminución del aislamiento de los fragmentos (por aparición

de nuevas teselas en espacios intersticiales) y el incremento de la densidad de bordes. A este respecto, destacan las AM de las zonas costeras (especialmente en la zona mediterránea), donde podría estar produciéndose una primera “ola” de dispersión/fragmentación urbana, que posteriormente se va trasladando hacia el interior (AGUILERA-BENAVENTE & al., 2014). Igualmente existe también una dinámica común en todos los agrupamientos hacia una mayor complejidad de la forma de las teselas urbanas, lo que implicaría una morfología urbana más compleja que la previamente existente a finales del siglo XX. En el caso del AM de Madrid-Alcalá, se observa, sin embargo, tras un primer período de dispersión, un proceso tendente a la mayor agregación/coalescencia de los fragmentos urbanos. De esta forma, y en consonancia con la teoría de los procesos de difusión vs coalescencia en la formación de los espacios metropolitanos (DIETZEL & al., 2005), encontraríamos para las AM tanto procesos de dispersión (dominantes en la mayor parte de las AM) que extienden el crecimiento urbano de los núcleos centrales a nuevas áreas de desarrollo (procesos de *outlying*, LIU & al., 2010); como un proceso de agregación en el AM de Madrid, que se caracteriza por la expansión hacia el exterior y el relleno de intersticios en las áreas urbanas existentes (WU & al., 2010), en lo que se puede catalogar como procesos de *edge expansion e infilling* (LIU & al., 2010).

Estos procesos, pueden darse ya sea como fases alternativas del crecimiento o también como sus puntos iniciales o finales (TIAN & al., 2011, JENERETTE & POTERE, 2010; LI & al., 2013). Así, en el AM de Madrid-Alcalá se observarían de manera dominante procesos de coalescencia, bien por haberse completado previamente un ciclo de fragmentación, o por ser el patrón al que se dirige. En el resto de AM, dominarían los procesos de dispersión, sin poder aseverar si el último estadio (AM de alta fragmentación) podría anticipar una futura fase de coalescencia o por el contrario formaría parte de una fase más del proceso de dispersión.

## 5.2. Sobre las fuentes y posibles limitaciones del trabajo

En primer lugar, es posible destacar que una de las principales limitaciones del trabajo reside en las fuentes de información empleadas. A este respecto, la cartografía de CLC, con un nivel de detalle reducido, presenta algunos errores tanto temáticos como espaciales que han sido bien descritos previamente en la bibliografía (BACH

& al., 2006; CATALÁ MATEO & al., 2008). Dichos errores se pueden traducir en la identificación de procesos “artificiales” que pueden emerger por errores en la clasificación de alguna de las fechas (AGUILERA-BENAVENTE & al., 2014).

Hay que destacar que en los datos base de las métricas espaciales calculadas se observaron casos anómalos que desvirtuaban la posterior factorización y clasificación de las AM. Estos valores atípicos (*outliers*) son casos con un valor tan extremo en una o más variables (univariado o multivariado) que distorsiona las estadísticas. Estos valores pueden ser causados por errores en la recopilación de los datos, su ingreso, etc., pudiendo tener un efecto importante en los resultados (WATKINS, 2021). A este respecto, en el área metropolitana de Ferrol se observaron procesos no reales, que se manifestaron como cambios en los patrones de ocupación cuando realmente representaban problemas en la cartografía CLC en las fechas de 1990 y 2000. Esto fue debido a las características propias de la ocupación urbana gallega (altamente dispersa), y al tipo de poblamiento que presenta, unido a un menor nivel de detalle cartográfico de las primeras ediciones de CORINE, que llevó a categorizar grandes teselas como zonas urbanas cuando realmente la fracción urbana era muy pequeña. En ediciones posteriores estos problemas se paliaron en parte al aumentar la precisión de los datos, implicando la eliminación de grandes superficies de la categoría de zonas urbanas que previamente se habían clasificado como tales, que podían interpretarse de manera errónea como un fuerte proceso de dispersión que no es tal (PASCUAL & al., 2019). Por todo ello, previamente a la realización del Análisis Factorial, el AM de Ferrol mostró en las fechas de 1990 y 2000 valores atípicos en métricas como AREA\_MN y SHAPE\_MN, que motivaron su exclusión en dichas fechas.

Por otra parte, los patrones y procesos identificados están fuertemente condicionados por el nivel de detalle de la cartografía empleada. Así, es posible que algunos procesos de crecimiento urbano que se pudiesen producir a una escala de mayor detalle (por ejemplo, micro fragmentación urbana) no sean identificados en la cartografía CORINE, y que incluso procesos identificados como de agregación puedan ser clasificados a otra escala como procesos de dispersión, al no identificarse por ejemplo fragmentos urbanos de reducido tamaño (AGUILERA-BENAVENTE & al., 2014).

En este sentido, sería necesario profundizar en la realización de estos análisis de identificación y caracterización de patrones y procesos

a nivel multiescalar, empleando otras fuentes de información adicionales, como por ejemplo la cartografía de SIOSE, SIOSE AR, o incluso cartografía de usos del suelo derivada de la información catastral (Urban3R, SHURUPOV & al., 2022), para explorar si los patrones identificados se ven modificados por la escala de análisis. Sin embargo, la ausencia de una serie temporal larga en estas fuentes, como sí sucede en el caso del CORINE, dificulta el análisis de procesos de cambio.

En lo que respecta a la delimitación de las AM para la identificación de los patrones y procesos, se ha optado por continuar con el enfoque de PASCUAL & al. (2019), seleccionando la delimitación de AM de FERIA TORIBIO (2008), con el objetivo de analizar la continuidad de los patrones y procesos observados para el período 90-2006. A este respecto, es posible señalar que, de los cinco factores extraídos por PASCUAL & al. (2019), cuatro son coincidentes con los que se han identificado en el presente estudio, no habiendo sido identificado sin embargo el factor de tamaño medio de las teselas, el de menor varianza explicada en el citado trabajo. Además, los procesos identificados fueron análogos, apreciándose igualmente tanto procesos de dispersión como de agregación en AM, con un dominio de los primeros.

En cualquier caso, es necesario destacar como posible limitación en este sentido, la existencia de delimitaciones de AM más recientes en España, como la de FERIA TORIBIO & al. (2018), con datos del censo de 2011; la de SELVA-ROYO (2020) a partir de los centros urbanos y las isócronas de 10m, e incluso la propuesta de delimitación de Áreas Urbanas del Atlas Digital elaborado por el MINISTERIO DE VIVIENDA Y AGENDA URBANA (2023). Posibles estudios futuros podrían abordar la realización de las clasificaciones a partir de estas delimitaciones.

La delimitación realizada además es relevante ya que, a la hora de analizar los procesos y patrones identificados, el tamaño de la delimitación de las AM a partir de los límites municipales que la integran puede haber influido, ya que aquellas que presentan delimitaciones más extensas presentan valores de fragmentación más bajos de lo que podría esperarse a priori (Madrid, Sevilla o Zaragoza).

## 6. Conclusiones

Los patrones y procesos de urbanización son consecuencia de factores socioeconómicos,

demográficos, sociales, tecnológicos, etc., que impulsan e influyen en la evolución de la estructura espacial de las ciudades. A su vez, los diferentes procesos de expansión y cambio urbano también tienen consecuencias en los factores citados anteriormente, por lo que la elaboración de estudios longitudinales que analizan la dinámica urbana desde la perspectiva temporal resulta relevante. Este trabajo presenta una clasificación multitemporal de la morfología de las principales AM españolas a partir de métricas espaciales, que ha permitido cuantificar las principales dimensiones o factores espaciales que explican la variabilidad en la configuración urbana en España, identificar diferentes patrones de urbanización, y por último inferir procesos de transformación urbana.

En este sentido se puede concluir: i) la persistencia de la mayor parte de los factores espaciales en que explican la morfología de las AM todo el período estudiado, así como su coincidencia con otros estudios existentes para el período 1990-2006 (PASCUAL & al., 2019); ii) el elevado dinamismo de las AM españolas, con una evolución, en la mayor parte de ellas, hacia formas más complejas a través de procesos de difusión/dispersión; con excepción del AM de Madrid-Alcalá, donde se aprecian también procesos de coalescencia.

Por último, sería necesario reforzar la presente línea de investigación en trabajos futuros que explorasen otras delimitaciones de AM existentes, así como, especialmente, que empleen cartografías con una resolución espacial más elevada que CLC, tales como SIOSE, SIOSE AR, cartografía catastral, etc., con el objetivo de valorar la persistencia de los procesos identificados o por el contrario la emergencia de ciertos procesos urbanos que sólo pueden ser caracterizados a escalas de mayor detalle.

## 7. Bibliografía

- ANDRÉS LÓPEZ, G. (2022): La planificación urbanística y el modelo de crecimiento en las ciudades medias españolas: el área urbana de Burgos (1981-2021). *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, 54(214), 899-920. <https://doi.org/10.37230/CyTET.2022.214.6>
- AGUILERA BENAVENTE, F & VALENZUELA MONTES, L.M. & BOSQUE SENDRA, J. (2010): Simulación de escenarios futuros en la aglomeración urbana de Granada a través de modelos basados en autómatas celulares. *Boletín de la AGE*, 54, pp 271-300
- AGUILERA BENAVENTE, F. & VALENZUELA, L.M. & BOTEQUILHA-LEITAO, A. (2011): Landscape metrics in the analysis of urban land use patterns: a case study in a



- Spanish metropolitan area. *Landscape and Urban Planning*, 99, pp 226-238
- AGUILERA BENAVENTE, F. & BOTEQUILHA-LEITAO, A. (2012): Selección de métricas de paisaje mediante análisis de componentes principales para la descripción de los cambios de uso y cobertura del suelo del Algarve, Portugal. *Geofocus*, 12, pp 93-121.
- AGUILERA BENAVENTE, F. & BOTEQUILHA-LEITAO, A. & DÍAZ-VARELA, E. (2014): Detecting multi-scale urban growth patterns and processes in the Algarve region (southern Portugal). *Journal of Applied Geography*, 53, pp 234-245
- ALAMINOS, A. & FRANCÉS, F. & PENALVA-VERDÚ, C. & SANTACREU, O. (2015): *Análisis multivariante para las Ciencias Sociales I. Índices de distancia, conglomerados y análisis factorial*. Cuenca, Ecuador, PYDLOS Ediciones.
- BANCO MUNDIAL (2021): *Población*. [Dataset]. <https://datos.bancomundial.org/>
- BACH, M. & BREUER, L. & FREDE, H. G. & HUISMAN, J. A. & OTTE, A. & WALDHARDT, R. (2006): Accuracy and congruency of three different digital land-use maps. *Landscape and urban planning*, 78 (4), pp 289-299.
- BOIX DOMENECH, R. (11 de abril, 2007): *Concepto y delimitación de AM: una aplicación a las AM de España*. [Presentación en Seminario] Las grandes AM españolas en una perspectiva comparada, Sevilla.
- BOSCH, M. & JALIGOT, R & CHENAL, J. (2020): Spatiotemporal patterns of urbanization in three Swiss urban agglomerations: insights from landscape metrics, growth modes and fractal analysis. *Landscape Ecology*, 35, pp 879–891
- BOTEQUILHA-LEITAO, A & AHERN, J. (2002): Applying landscape concepts and metrics in sustainable landscape planning. *Landscape and Urban Planning*, 59, 65-93.
- BOTEQUILHA-LEITAO, A & MILLER, J & AHERN, J. & MCGARIGAL, K. (2006): *Measuring Landscapes. A planner's handbook*. Washington, USA, Island Press.
- BURRIEL, E.L. (2013): Subversion of land-use plans and the housing bubble in Spain. *Urban Research & Practice*, 4(3), pp 232-249.
- BUYANTUYEV, A. & WU, J & GRIES, C. (2010): Multiscale analysis of the urbanization pattern of the Phoenix metropolitan landscape of USA: Time, space and thematic resolution. *Landscape and Urban Planning*, 94, pp 206–217
- CAMBAS MUÑOZ, M & VERGARA FERNÁNDEZ, C. & AGUILERA BENAVENTE, F. (12-14 de septiembre, 2022): *Clasificación de las ciudades españolas en función de sus usos del suelo*. [Comunicación en congreso]. XIX Congreso de Tecnologías de la Información geográfica, Zaragoza.
- CARPIO PINEDO, J., & LÓPEZ BAEZA, J. (2021): La producción de identidad de los nuevos desarrollos urbanos a través del place-based social big data: los crecimientos del área metropolitana de Madrid durante la burbuja inmobiliaria (1990-2012). *Revista EURE – Revista de Estudios Urbanos Regionales*, 47 (140).
- CARRERAS, J.M. & OTERO, M. & RUIZ, E. (2009): Aglomeraciones Metropolitanas Europeas. *Papers* 50.
- CATALÁ MATEO, R. & BOSQUE SENDRA, J. & PLATA ROCHA, W. (2008): Análisis de posibles errores en la base de datos CORINE Land Cover (1990-2000) en la Comunidad de Madrid. *Estudios Geográficos*, 69, pp 81-104.
- CEBRIÁN ABELLÁN F. & GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, M.J. & VALLEJO-PASCUAL, M.E. (2021): Typology of Medium-Sized Cities in Spain Using PCA (Principal Component Analysis). *Sustainability*, 13, 2456.
- COSTA LOSA, M. & PORCEL LÓPEZ, S. (2012): L'estructura socioespacial de la regió metropolitana de Barcelona des d'una aproximació multimètode. Una proposta metodològica per a l'estudi de la diferenciació socioresidencial. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 59(2), pp 315-345
- CUSHMAN, S.A. & MCGARIGAL, K & NEEL, M.C. (2008): Parsimony in landscape metrics: Strength, universality, and consistency. *Ecological Indicators* 8(5), pp 691-703
- DAHAL, K. & BENNER, S. & LINDQUIST, E. (2017): Urban hypotheses and spatiotemporal characterization of urban growth in the Treasure Valley of Idaho, USA. *Applied Geography*, 79, 11-25
- DENG, J. S. & WANG, K. & HONG, Y. & QI, J. G. (2009): Spatio-temporal dynamics and evolution of land use change and landscape pattern in response to rapid urbanization. *Landscape and Urban Planning*, 92, pp 187-198.
- DI STEFANO, C. & ZHU, M. & MINDRILA, D. (2009): Understanding and using factor scores: Considerations for the applied researcher. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 14(20), pp 1–11.
- DIETZEL, C. & HEROLD, M. & HEMPHILL, J.J. & CLARKE, K. (2005): Spatio-temporal dynamics in California's Central Valley: Empirical links to urban theory. *International Journal of Geographical Information Science*, 19(2), pp 175–195
- FERIA TORIBIO J.M. (2008): Un ensayo metodológico de definición de las AM en España a partir de la variable residencia-trabajo. *Investigaciones Geográficas*, 46, pp 49-68.
- FERIA TORIBIO J.M. (2013): Hacia una taxonomía de las AM Españolas. *Boletín de la AGE*, 63, pp 499-506.
- FERIA TORIBIO J.M. & ANDÚJAR LLOSA, A (2015): Movilidad residencial metropolitana y crisis inmobiliaria. *Anales de Geografía*, 35 (1), pp 13-40.
- FERIA TORIBIO J.M. & DE OLIVEIRA NEVES, G. & HURTADO RODRIGUEZ, C. (2018) : Une méthode pour la délimitation des aires métropolitaines. Application au système urbain espagnol. *Cybergeo: European Journal of Geography*, 852.
- FRAGO I CLOLS, L. (2015): Logística y reestructuración metropolitana en el área de Barcelona. *Scripta Nova*, 19 (523).
- GIMÉNEZ GARCÍA, R. & MARÍN SALCEDO, J. & GARCÍA-MARÍN, R. (2023): Técnicas de Evaluación Multicriterio en la toma de decisiones territoriales: estimación de capacidad acogida urbana en el Área Metropolitana de Murcia. *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, 55(218), 987–1012. <https://doi.org/10.37230/CYTET.2023.218.1>,
- GRIMM, N.B. & FAETH, S.H. & GOLUBIEWSKI, N.E. & REDMAN, C.L. & WU, J. & BAI, X. & BRIGGS, J.M. (2008): Global change and the ecology of cities. *Science*, 319, pp 756–760.



- HAGEN-ZANKER, A (2016): A computational framework for generalized moving windows and its application to landscape pattern analysis. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 44, pp 205–216
- HEROLD, M. & COUCLELIS, H. & CLARKE, K. C. (2005): The role of spatial metrics in the analysis and modeling of urban land use change. *Computers, Environment and Urban Systems*, 29(4), pp 369-399.
- JUARISTI LINACERO, J. (2011): Movimientos residencia-trabajo y estructura metropolitana. Cambios en el área metropolitana de Bilbao: 1980-2001. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 31 (1), pp 29-60
- JENERETTE, G.D. & POTERE, D. (2010): Global analysis and simulation of land-use change associated with urbanization. *Landscape ecology*, 25 (5), 657-670
- KAISER, H. F. (1974): An index of factorial simplicity. *Psychometrika*, 39(1), pp 31–36.
- LI, J. & LI, C. & ZHU, F. & SONG, C. & WU, J. (2013): Spatiotemporal pattern of urbanization in Shanghai, China between 1989 and 2005. *Landscape Ecology*, 28, pp 1545–1565.
- LIU, X. & LI, X. & CHEN, Y. & TAN, Z. & LI, S. & AI, B. (2010): A new landscape index for quantifying urban expansion using multi-temporal remotely sensed data. *Landscape Ecology*, 25, pp 671–682.
- MARMOLEJO DUARTE, C. & CERDA-TRONCOSO, J. (2019): Metropolitan Barcelona 2001–06, or how people's spatial-temporal behaviour shapes urban structures. *Regional Studies*, 54 (4). 563-575.
- MCGARIGAL, K. & CUSHMAN, S. & ENE, E. (2012): *FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps*. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst
- MEZETTI, G. & BADIA, A. & GISBERT, M. (2021): La dispersión urbana y los costes temporales de la movilidad: el caso de Matadepera, Región Metropolitana de Barcelona. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 67(1), pp 153-177
- MINISTERIO DE VIVIENDA Y AGENDA URBANA (2023). *Áreas urbanas en España*. Madrid, Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones
- MIRALLES GUASCH, C. (2011): Dinámicas metropolitanas y tiempos de la movilidad. La región metropolitana de Barcelona, como ejemplo. *Anales de Geografía*, 31(1), pp 125-145.
- MIRAMONTES, A. & VIEIRA, T.M. (2016): Las Áreas urbanas en la Península Ibérica. Un ejercicio de delimitación. *Papeles de Geografía*, 62, pp 47-62.
- MONTOSA MUÑOZ, J.C. & REYES CORREDERA, S. (2021): Jerarquía Urbana en el área metropolitana de Málaga. *Cuadernos geográficos*, 60 (2), pp 214-235.
- MURTAGH, F., & LEGENDRE, P. (2014): Ward's hierarchical agglomerative clustering method: which algorithms implement Ward's criterion? *Journal of classification*, 31, pp 274-295.
- PASCUAL ROSA, V & AGUILERA-BENAVENTE, F. & SALADO GARCÍA, M.J. (2019): Clasificación y análisis de los procesos de cambio en la estructura del paisaje urbano en Áreas Metropolitanas Españolas: Aplicación de métricas espaciales. *Estudios Geográficos*, 80 (286), e006
- PASCUAL, V.; AGUILERA, F. & SALADO, M.J. (25 de junio, 2014): *Incidencia de la resolución espacial y temática en la aplicación de métricas espaciales a la descripción morfológica de las AM españolas*. [Comunicación en congreso]. XVI Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica, Alicante
- ROCA CLADERA, J. & MOIX BERGADÀ, M. & ARELLANO RAMOS, B. (2012): El sistema urbano en España. *Scripta Nova. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, 396.
- ROUSSEEUW, P. J. (1987): Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. *Computational and Applied Mathematics*, 20, pp 53–65.
- RUBIALES PÉREZ, M. & BAYONA I CARRASCO, J. & PUJADAS RÚBIES, I. (2013): Distribución espacial de las clases altas en la región metropolitana de Madrid 2001-2011. *Anales de Geografía*, 33(2), pp 107-136.
- SALOM, J. & ALBERTOS J.M. (2010): Densidad de la red viaria y forma urbana: Delimitación del espacio urbano en ocho Aglomeraciones españolas. En Feria Toribio J.M y Albertos Puebla, J.M. (coord.), *La ciudad metropolitana en España: procesos urbanos en los inicios del siglo XXI* (pp 49-94). Madrid, Civitas.
- SARMENTO, R., & COSTA, V. (2017): *Comparative Approaches to Using R and Python for Statistical Data Analysis*. Hershey, Estados Unidos, IGI Global.
- SCHWARZ, N. (2010): Urban form revisited—Selecting indicators for characterising European cities. *Landscape and Urban Planning*, 96, pp 29-47.
- SELVA ROYO (2020): La cuantificación metropolitana en España. Hacia una definición homogénea de los espacios de gobernanza supramunicipal. *Ciudad y Territorio, Estudios Territoriales*. 52(204), pp 211-228.
- SHURUPOV, N & MOLINERO PAREJO, R. & RODRIGUEZ-ESPINOSA, V. & AGUILERA-BENAVENTE, F. (12-14 de septiembre, 2022): *Aplicaciones de Clasificador Catastral, un complemento de QGIS para la clasificación de los usos del suelo urbano a partir de información catastral*. [Comunicación en congreso]. XIX Congreso de Tecnologías de la Información geográfica, Zaragoza.
- SORIA LARA, J.A & AGUILERA-BENAVENTE, F. & ARRANZ, A. (2016): Integrating land use and transport practice through spatial metrics. *Transportation Research Part A*, 91, 330-345
- SU, S. & JIANG, Z. & ZHANG, Q. & ZHANG, Y. (2011): Transformation of agricultural landscapes under rapid urbanization: a threat to sustainability in Hang-Jia-Hu region, China. *Applied Geography*, 31, pp 439-449.
- SU, S. & XIAOYA, M. & XIAO R. (2014): Agricultural landscape pattern changes in response to urbanization at ecoregional scale. *Ecological Indicators*, 40, 1pp 0–18
- SUN, L. & CHEN, G. & HUI, X., & CHONGHUI, G. (2017): CLUSTER ANALYSIS IN DATA-DRIVEN MANAGEMENT AND DECISIONS. 2(4), 227–251.
- TIAN, G. & JIANG, J. & YANG, Z. & ZHANG, Y. (2011): The urban growth, size distribution and spatio-temporal dynamic pattern of the Yangtze River Delta

- megalopolitan region, China. *Ecological Modelling*, 222, pp 865-878.
- WATKINS, M. (2021): *A Step-by-Step Guide to Exploratory Factor Analysis with R and RStudio*. Nueva York, Estados Unidos. Routledge.
- WU, J. & JENERETTE, G.D. & BUYANTUYEV, A. & REDMAN, C.L. (2011): Quantifying spatiotemporal patterns of urbanization: The case of the two fastest growing metropolitan regions in the United States. *Ecological Complexity*, 8(1), pp 1-8

## 8. Listado de Acrónimos/Siglas

AF	Análisis Factorial	ED	Edge Density (Densidad de bordes)
AM	Áreas Metropolitanas	ENN_AM	Mean Weighted Euclidean Nearest Neighbour Distance (Distancia media a la tesela más próxima ponderado por el área)
AREA_MN	Area Mean (Tamaño medio ponderado de las teselas)	ENN_MN Mean	Euclidean Nearest Neighbour Distance (Distancia media a la tesela más próxima)
AREA_AM	Area Weighted Mean (Tamaño medio de las teselas ponderado por el área)	FRAC_AM	Mean Weighted Fractal Dimension (Dimensión fractal media ponderada por el área)
CA	Class Area (Área Urbana)	KMO	Kaiser-Meyer-Olkin
CLC	Corine Land Cover	LPI	Largest Patch Index (Índice de la tesela más grande)
		NP	Number of Patches (Número de teselas)
		PA	Análisis Paralelo
		PD	Patch Density (Densidad de teselas)
		SHAPE_AM	Mean Weighted Shape Index (Índice de forma medio ponderado por el área)
		TE	Total Edge (Longitud de bordes)