

# Estructura urbana, policentrismo y *sprawl*: los ejemplos de Madrid y Barcelona

Josep ROCA & Blanca ARELLANO & Montserrat MOIX

Investigadores del Centro de Política de Suelo y Valoraciones (CPSV) de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC)

**RESUMEN:** La literatura especializada ha puesto de relieve, en los últimos años, la tendencia de las estructuras metropolitanas hacia el policentrismo. Se ha roto el paradigma de las ciudades monocéntricas. Frente al downtown tradicional, las metrópolis contemporáneas han visto emerger el fenómeno de los subcentros. Extendiéndose la hipótesis de que la ciudad policéntrica (ETE 1999) es más eficiente que la ciudad monocéntrica desde el punto de vista ambiental. Sin embargo pocos esfuerzos se han dirigido a contrastar esta hipótesis. Buena parte de los trabajos empíricos se ha concentrado en demostrar la existencia de singularidades en las densidades de empleo, pero poco se ha avanzado en comprender esos subcentros como auténticas subestructuras hacedoras de ciudad.

El presente trabajo intenta sustentar una concepción más profunda de policentrismo desarrollando una metodología que permite simultáneamente 1) delimitar las áreas metropolitanas; 2) identificar los subsistemas metropolitanos articulados en torno a los subcentros; y 3) contrastar la hipótesis de que la ciudad policéntrica es más eficiente que la ciudad monocéntrica desde la perspectiva ambiental del consumo de suelo.

El estudio hace una comparación de las dos principales metrópolis españolas: Madrid y Barcelona, asumiendo a la primera como ejemplo de monocentrismo y la segunda con tendencia al policentrismo.

**DESCRIPTORES:** Monocentrismo. Policentrismo. *Urban sprawl*. Consumo de suelo.

## 1. Introducción

El desarrollo urbano producido en los últimos decenios ha ido alejando de forma progresiva la estructura urbana de las áreas metropolitanas contemporáneas del

modelo estándar de la economía locacional, el *modelo monocéntrico* desarrollado a partir de la aproximación de Von Thunen. Dicho modelo, en la forma dada por ALONSO (1964), MUTH (1969) y otros, ha sido un instrumento extremadamente fértil tanto por su simplicidad, ri-

---

Recibido: 12.11.2011; Revisado: 13.04.2011  
e-mail: Josep.roca@upc.edu; blanca.arellano-ramos@upc.edu; montserrat.moix@upc.edu  
Los autores, investigadores del Centro de Política de Suelo y Valoraciones (CPSV) de la Universidad Politécnica de

---

Cataluña (UPC), desean expresar su agradecimiento a Yraida Romano y Jorge Cerda por su colaboración en la redacción del presente artículo y a los evaluadores anónimos de la Revista los valiosos comentarios realizados al artículo.

gor y elegancia conceptual, como por su capacidad para ser contrastado empíricamente. Uno de sus logros más notables ha consistido en explicar el proceso de descentralización residencial producido en la mayor parte de los sistemas urbanos a partir de los primeros decenios de siglo XX. Sin embargo nada parecido ha sucedido respecto a la localización del empleo, respecto al cual el modelo monocéntrico clásico considera concentrado en torno al Central Business District (CBD). Frente a ese vacío teórico, la realidad del desarrollo urbano a partir de la década de los 80 (ANAS & *al.*, 1998) ha denotado cambios sustanciales en la estructura de las áreas metropolitanas: cambios que no pueden ser explicados por el modelo estándar. Particularmente el *policentrismo* creciente de las mismas, concentrando el empleo en diversos subcentros, además del CBD, así como la creciente *dispersión* de la actividad económica en la práctica totalidad del tejido urbano, han planteado cambios estructurales en las relaciones económicas que requieren de nuevos desarrollos teóricos, más allá del modelo monocéntrico tradicional. A fin de adaptar dicho modelo a la realidad de los hechos, la literatura teórica (HARTWICK & HARTWICK, 1974; WHITE, 1976; ODLAND, 1978; VON BOVENTER, 1976; OGAWA & FUJITA, 1980; FUJITA & OGAWA, 1982; FUJITA, 1988; HENDERSON & MITRA 1996; ANAS & KIM, 1996; KRUGMAN 1996; FUJITA & MORI, 1997) ha situado en la congestión de los lugares centrales el principal elemento explicativo de la caída relativa de los CBD, de forma tal que las estructuras urbanas contemporáneas serían el resultado inestable de un conjunto de fuerzas centrípetas y centrífugas, en las que el efecto descentralizador provocado por la congestión (y el recurso estructuralmente escaso que es el suelo) sería sólo parcialmente compensado por las economías de aglomeración. En este contexto dialéctico el predominio de las estas últimas conduciría a la concentración descentralizada del empleo en uno a varios subcentros además del CBD, así como, en el caso de dominio de las economías de desaglomeración, a la dispersión del empleo en el conjunto de la región.

Numerosos estudios empíricos (véase ROCA & *al.*, 2009 para un resumen de la citada literatura) han dado fe de esos cambios en la estructura urbana. La inmensa mayor parte de ellos dirigidos al reconocimiento de subcentros y, por tanto, a la tesis «neo»-clásica encaminada a la primacía de las fuerzas de aglomeración en un contexto descentralizado. Muy pocos (GORDON & RICHARDSON, 1996), en cambio, dirigidos a evidenciar el progresivo protagonis-

mo de las fuerzas disgregadoras sobre el empleo y, por tanto, a discutir la vigencia de la tesis del policentrismo.

La literatura sobre la identificación de subcentros ha evolucionado en las últimas décadas, ganando progresivamente rigor estadístico y objetividad. A los trabajos de la década de los 80, en los que la delimitación de los subcentros venía determinada por criterios históricos, institucionales o administrativos (GREENE, 1980; GRIFFITH, 1981a y 1981b; ERICKSON & GENTRY, 1985; HEIKILA & *al.*, 1989, entre otros), le siguió, desde los trabajos seminales de McDONALD (1987) y GIULIANO & SMALL (1991), una literatura renovada (BOGART & FERRY, 1999; CERVERO, 1989; CERVERO & WU, 1997; CRAIG & NG, 2001; GIULIANO & *al.*, 2007; GORDON & RICHARDSON, 1996; GORDON & *al.*, 1989; McDONALD & McMILLEN, 1990; McDONALD & PRATHER, 1994; McMILLEN, 1996, 2001, 2003, 2004; McMILLEN & LESTER, 2003; McMILLEN & McDONALD, 1997, 1998; MUÑIZ & *al.*, 2003; READFEARN, 2007), que ha venido a revolucionar el trabajo empírico dirigido al análisis de la estructura del empleo urbano.

Las anteriores aproximaciones han permitido avanzar de forma significativa en el análisis de la estructura policéntrica de los sistemas urbanos contemporáneos. Sin embargo la mayor parte de la literatura empírica recientemente desarrollada adolece de una limitación fundamental: define los subcentros exclusivamente en virtud de la estructura de la densidad de empleo, minusvalorando lo que a nuestro juicio es el elemento esencial del policentrismo: la generación de *estructura urbana*. No basta con constatar la existencia de irregularidades en el patrón de densidades. Es necesario, además, que dichos nodos representen auténticos elementos vertebradores de subsistemas urbanos dentro de la estructura general de la metrópoli. Es decir, que los subcentros constituyan verdaderos polos de influencia y referencia del territorio que les rodea en los aspectos culturales, sociales y económicos; y que por tanto establezcan una dialéctica con él capaz de ser reflejada en flujos de interacción de energía, materia e información.

El presente artículo busca avanzar en una línea alternativa a la hasta ahora mayoritariamente desarrollada. Parte de una noción de policentrismo, en el que los nodos de empleo representan no sólo concentraciones singulares de trabajo sino también auténticos elementos vertebradores del sistema urbano (ROCA & *al.*, 2009). Se parte de la hipótesis, por tanto, que los centros y subcentros configuran la me-

trópoli como una *ciudad de ciudades* (NEL·LO, 2002). Un área metropolitana compuesta por subsistemas urbanos caracterizados por un mayor o menor monocentrismo, policentrismo o dispersión.

Este artículo tiene, en consecuencia de lo anterior, el objetivo central de aplicar, de forma comparada para los casos de Madrid y Barcelona, una nueva metodología de delimitación y análisis de la estructura policéntrica de las regiones metropolitanas. Una metodología que, a diferencia de las aproximaciones al uso, permite la delimitación rigurosa de los subsistemas urbanos estructurados en torno a «cabeceras» y que, de forma derivada, posibilita el contraste de que esas cabeceras representan máximos locales de densidad y de empleo y, por tanto, verdaderos subcentros. La metodología desarrollada permite no sólo identificar los subcentros, así como las unidades funcionales a ellos asociados, sino a su vez entender la diferente estructura metropolitana de Madrid y Barcelona. En este sentido irrumpe una lectura de los territorios de ambas metrópolis que trasciende la perspectiva ofrecida por la mayoría de los trabajos especializados.

## 2. El ámbito de estudio: los sistemas metropolitanos de Madrid y Barcelona

A fin de abordar de forma rigurosa el análisis de la estructura urbana de Madrid y Barcelona es preciso, antes de nada, definir el ámbito espacial objeto de estudio, el cual no puede ser otro que el correspondiente a las áreas metropolitanas de ambas ciudades. Sin embargo esta tarea no está en absoluto desprovista de complejidad. No existe un consenso claro acerca de las delimitaciones metropolitanas en España (para una exposición detallada de las mismas, véase ROCA 2003, así como FERIA 2010). Concretamente, tanto en Barcelona como en Madrid, desde la primigenias delimitaciones de mediados del siglo pasado, se han sucedido multitud de ámbitos espaciales de referencia (véase, a modo de ejemplo, las Figs. 1 y 2), algunos de carácter administrativo (como la llamada *región metropolitana de Barcelona* —RMB— o la Comunidad de Madrid), otros resultado de metodologías no siempre explícitas.

<sup>1</sup> En la metodología de delimitación metropolitana del Censo americano se reconoce la existencia de áreas policéntricas, incorporando, dentro de las áreas consolidadas, las

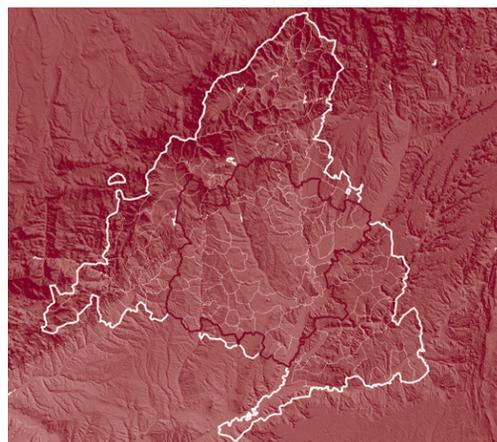


Fig. 1/ Madrid (CCAA-ámbito Ministerio de Vivienda)

Fuente: Elaboración propia



Fig. 2/ Barcelona (RMB-CMB)

Fuente: Elaboración propia

De forma más sistemática, los investigadores del Centro de Política de Suelo y Valoraciones de la UPC propusieron la aplicación de la metodología del Censo americano para la delimitación del área metropolitana de Barcelona (ROCA & CLUSA, 1997), extendida más adelante (CPSV, 2001) al conjunto de metrópolis españolas de más de 500.000 habitantes. Dicha metodología, junto a la delimitación de los correspondientes sistemas metropolitanos (las llamadas áreas metropolitanas *consolidadas* —CMA— en la metodología del Censo americano), permitió avanzar en el análisis de la *estructura* de las mismas, al detectar áreas metropolitanas *primarias*<sup>1</sup> (PMA), configuradoras del conjunto consolidado. El resultado de dicha metodología puede observarse en las Figs. 3, 4 y 5.

áreas metropolitanas primarias, las cuales cumplen con los requisitos del Censo (cabecera de >50.000 habitantes, etc.) pero se integran en áreas más amplias.

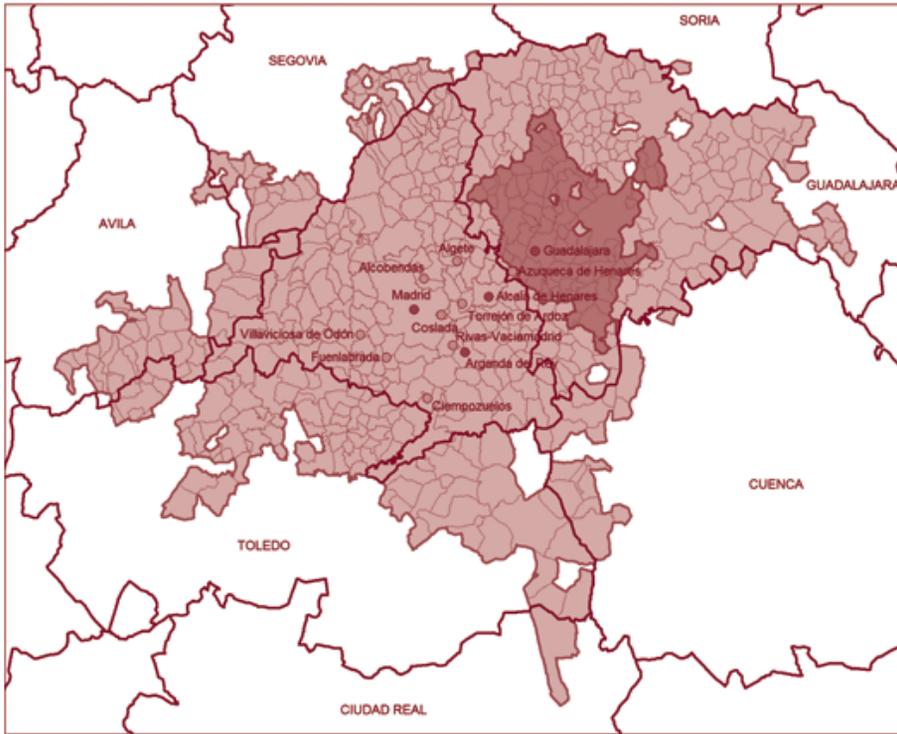


FIG. 3/ CMA de Madrid

Fuente: CPSV

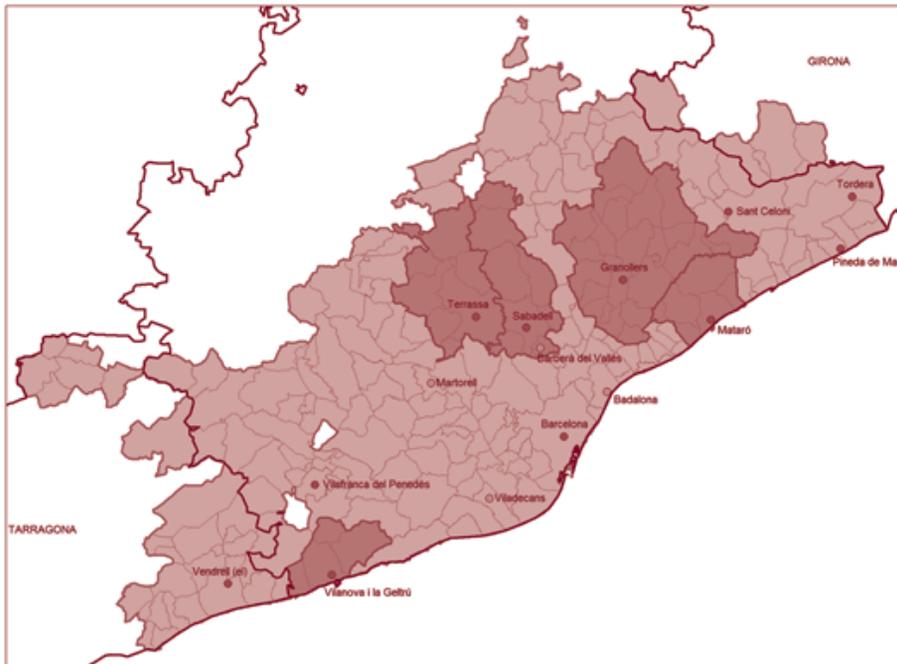


FIG. 4/ CMA de Barcelona

Fuente: CPSV

Fig. 5/ Indicadores principales de las AM de Madrid y Barcelona

AM	Número de municipios	Superficie (km2)	Población (2001)	Densidad Hab./km2
Barcelona	227	4.796	4.542.509	947,15
Madrid	609	27.581	5.853.263	212,22

Fuente: CPSV y Padrón (INE, 2001)

El análisis comparado de dichas AM de Barcelona y Madrid, delimitadas por la metodología del Censo americano, destaca por la muy diferente estructura de ambas metrópolis. No sólo en cuanto a la magnitud de las mismas (más de cinco veces más extensa Madrid que Barcelona; un millón trescientos mil habitantes más), sino también por su composición interna: Madrid tan sólo poseería una PMA (Guadalajara), frente a Barcelona, con cinco áreas primarias (Sabadell, Terrassa, Granollers, Mataró y Vilanova).

Dicho análisis permite entrever, por tanto, dos realidades urbanas muy diferenciadas. Más dispersa Madrid que Barcelona. Más compleja y policéntrica ésta última.

Sin embargo es difícil encontrar un mínimo consenso técnico acerca de la validez de los ámbitos metropolitanos anteriores. Si bien es cierto que en el caso de Barcelona el resultado puede ser básicamente aceptado<sup>2</sup>, acercándose de forma significativa al ámbito de planeamiento territorial metropolitano, la RMB, ampliado por el sistema del Baix Penedès (con El Vendrell como núcleo más significativo), en el caso de Madrid (con una extensión significativamente superior a la de la Comunidad Autónoma), difícilmente puede ser aceptada la delimitación obtenida en base a la metodología del Censo USA.

La metodología de delimitación basada en el Censo americano deviene demasiado sensible en el borde metropolitano, especialmente en el caso de municipios de escasa población, en los que deficiencias en la información censal, provocadas principalmente por ocultaciones de origen fiscal, pueden dar como resultado una acusada exageración del proceso de metropolitización. Ello ha llevado a diversos autores a realizar detallados análisis de sensibilidad de las mencionadas

delimitaciones metropolitanas, utilizando a tal efecto ya sea la conjunción de diversas metodologías (ROCA, 2003), ya a la utilización de diversos umbrales del *commuting* residencia-trabajo (CASTAÑER & al., 2000; MARMOLEJO & al., 2010). Sin embargo dichos estudios no han llevado a conclusiones definitivas acerca de cómo llegar a establecer criterios objetivos en la estimación de los umbrales de interacción que conduzcan a delimitaciones metropolitanas estables y consolidadas, por lo que trabajos ulteriores necesitan ser desarrollados.

La metodología aquí propuesta pretende construir el sistema metropolitano de forma alternativa. Se sugiere un procedimiento dirigido a la comprensión de las áreas metropolitanas como verdaderas *ciudades de ciudades*, superando el entendimiento de las mismas como simples sistemas de atracción de uno (o varios) centro(s) hacia *hinterlands* más o menos extensos. En este sentido el procedimiento propuesto puede caracterizarse como una metodología *down-up*, esto es, que parte de las relaciones intensas en las cortas distancias, los *sistemas urbanos*, para agregarse en estructuras progresivamente más amplias, las *áreas metropolitanas*, hasta llegar incluso a la escala *regional* (véase ROCA & MOIX, 2005).

Dicha metodología puede ser resumida por medio de los siguientes elementos fundamentales:

- Dada la matriz de flujos residencia/trabajo de base municipal, se calcula la matriz origen/destino,  $i/j$ , de «valores de interacción» por medio de la ecuación:

$$VI_{ij} = \frac{F_{ij}^2}{POR_i \cdot LTL_j} + \frac{F_{ji}^2}{POR_j \cdot LTL_i}$$

<sup>2</sup> Aún así, el resultado de la delimitación tiende a exagerar los límites metropolitanos, al incluir abundantes municipios periféricos de escasa población, pero con un nivel no despreciable de *commuting* con el centro. Así, el ám-

bito delimitado incluye del orden de un 50% más de superficie respecto a la comúnmente aceptada Región Metropolitana de Barcelona.

- Donde  $V_{ij}$  es el valor de interacción entre el municipio  $i$  y  $j$ ,  $F_{ij}$  y  $F_{ji}$ , los flujos de  $i$  a  $j$  y de  $j$  a  $i$ , respectivamente,  $POR_i$  y  $POR_j$ , la población ocupada residente de ambos municipios, y  $LTL_i$  y  $LTL_j$  los lugares de trabajo localizados en esos mismos municipios.
- Posteriormente se agregan los municipios en *protosistemas* en virtud de su máximo valor de interacción, de forma que esos protosistemas se cierran tan solo en el caso de que todos los municipios tengan su máximo valor de interacción con otro municipio del protosistema y que el conjunto sea físicamente contiguo.
- Los protosistemas se consolidan en *sistemas urbanos* en caso de que la *autocontención*<sup>3</sup> sea igual o supere el 50%, puesto que se entiende que sólo puede llamarse «ciudad» a aquellos sistemas urbanos capaces de retener al menos un 50% de la población ocupada residente<sup>4</sup>. Dichos sistemas urbanos se entiende configuran las *ciudades reales*, más allá de los límites municipales.

- A continuación esos sistemas urbanos se agregan nuevamente en función a su máximo valor de interacción, conformando estructuras territoriales cada vez más extensas, que a determinada escala puede entenderse representan *áreas metropolitanas*. A los efectos de este trabajo se ha escogido el valor de interacción del 1 por mil, como elemento determinante de identificación metropolitana.

Lo anterior permite la delimitación de los protosistemas, sistemas urbanos consolidados, así como las áreas metropolitanas de Madrid y Barcelona.

Por lo que respecta a la delimitación metropolitana, las FIGS. 6 y 7 adjuntas nos muestran los resultados para ambas regiones urbanas. El sistema metropolitano de Madrid (ver FIG. 8) se cierra, al 1 por mil de valor de interacción, con 180 municipios, con 7.198 km<sup>2</sup>, y 5.439.588 habitantes (2001), muy por debajo, especial-



FIG. 6/ Sistema metropolitano de Madrid

Fuente: Elaboración propia.

<sup>3</sup> Se entiende por autocontención el porcentaje de población ocupada residente (POR) que trabaja en el propio municipio (o protosistema).

<sup>4</sup> Ese 50% es la única condición impuesta a los sistemas urbanos, junto con la continuidad. Por tanto no se impone ninguna condición administrativa del tipo de umbral mínimo de población o LTL.



FIG. 7/ Sistema metropolitano de Barcelona

Fuente: Elaboración propia.

FIG. 8/ Sistemas metropolitanos de Barcelona y Madrid

	Superficie (km <sup>2</sup> )	Número municipios	Número protos	Nº protos consolidados	Población 2001	Población 2009	POR	LTL	RW	Autocon-tención
Barcelona	3.744	184	44	24	4.530.254	5.212.516	1.881.656	1.903.795	1.854.082	98,5%
Madrid	7.198	180	32	8	5.439.588	6.523.904	2.351.731	2.428.364	2.307.208	98,1%

Fuente: Elaboración propia, Censo de Población (INE, 2001) y Padrón (INE, 2001 y 2009)

mente en superficie, de la delimitación establecida en base a los criterios del Censo norteamericano. Por su parte la delimitación del AM de Barcelona se cierra con 184 municipios, 3.744 km<sup>2</sup>, 4.530.254 habitantes (2001), acercándose mucho más al resultado obtenido anteriormente, especialmente en población.

Entendemos que estas delimitaciones se acercan bastante a la realidad metropolitana comúnmente aceptada de ambas capitales. El sistema de Barcelona es muy similar a la llamada Región Metropolitana (RMB), ámbito de la planificación metropolitana, *veguería* establecida por el reciente Estatuto de Autonomía<sup>5</sup>. Por su parte el área madrileña no llega a ago-

tar la Comunidad de Madrid, extendiéndose, eso sí, hasta Guadalajara<sup>6</sup>, hecho reconocido por una parte significativa de especialistas (véase el número 14 de la revista *Urban* dedicado a Madrid-Región).

### 3. Subcentros metropolitanos: primeras aproximaciones

A fin de intentar avanzar en la caracterización de la estructura metropolitana de Madrid y Barcelona, se abordarán a continuación algunas de las principales metodologías utilizadas para la detección de subcentros:

<sup>5</sup> El AM de Barcelona no incluiría, desde esta perspectiva los sistemas urbanos de Manresa, Vic e Igualada, que son las siguientes incorporaciones en el árbol jerárquico de agregación por el valor de interacción. De la misma forma, los sistemas de Lleida, Tarragona-Reus y Girona, tampoco formarían parte de la citada área metropolitana.

<sup>6</sup> De igual forma, el AM de Madrid no incluiría los sistemas urbanos de Aranjuez ni de Toledo, que se agregarían a continuación a Madrid, si se dejase iterar más allá del 1 por mil.

- La primera, en virtud a criterios a-geográficos de *umbrales de densidad y empleo*. Así, por ejemplo, siguiendo a GARCÍA-LÓPEZ (2007), serían subcentros los municipios con una determinada masa crítica de LTL (que se establece en un 1% del conjunto metropolitano), así como caracterizados por una densidad de trabajo superior a la media.
- La segunda, en función a la *distribución espacial del «manto» de densidades de empleo* en un modelo unidimensional, basado en la distancia al centro metropolitano (McDONALD & PRATHER, 1994). Serían subcentros, en esta aproximación, los «picos» estadísticamente relevantes en dicho manto de densidades.
- Y la tercera, implícita en la metodología del Censo americano de delimitación de áreas metro y micropolitanas (BURNS & al. 2001), en virtud a la *relación funcional residencia/trabajo*, matizada con la condición de masa crítica de los candidatos, superior a 10.000 lugares de trabajo, en la que los subcentros emergerían en tanto en cuanto entidades espaciales de concentración de empleo capaces de generar procesos de atracción de ocupados residentes en otros lugares.

La aplicación de la primera de esas aproximaciones, la *metodología de los umbrales de densidad y empleo*, no confirma una diferencia fundamental en las estructuras de ambas metrópolis (ver FIG. 9), si bien sugiere que Barcelona, con 12 subcentros (en tramado oscuro en la FIG. 10), parece denotar una mayor tendencia al policentrismo que Madrid (en tramado claro), con sólo 8 candidatos.

FIG. 9/ Candidatos a subcentros según el criterio de los umbrales de densidad y empleo

Área metropolitana	Subcentro	LTL 2001	Densidad LTL
Barcelona	Barcelona	779.238	11.493,36
	Sabadell	69.562	5.470,00
	Terrassa	67.753	3.737,68
	Hospitalet	66.667	7.269,33
	Badalona	54.998	5.307,15
	Mataró	42.429	5.277,90
	Prat de Llobregat (el)	31.863	2.948,91
	Granollers	31.776	5.056,65
	Cornellà de Llobregat	27.809	6.183,90
	Martorell	24.749	4.165,10
	Sant Boi de Llobregat	23.561	3.362,97
	Sta Coloma de Gramenet	19.249	5.520,22
Madrid	Madrid	1.562.451	7.828,70
	Alcobendas	54.787	3.415,22
	Fuenlabrada	48.835	3.272,25
	Móstoles	41.081	3.499,83
	Torrejón de Ardoz	38.325	4.043,57
	Alcorcón	37.902	3.550,87
	Coslada	27.372	3.560,35
	Tres Cantos	25.163	4.277,24

Fuente: Elaboración propia y Censo de Población (INE, 2001)

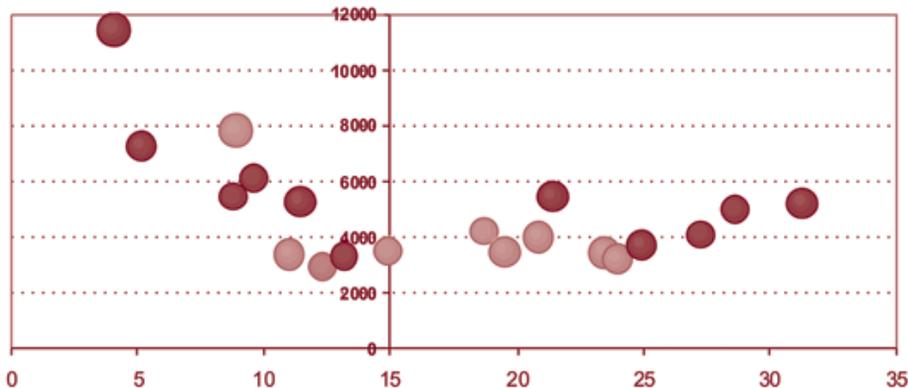


FIG. 10/ Densidad vs. distancia al CBD de los candidatos a subcentro según el criterio de los umbrales de densidad y empleo

Nota: El eje de las abscisas representa la distancia al CBD de Madrid o de Barcelona de los candidatos a subcentro. Por su parte el eje de las ordenadas representa la densidad de empleo por km2 de superficie urbanizada.

Fuente: Elaboración propia y Censo de Población (INE, 2001)

La aparente disimilitud entre Barcelona y Madrid (12 frente a 8 subcentros) resultante del análisis anterior viene muy suavizada si se considera la distancia al CBD. Sólo 5 de los subcentros de Barcelona, según la aproximación de los «cut-off» se situaría a más de 15 km del CBD, por otros 5 de Madrid. La diferencia entre ambas metrópolis derivaría, desde esta perspectiva, tan sólo del tamaño desproporcionado del municipio de la capital de España (600 km<sup>2</sup>) respecto al de Barcelona (100 km<sup>2</sup>). Pero si esa diferencia se elimina mediante la consideración de las distancias superiores a 15 km, las dos áreas metropolitanas manifestarían una estructura similar. Cabe concluir, por tanto, que la primera de las metodologías ensayadas, a pesar de que sugiere un policentrismo algo más significativo en Barcelona que en Madrid, no permite constatar diferencias estructurales significativas entre ambas regiones funcionales.

A fin de proceder a un contraste alternativo a la anterior aproximación, se ensaya una metodología de delimitación de los subcentros basada en el análisis de la *morfología del*

*manto de densidades de empleo*. Dicha metodología, que ha tenido una amplia incidencia en la literatura empírica (hasta el punto de convertirse en el modelo *estándar* utilizado en el análisis y detección de subcentros), se construye mediante la función exponencial negativa de la distancia del modo que sigue:

$$\ln \text{Densidad LTL} = b \cdot \text{Distancia CBD} + k$$

Dicho modelo, a diferencia del anterior, considera como parámetro fundamental la distribución de la densidad de empleo en función a la distancia al CBD, considerando como candidatos a subcentro las entidades territoriales (municipios) con un residuo positivo superior a una desviación estándar, cuando se ajusta la anterior ecuación por medio de un modelo de regresión de mínimos cuadrados (OLS).

Las Figs. 11, 12 y 13 resumen los resultados del modelo. Como se puede observar, el área metropolitana de Barcelona denota la existencia de 25 candidatos a subcentro, por 27 la de Madrid.

Fig. 11/ Candidatos a subcentro mediante la metodología estándar

Área metropolitana	Subcentro	LTL	Densidad LTL	Distancia CBC
Barcelona	Barcelona	779.238	9.524,31	4,00
	Sabadell	69.562	4.572,55	21,36
	Terrassa	67.753	3.336,77	24,90
	Hospitalet	66.667	5.332,98	5,14
	Badalona	54.998	4.426,10	11,43
	Mataró	42.429	4.538,99	31,26
	Granollers	31.776	4.377,92	28,62
	Cornellà de Llobregat	27.809	4.847,59	9,56
	Martorell	24.749	4.221,87	27,26
	Vilanova i la Geltrú	19.343	1.680,11	46,17
	Vilafranca del Penedès	14.031	4.343,80	46,21
	Sant Andreu de la Barca	12.211	3.017,77	22,21
	Blanes	10.244	1.961,19	64,50
	Polinyà	7.298	3.294,27	22,34
	Pineda de Mar	6.806	1.954,96	53,48
	Malgrat de Mar	5.609	2.701,58	59,53
	Calella	5.475	4.259,65	50,86
	Sant Sadurní d'Anoia	5.078	2.717,62	41,09
	Canet de Mar	2.884	2.122,53	43,82

Continua

FIG. 11/ Candidatos a subcentro mediante la metodología estándar. (continuación)

Área metropolitana	Subcentro	LTL	Densidad LTL	Distancia CBC
Barcelona	Tossa de Mar	1.901	564,14	84,69
	Hostalric	1.550	1.452,16	61,35
	Breda	1.166	1.282,55	58,27
	Llorenç del Penedès	685	884,32	64,03
	Pla del Penedès (el)	212	845,43	48,17
	Salomó	159	1.334,57	83,99
Madrid	Madrid	1.562.451	5.504,33	8,88
	Alcalá de Henares	58.929	2.053,61	29,90
	Fuenlabrada	48.835	3.233,33	23,90
	Móstoles	41.081	3.002,42	23,40
	Torrejón de Ardoz	38.325	1.622,85	20,80
	Alcorcón	37.902	2.945,85	19,46
	Guadalajara	27.461	2.721,43	54,57
	Tres Cantos	25.163	3.843,90	18,70
	Arganda del Rey	21.486	1.627,70	32,12
	Parla	14.168	3.173,34	28,79
	Collado Villalba	13.594	1.492,52	39,54
	Azuqueca de Henares	8.820	1.548,79	42,55
	El Escorial	5.029	1.018,72	48,47
	Ajalvir	3.535	1.508,51	24,67
	Meco	2.281	1.235,49	39,12
	Alovera	2.081	1.067,68	48,12
	Añover de Tajo	1.204	648,93	61,87
	Marchamalo	1.171	2.148,28	59,01
	Lominchar	859	1.347,90	52,00
	Alameda de la Sagra	814	895,52	58,68
	Recas	764	805,90	55,88
	Yunquera de Henares	408	625,19	67,73
	Horche	375	755,32	64,59
Chozas de Canales	271	580,37	61,04	
Yebes	138	3.419,41	60,93	
Alarilla	56	319,42	81,19	
Lupiana	38	473,35	68,09	

Nota: En rojo los candidatos a subcentro con una masa crítica inferior a 2.000 LTL.

Fuente: Elaboración propia y Censo de Población (INE, 2001)

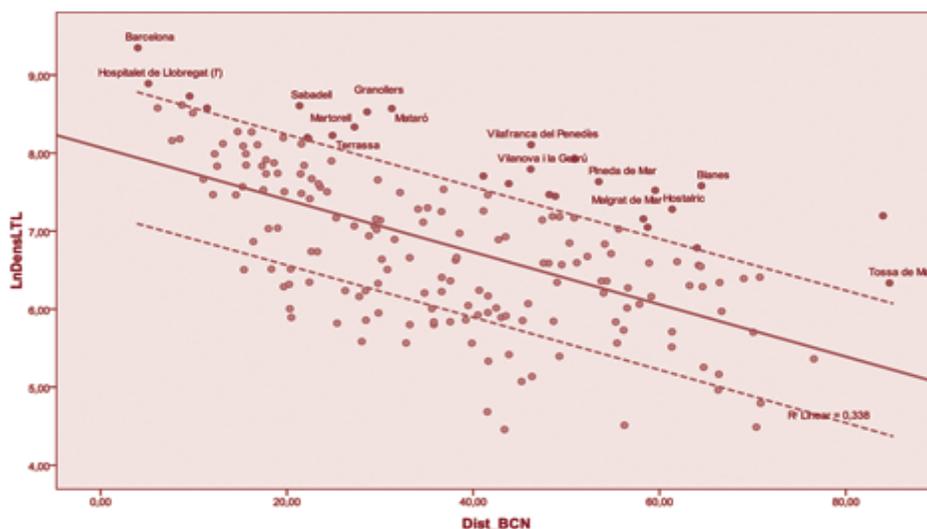


Fig. 12/ **Barcelona, candidatos a subcentro según el modelo estándar**

Fuente: Elaboración propia a partir del Censo de Población (INE, 2001)

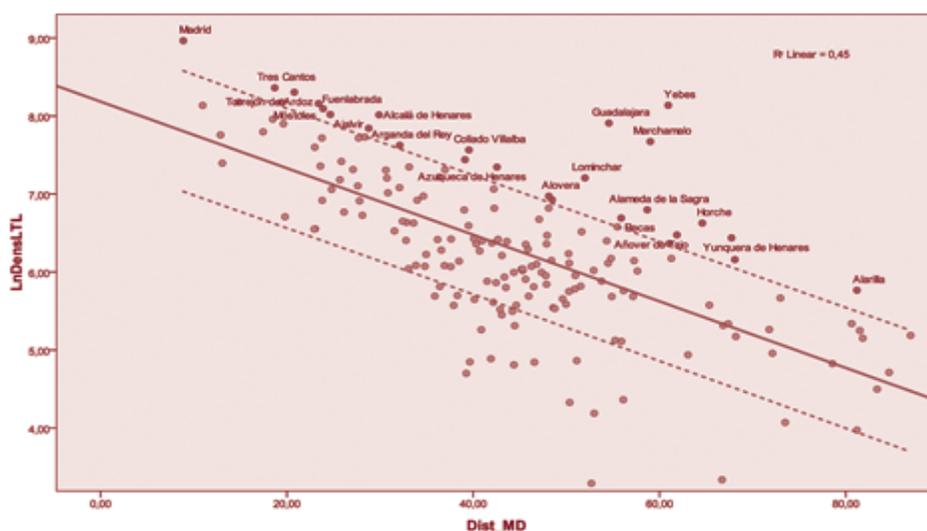


Fig. 13/ **Madrid, candidatos a subcentro según el modelo estándar**

Fuente: Elaboración propia a partir del Censo de Población (INE, 2001)

Una vez excluidos los municipios con una masa crítica pequeña ( $< 2.000$  LTL)<sup>7</sup>, permanecen 18 candidatos en Barcelona, por 16 en Madrid, lo que vuelve a ratificar la similitud estructural existente entre ambas metrópolis, por lo que respecta a la identificación de subcentros. Las

FIGS. 12 y 13 presentan los gráficos correspondientes de la densidad de empleo del conjunto de municipios en virtud a la distancia al CBD.

Cabe concluir, por tanto, que el análisis del manto de densidades no parece ofrecer diferen-

<sup>7</sup> A pesar de su extraordinaria consistencia y elegancia, el modelo estándar manifiesta problemas importantes para la detección de subcentros en las coronas externas, tendiendo a identificar como tales a municipios con escaso suelo urbanizado. La adopción de una medida «administrativa»,

como la de los 2.000 LTL (aproximadamente un 1 por mil de la oferta de empleo de las respectivas áreas metropolitanas), resta sin duda elegancia al modelo, pero lo convierte en más efectivo.

cias estructurales en la caracterización mono/policéntrica de los sistemas metropolitanos de Madrid y Barcelona. Como en el caso de aproximación basada en umbrales de densidad y empleo, ambas metrópolis aparecen con un nivel relativamente similar de subcentros.

Finalmente, y por tal de contrastar de nuevo el grado de similitud/disimilitud de las respectivas

estructuras metropolitanas de ambas capitales, se desarrolla una metodología basada en la *relación funcional residencia/trabajo*, siguiendo el criterio del Censo estadounidense de *delimitación de áreas metro y micropolitanas*<sup>8</sup>. Desde esta perspectiva, ambas metrópolis manifiestan un número similar de candidatos a subcentro: 14 en el caso de Barcelona y 12 en el Madrid (ver FIG. 14):

FIG. 14/ Candidatos a subcentros según el criterio del Censo USA (centros metro y micropolitanos)

Área Metropolitana	Subcentro	Población «subcentro»	N. Municipios dependientes	Ratio «cabecera»	Autocontención
Barcelona	<b>Barcelona</b>	1.505,325	78	0,8128	0,8128
	Badalona	208.994	3	0,3236	0,4254
	<b>Sabadell</b>	185.170	6	0,0702	0,6082
	<b>Terrassa</b>	174.756	7	0,0652	0,6985
	<b>Mataró</b>	107.191	5	0,0654	0,7081
	Viladecans	57.132	2	0,2126	0,3311
	<b>Granollers</b>	53.681	5	0,0733	0,5458
	<b>Vilanova</b>	53.421	3	0,1139	0,6265
	Vilafranca	30.807	15	0,0528	0,5809
	Barberà (Sab)	26.741	2	0,1976	0,1976
	Vendrell	23.774	5	0,0743	0,5823
	Martorell	22.537	2	0,1007	0,4774
	Pineda	20.871	2	0,0677	0,5805
	Sant Celoni	12.839	7	0,0535	0,6492
Tordera	10.105	2	0,0395	0,5558	
Madrid	<b>Madrid</b>	2.957.058	316	0,8517	0,8517
	Fuenlabrada	178.221	2	0,3816	0,2841
	Alcalá	172.418	18	0,2397	0,5091
	Torrejón	97.546	3	0,2872	0,4321
	Alcobendas	92.537	2	0,3757	0,3905
	Coslada	78.774	3	0,4693	0,3063
	<b>Guadalajara</b>	67.640	88	0,0845	0,6725
	Rivas-Vaciamadrid	32.228	2	0,5909	0,2312
	Arganda	32.157	6	0,1757	0,6777
	Villaviciosa	20.832	2	0,3321	0,2703
	Azuqueca	20.383	4	0,1397	0,4498
	Algete	15.360	2	0,3532	0,2981
Ciempozuelos	14.170	2	0,2403	0,4443	

Nota: Resaltado en rojo los núcleos que no cumplen las dos condiciones mínimas para constituir subcentros consolidados. En gris los que no cumplen una de las dos condiciones. En negrita los municipios cabecera de áreas metropolitanas primarias.

Fuente: Elaboración propia a partir del Censo de Población (INE, 2001)

<sup>8</sup> Las áreas micropolitanas exigen un municipio central de más de 10.000 habitantes, frente a las áreas metropolitanas, que requiere que el centro sea de más de 50.000. Son áreas micropolitanas, por tanto, las que teniendo un

centro de más de 10.000 residentes reciben flujos de otros municipios limítrofes en una proporción igual o superior al 15% de la POR de esos municipios.

- En el caso de Barcelona, aparecen como núcleos vertebradores del territorio: un municipio del entorno inmediato (10-15 km: Badalona), dos de la primera corona (15-20 km: Viladecans y Barberà), cuatro de la segunda corona (de 20 a 30 km: Sabadell, Terrassa, Martorell y Granollers), uno de la tercera (30-40 km: Mataró), tres de la cuarta (40 a 50 km: Vilanova, Vilafranca y Sant Celoni), y tres de la quinta corona (>50 km: Pineda, Tordera y El Vendrell).
- En el caso de Madrid, dos del entorno inmediato (Alcobendas y Coslada), ninguno de la primera corona, seis de la segunda (Torrejón, Rivas-Vaciamadrid, Fuenlabrada, Algete, Villaviciosa de Odón, Alcalá), dos de la tercera (Ciempozuelo, Arganda), uno de la cuarta (Azuqueca) y uno de la quinta (Guadalajara). La FIG. 15 resume la localización de los candidatos a subcentro delimitados en virtud de la metodología del Censo USA (tramado claro = Madrid, tramado oscuro = Barcelona).

Por lo que respecta a la consideración de candidatos metropolitanos (> 50.000 habitantes), o micropolitanos (entre 10.000 y 50.000), ambos sistemas obtienen resultados igualmente similares: mientras Barcelona denota 7 candidatos (además de la capital) para constituir *áreas metropolitanas primarias* (Badalona, Sabadell, Terrassa, Mataró, Viladecans, Granollers y Vilanova), Madrid revela 6 (Fuenlabrada, Alcalá, Alcobendas, Coslada y Guadalajara). Por su parte los candidatos micropolitanos (7 en Barcelona, 6 en Madrid) muestran también claras regularidades.

Atendiendo al número de polaridades obtenidas mediante esta metodología, existe un

marcado equilibrio en el número de núcleos vertebradores del territorio. Desde esta perspectiva, *Madrid y Barcelona tendrían un grado similar de policentrismo*.

Las tres perspectivas hasta ahora analizadas parecen constatar una cierta identidad, o similitud al menos, en las estructuras espaciales de Madrid y Barcelona. Si bien esta última manifestaría cuotas de policentrismo algo superiores a las de Madrid (12 frente a 8 en la primera metodología, 18 frente a 16 en la segunda, así como 14 frente a 12 candidatos en la tercera), bien podría afirmarse, a la luz de los análisis precedentes, que *las áreas metropolitanas de Madrid y Barcelona se caracterizan por una estructura policéntrica similar*.

Sin embargo, un análisis más profundo de la movilidad residencia/empleo, inherente a la tercera de las aproximaciones ensayadas, sugiere diferencias significativas no reveladas por la simple comparación entre candidatos a subcentro:

- En primer lugar la *diferente magnitud del centro metropolitano*. Madrid municipio no sólo es significativamente más grande que Barcelona (casi duplicando tanto en población como en lugares de trabajo a la ciudad condal), sino que atrae una proporción mucho más acusada de trabajadores de los municipios de su área de influencia (316 municipios envían a trabajar al municipio de Madrid más de un 15% de su población residente por sólo 78 al de Barcelona). Esa mayor capacidad atractora del municipio central sugiere un mayor grado de monocentrismo en el sistema metropolitano de Madrid respecto al de Barcelona.

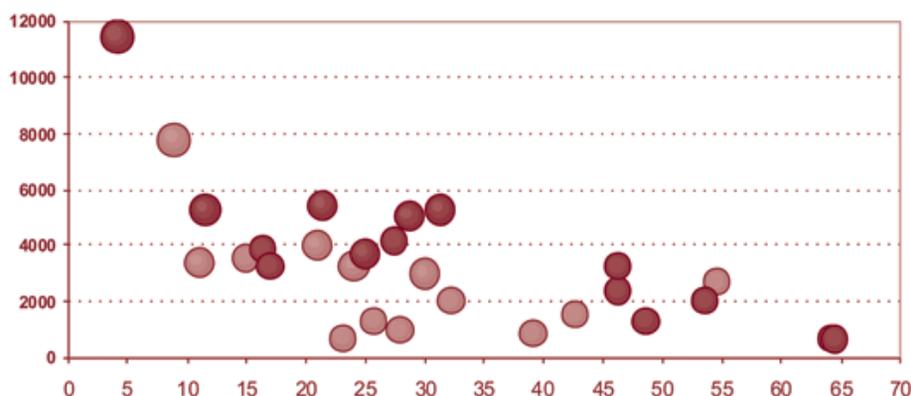


FIG. 15/ Densidad vs. distancia al CBD de los candidatos a subcentro según el criterio del Censo USA (centros metro y micropolitanos)

Fuente: Elaboración propia y Censo de Población (INE, 2001)

- En segundo lugar cabe destacar que en el caso de Madrid de los 6 candidatos a encabezar áreas metropolitanas primarias, sólo 1 (Guadalajara) obtiene verdadera naturaleza. El resto no cumple la doble condición de autonomía respecto al centro metropolitano (al enviar más de un 15% de su población ocupada residente a trabajar a Madrid-municipio), ni soporta (con la excepción de Alcalá) el criterio de autocontención mínima deseable (un 50%) de su fuerza de trabajo. En cambio en Barcelona 5 de los 7 candidatos (Sabadell, Terrassa, Mataró, Granollers y Vilanova), encabezan áreas metropolitanas primarias. La comparación de las FIGS. 3 y 4 es ilustrativa a este respecto.
- Finalmente ninguno de los 6 candidatos a subcentros micropolitanos de Madrid cumple la doble condición exigida de autonomía respecto al centro ni de autocontención, frente a lo que sucede en el sistema de Barcelona, donde 5 de los 7 candidatos se confirman plenamente como subcentros micropolitanos.

El *commuting* residencia/empleo sugiere, por tanto, una estructura muy diferenciada entre las metrópolis de Madrid y de Barcelona. Acusadamente más monocéntrica la primera. Tendencialmente más policéntrica, la segunda. Veámoslo en detalle en el siguiente apartado.

#### 4. Análisis de las diferencias estructurales de las áreas metropolitanas de Madrid y Barcelona

A pesar de las similitudes formales obtenidas en el epígrafe anterior, el análisis en profundidad de la estructura espacial de las áreas metropolitanas de Madrid y Barcelona detecta diferencias fundamentales.

En primer lugar, y de forma muy acusada, cabe volver a insistir en el *diferente tamaño del centro en relación al conjunto de las respectivas metrópolis*. Si bien el área metropolitana de Madrid es relativamente más grande que la de Barcelona en relación a la oferta de empleo (un 27,55%), esa disimilitud corresponde, en

esencia, a la gran diferencia de rango existente entre los correspondientes municipios cabecera: 1.562.451 LTL Madrid, un 100% más que los 779.238 LTL de Barcelona.

La diferencia existente entre los *municipios centrales*, sin embargo, no da cuenta real de la estructura interna de ambas metrópolis. La superficie administrativa del municipio de Madrid (600 km<sup>2</sup>) no permite una comparación fidedigna con el de Barcelona (100 km<sup>2</sup>)<sup>9</sup>. Para proceder a una evaluación más eficiente se deberían comparar las *ciudades reales* de Madrid y Barcelona, lo que no es en absoluto sencillo:

- Una forma de abordar ese ejercicio puede consistir en comparar el municipio de Madrid no con el de Barcelona, sino con el conjunto de municipios que conforman el *continuo urbano* de la capital catalana<sup>10</sup>. Catorce municipios que, juntos, están lejos de alcanzar la oferta de empleo de la capital madrileña (1.053.712 LTL el continuo urbano de Barcelona, incluida la capital). Desde esta perspectiva, Madrid sería del orden de un 50% más grande que «Barcelona» (continuo urbano).
- Otra forma de comparar Madrid con Barcelona puede ser considerar el ámbito de la superficie administrativa (los 600 km<sup>2</sup> de Madrid), que, para el caso de la ciudad condal, representa considerar unos 40 municipios más cercanos por tal de igualar dicha superficie. O, mejor aún, el conjunto de municipios próximos a la capital catalana necesarios para completar los 200 km<sup>2</sup> de suelo urbanizado real que tiene el municipio de Madrid. En este segundo caso, sería preciso incluir 30 municipios para alcanzar la superficie artificializada de Madrid, obteniéndose así un número de empleos de 1.223.016, un 78,28% los LTL de la capital de España.
- Asimismo una tercera forma de comparar los referidos centros metropolitanos podría consistir en comparar los lugares de trabajo localizados a una distancia determinada del centro de la metrópoli. La FIG. 16 muestra los empleos localizados en Madrid y Barcelona a menos de 15 km<sup>11</sup>. En ese ámbito, la capital de España agrupa 1.698.031 lugares de trabajo, un 51,73% más que la ciudad condal.

<sup>9</sup> Cabe recordar que, en 1715, se suprimió el Consell de Cent, ámbito territorial del municipio de Barcelona, y que en su interior aparecieron, posteriormente, una treintena de municipios.

<sup>10</sup> Los municipios que conforman el continuo urbano de Barcelona son, además de la ciudad condal, Badalona, Santa Coloma de Gramenet, Sant Adrià del Besòs, Montgat, Tiana, l'Hospitalet, Esplugues, Cornellà, Sant Joan Despí,

Sant Just Desvern, el Prat, Sant Feliu y Molins de Rey. Catorce municipios que, juntos, alcanzan una masa crítica (1.053.712 empleos) así como una superficie urbanizada (138,9 km<sup>2</sup>) muy por debajo del municipio de Madrid.

<sup>11</sup> Aún desde esta perspectiva, la comparación no es evidente dada la existencia de mar en torno a Barcelona. 15 km son, potencialmente, más espacio disponible en Madrid que en la capital catalana.

El protagonismo de Madrid se hace aún más evidente si se comparan los *continuos urbanos* de ambas capitales. Los 16 municipios que conforman el continuo madrileño<sup>12</sup> agrupan 2.020.838 empleos, más que el conjunto del área metropolitana barcelonesa, y casi un 100% más que su aglomeración central (1.053.712). Proporción casi equivalente, como se ha indicado, a la existente entre los LTL de los municipios centrales.

Sea cual sea la relación existente entre las ciudades reales de Madrid y Barcelona, lo que si es evidente es que el peso de la «periferia» es mucho más significativo en este último caso, tal como pone de relieve la FIG. 17. El poderío del centro del área metropolitana de Madrid contrasta con el carácter capitidismínuido de su periferia, que tan sólo es capaz de ofertar

407.526 empleos, del orden de un 16,8% del total del área metropolitana. En cambio la periferia barcelonesa dobla en lugares de trabajo a la madrileña, con 850.083 LTL, un 44,7% del conjunto del sistema metropolitano barcelonés.

*Barcelona es, sin duda, una metrópoli más descentralizada que Madrid.* Si en los primeros 15 km de distancia al CBD, Madrid localiza un 51,73% más de lugares de trabajo que Barcelona, en la corona entre 15 y 30 km ambas áreas metropolitanas obtienen un «empate técnico» (con predominio, aún, de la capital española en un 3,23%), para pasar a dominar Barcelona tanto en la corona entre 30 y 45 km (un 5,00%), como, a pesar de Guadalajara, en la periferia superior a los 45 km (un 92,46% más Barcelona que Madrid).

FIG. 16/ Localización del empleo por coronas

	Madrid LTL	Madrid (m <sup>2</sup> )	Barcelona LTL	Barcelona (m <sup>2</sup> )	Ratio LTL
< 15 km	1.698.031	251,09	1.119.116	155,8	1,5173
15 a 30 km	517.973	225,76	501.779	216,87	1,0323
30 a 45 km	143.841	169,16	151.028	135,19	0,9524
> 45 km	68.519	98,4	131.872	158,73	0,5196
Área Metropolitana	2.428.364	744,41	1903795	666,59	1,2755

Fuente: Elaboración propia y Censo de Población (INE, 2001)

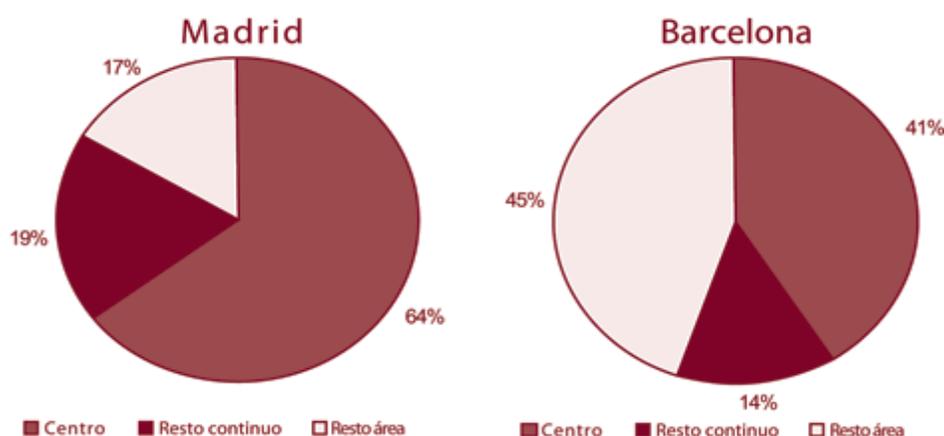


FIG. 17/ Centro y Periferia en las Áreas Metropolitanas de Barcelona y Madrid

Fuente: Elaboración propia y Censo de Población (INE, 2001)

<sup>12</sup> Dichos municipios son: Madrid, Alcorcón, Majadahonda, Pozuelo de Alarcón, Las Rozas, Ajalvir, Alcalá de Henares, Alcobendas, Boadilla del Monte, Coslada, Getafe, Leganés, Móstoles, San Fernando de Henares, Torrejón de Ardoz y Torreldones. Algunos de ellos a la muy lejana distancia del centro de Madrid de 29,9 km (Alcalá). Para la definición del continuo urbano de Madrid se han utilizado los datos de CORINE Land Cover 2000, habiéndose

excluido los municipios de Fuenlabrada, Galapagar, Hoyo de Manzanares, Paracuellos de Jarama y San Sebastián de los Reyes, los cuales, a pesar de ser conurbados a la capital, el continuo urbano no abrazaba el núcleo principal (por poner sólo un ejemplo, Fuenlabrada tenía en 2000, 0,53 km<sup>2</sup> conurbados, frente a una superficie artificializada del municipio de 15,10 km<sup>2</sup>).

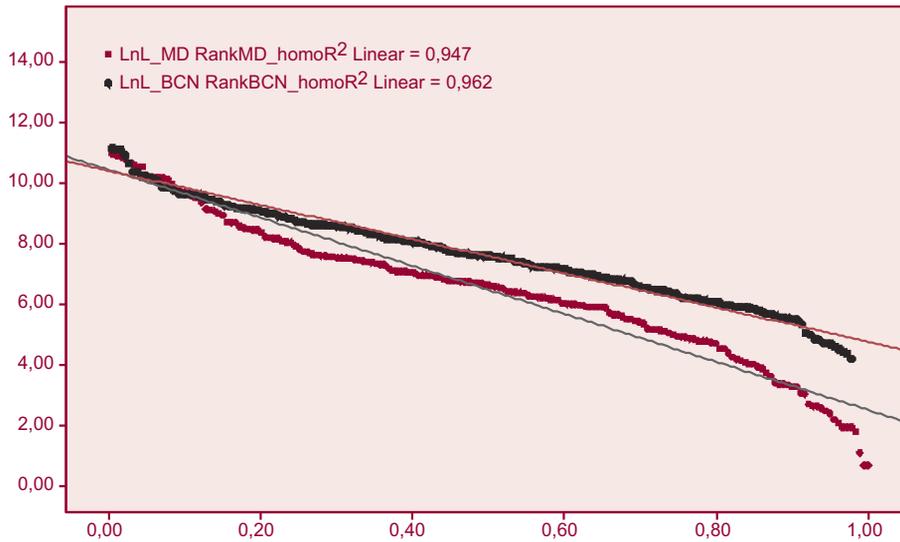


FIG. 18/ Lugares de trabajo para las áreas de Madrid y Barcelona

Nota: En el eje de las abscisas, los municipios ordenados por la magnitud de empleo. En el de las ordenadas, el logaritmo natural de los lugares de trabajo localizados.

Fuente: Elaboración propia y Censo de Población (INE, 2001)

Por idéntica razón, *Madrid es un área más macrocéfala que Barcelona*. La FIG. 18 muestra (en trama oscura, Barcelona, en trama clara, Madrid), ordenados por municipios, la oferta de lugares de trabajo. Como se puede observar, Barcelona, fuera del primer 10% de la distribución, se muestra claramente por encima de Madrid. La pendiente más acusada de esta última metrópoli, confirma la mayor macrocefalia de la capital de España, frente al sistema más «equitativo» de distribución de empleo del área metropolitana barcelonesa.

Cabe concluir, por tanto, que la similitud existente entre las áreas metropolitanas de Madrid y Barcelona, sugerida por las aproximaciones convencionales de detección de subcentros, es más aparente que real. La metrópoli madrileña se caracteriza por una acusada macrocefalia frente a la más descentralizada área barcelonesa. A su vez, la mayor parte de los candidatos a subcentro del sistema metropolitano de la capital de España muestran elementos de debilidad que permiten dudar de su papel de auténticos subcentros; aspecto que no ocurre en el caso del área metropolitana de la capital catalana. Es preciso, por tanto, buscar un sistema alternativo, capaz de detectar de forma más eficiente la estructura subyacente en las áreas estudiadas. Una metodología que permita entender las diferencias existentes entre ambas metrópolis.

## 5. Hacia una metodología alternativa de detección de subcentros

Constatada la dificultad de las metodologías convencionales para la identificación del fenómeno del policentrismo, analizaremos aquí la metodología basada en la relación funcional residencia/empleo por medio del concurso del *valor de interacción*, avanzada en el epígrafe 2 de este trabajo.

Dicha metodología, a diferencia de las hasta ahora ensayadas, revela una estructura muy diferenciada entre Madrid y Barcelona. La similitud aparente entre ambas metrópolis, sugerida por las aproximaciones clásicas antes ensayadas de delimitación de subcentros, no aparece de ninguna manera. Por el contrario (ver FIG. 19), emerge una imagen completamente diferente, donde el sistema metropolitano de Barcelona se caracteriza por un acusado policentrismo y complejidad, frente a un sistema madrileño caracterizado por el monocentrismo y la simplicidad.

El análisis de los resultados obtenidos, avanzados en la FIG. 8, evidencian (para un número equivalente de municipios, 184 para Barcelona, 180 para Madrid) que si bien el número de *protosistemas* no es muy diferenciado, 44

frente a 32 (un 37,5% superior en la AMB que en la AMM), cuando esos protosistemas se consolidan en verdaderos *sistemas urbanos*, emerge una estructura radicalmente diferenciada entre Madrid y Barcelona: tan sólo 8 sistemas en Madrid, por 24 en Barcelona, un 300% más.

El sistema urbano madrileño se cierra, al 50% de autocontención, absorbiendo 17 protosistemas<sup>13</sup>, y abarca 75 municipios, 4.851.250 habitantes (2001) y 2.198.392 lugares de trabajo (2001). Frente al mismo, el sistema urbano de Barcelona se integra de tan sólo 4 protosistemas<sup>14</sup>, 18 municipios, 2.450.517 habitantes y 1.064.543 LTL. La *ciudad real* de Madrid tiene, por tanto, una masa crítica un 100% superior a la de Barcelona, confirmándose así la ima-

gen que se tenía desde la perspectiva municipal y del continuo urbano.

El sistema metropolitano madrileño se completa con tan sólo otros 7 sistemas urbanos (ver Figs. 19 y 20). Dos de ellos (Añover y Lominchar), de pequeña masa crítica, se integran, en sucesivos procesos de interacción, a Illescas (provincia de Toledo), que actúa de subcabecera metropolitana en el lado Sur de Madrid. En el flanco Noroeste, Guadalajara (integrando 42 municipios) opera de modo similar, aunque a una escala mucho más acusada. Finalmente, en la Comunidad de Madrid tan sólo aparecen como sistemas urbanos reconocibles Alcalá, Arganda y San Lorenzo del Escorial. Un resultado realmente escaso para una metrópolitan significada como Madrid.

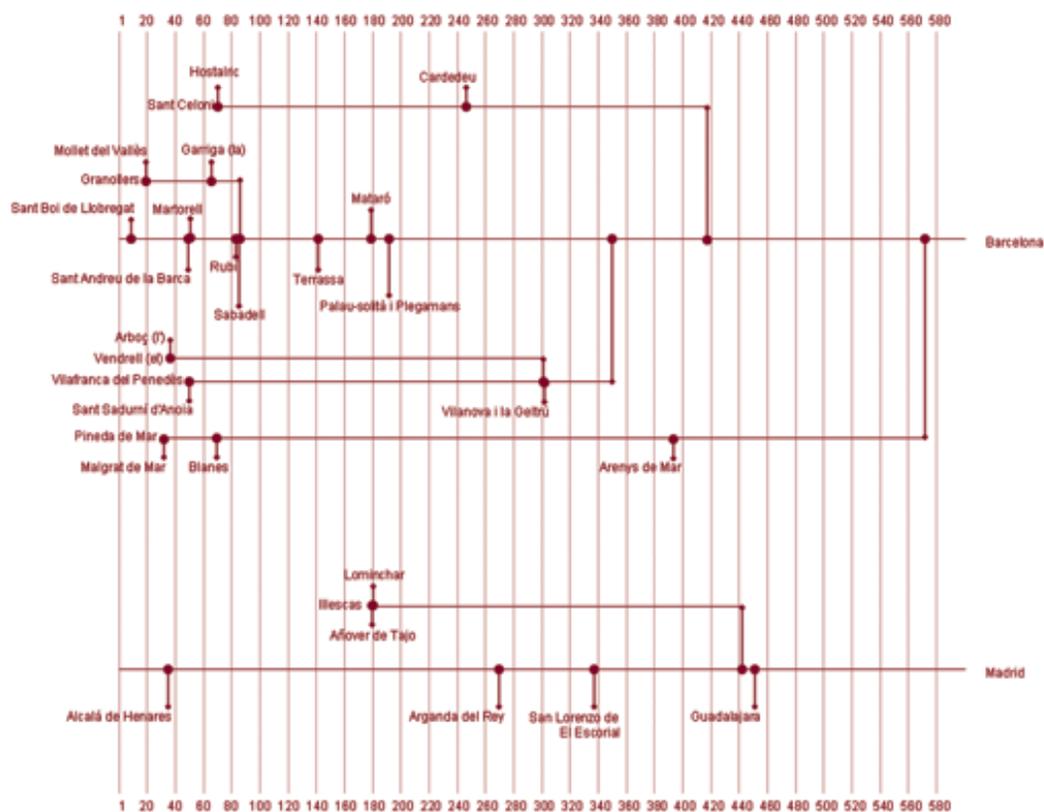


Fig. 19/ Árbol jerárquico de los sistemas urbanos integrantes de las áreas metropolitanas de Madrid y Barcelona

Fuente: Elaboración propia

<sup>13</sup> Dichos subsistemas son Alcobendas (81.707 LTL), Algete (8.410), Collado Villalba (18.003), Coslada (43.309), Fuenlabrada (60.258), Fuente el Saz de Jarama (2.575), Madrid (1.846.079), Manzanares el Real (1.941), Mejorada del Campo (8.569), Pinto (38.306), San Agustín del Guadalix (5.457), Torreldones 12.213, Valdemorillo

(3.692), Valdemoro (21.325), Villanueva de la Cañada (5.496), Villanueva de Perales (236) y Tres Cantos (40.816).

<sup>14</sup> Los protosistemas del sistema urbano de Barcelona son: Barcelona (965.646 LTL), Cornellà de Llobregat (55.912), Masnou (8.641), y Sant Feliu de Llobregat (34.344).

FIG. 20/ Sistemas Urbanos de las Áreas Metropolitanas de Madrid y Barcelona

AM	Nombre	Nº Municipios	Nº Protosistemas	Población 2001	LTL 2001	Autocontención
Madrid	<b>Madrid</b>	75	17	4.851.250	2.198.392	95,9%
	Alcalá	21	2	310.042	118.601	59,7%
	Guadalajara	42	2	113.123	44.470	73,7%
	Arganda	10	2	53.521	27.213	66,9%
	Illescas	12	4	36.586	16.127	55,2%
	San Lorenzo	8	3	49.807	15.617	52,2%
	Añover de T.	5	1	14.586	4.318	60,8%
	Lominchar	7	1	10.673	3.626	64,4%
Barcelona	<b>Barcelona</b>	18	4	2.450.517	1.064.543	87,2%
	Sabadell	11	2	383.721	157.173	69,0%
	Terrassa	6	1	192.483	74.292	73,0%
	Mataró	13	3	202.973	71.112	70,1%
	Sant Boi	8	2	236.664	68.998	50,4%
	Granollers	10	3	123.086	61.170	68,0%
	Mollet	9	3	120.717	60.651	54,4%
	Martorell	13	3	98.282	55.801	68,5%
	Rubí	2	1	116.128	54.828	54,0%
	Sant Andreu	9	4	94.287	40.893	50,6%
	Vilanova	5	1	105.704	35.284	69,8%
	Vilafranca	18	2	54.241	25.056	79,4%
	Blanes	3	1	57.438	21.778	81,9%
	Vendrell (el)	10	1	54.983	18.464	65,4%
	Palau	4	1	28.831	15.747	56,6%
	Pineda	4	2	40.410	14.053	68,0%
	Malgrat	4	1	31.985	12.279	65,3%
	Sant Celoni	10	2	29.618	11.216	70,7%
	Cardedeu	6	2	28.628	9.882	52,1%
	Arenys	4	1	30.810	9.297	58,3%
	Garriga (la)	2	1	17.863	7.717	53,5%
	Sant Sadurní	7	1	17.451	7.680	72,1%
	Arboç (l')	4	1	8.537	2.971	55,1%
Hostalric	4	1	4.897	2.910	58,2%	

Fuente: Elaboración propia, Censo de Población (INE, 2001) y Padrón (INE, 2001)

En Barcelona nos encontramos en el extremo opuesto: 23 sistemas urbanos caracterizados por un elevado nivel de complejidad (ver FIGS. 19 y 20). Auténticas ciudades en la ciudad metropolitana de Barcelona. Por este orden en función al valor de interacción, el sistema metropolitano de Barcelona se conforma agrupando

do a Sant Boi y Sant Andreu (con lo que se agota la entidad física del Llano de Barcelona, ámbito territorial natural de la ciudad condal), Martorell, el sistema dual Rubí-Sant Cugat, Sabadell (el segundo sistema urbano dentro del AMB por su masa crítica), Granollers (que integra previamente a Mollet y La Garriga), Te-

rrassa, Mataró, Palau, Vilafranca del Penedès (que articula un verdadero subsistema metropolitano al integrar previamente a Sant Sadurní, El Vendrell —que a su vez ha absorbido a l'Arboç— y Vilanova y la Geltrú), Sant Celoni (que antes ha agrupado a Hostalric y Cardedeu), así como, finalmente, a Pineda-Calella (que antes ha agrupado a Malgrat, Blanes y Arenys). Estructuras urbanas que integran subestructuras, con niveles distintos de complejidad.

La comparación entre ambas metrópolis puede sintetizarse con un solo indicador: mientras el sistema urbano central madrileño agrupa a más de un 90% de los lugares de trabajo del AMM, el de Barcelona tan sólo alcanza a integrar un 56% de los LTL del AMB. *Macrocefalia (Madrid) vs. policentrismo (Barcelona)* esa es a la conclusión que nos conduce la metodología de delimitación de subcentros basada en el valor de interacción.

## 6. Monocentrismo, policentrismo y sprawl

Finalmente, una vez confirmada la diferente estructura de las áreas metropolitanas de Barcelona y Madrid -policéntrica la primera, monocéntrica la segunda- cabe contrastar la hipótesis relativa a que el grado de policentrismo interviene positivamente en un menor consumo de suelo, y en consecuencia en un funcionamiento más eficiente de los sistemas urbanos descentralizados (ETE 1999).

El *consumo de suelo*, como cuantificación del *sprawl*, representa un indicador fundamental acerca de la sostenibilidad de los ecosistemas urbanos, no sólo en cuanto permite la evaluación del consumo de ese recurso escaso que es el suelo, sino también, como ha puesto de relieve la literatura especializada (véase entre otros ARELLANO & ROCA, 2010a y b, ARELLANO & al., 2010), en la medida que permite una evaluación indirecta del consumo energético, la producción de CO<sub>2</sub>, y por ende de la huella ecológica.

Respecto al primero de esos indicadores, conviene advertir de entrada, en contra aparente-

mente de la hipótesis inicial, que el consumo de suelo urbanizado per cápita es globalmente inferior en el área metropolitana de Madrid (136,85 m<sup>2</sup> por habitante) que en la de Barcelona (147,14). Y lo mismo sucede si consideramos el consumo de suelo por lugar de trabajo (306,55 y 350,14, respectivamente).

Ese menor consumo de suelo global del área madrileña se convierte en paradójico<sup>15</sup> cuando se observa (ver FIG. 21) que *en casi todas las distancias al centro, el consumo de suelo per cápita (o por lugar de trabajo) es inferior en la metrópoli barcelonesa*. Así sucede no sólo en el municipio central, sino también en el continuo urbano: mientras el continuo de Madrid consume 87,21 m<sup>2</sup> de suelo por habitante (186,42 por LTL), en el de Barcelona dicho consumo baja a 53,57 m<sup>2</sup> (122,61 por LTL). Y por supuesto sucede lo mismo en la periferia (el resto del AM una vez descontado el continuo), donde Madrid consume 328,30 m<sup>2</sup> por habitante (902,25 por LTL), por 253,69 m<sup>2</sup> Barcelona (632,16 por LTL).

FIG. 21/ Consumo de suelo por habitante y lugar de trabajo

	Madrid		Barcelona	
	m <sup>2</sup> /hab	m <sup>2</sup> /LTL	m <sup>2</sup> /hab	m <sup>2</sup> /LTL
< 15 km	77,10	147,87	60,38	139,22
15 a 30 km	140,69	435,85	180,88	432,20
30 a 45 km	450,24	1.176,02	336,86	895,13
> 45 km	485,40	1.436,10	454,03	1.203,67
<b>Área Metropolitana</b>	136,85	306,55	147,14	350,14

Fuente: Elaboración propia y Censo de Población (INE, 2001)

Las FIGS. 22 y 23 adjuntas presentan el consumo de suelo por habitante y por lugar de trabajo de los municipios (ordenados por distancia al centro) del continuo urbano (ver FIG. 22) y periferia (ver FIG. 23) de las AM de Madrid y Barcelona. Como se puede observar se confirma el mayor *sprawl* de Madrid, fuera de pequeñas excepciones. La menor densidad global metropolitana de Barcelona no representa, por tanto, un modelo menos sostenible de ocupación del suelo, sino más bien lo contrario.

<sup>15</sup> En realidad esa paradoja no es tal: la densidad (o su inversa, el consumo de suelo) miden en buena medida, a escala metropolitana, las economías de aglomeración. Londres, probablemente, es más densa que Madrid, como Madrid es más densa que Barcelona. Eso no significa necesariamente, sin embargo, que haya menos *sprawl* en Londres que en Madrid o Barcelona. Para re-

conocer el fenómeno del consumo de suelo es preciso bajar a la escala desagregada. En este sentido es probable que Londres tenga, a pesar de su mayor densidad global fruto de las economías de aglomeración, un *sprawl* más acentuado, dado su patrón de uso del suelo. La paradoja de la densidad (global) puede encubrir, por tanto, usos del suelo no sostenibles.

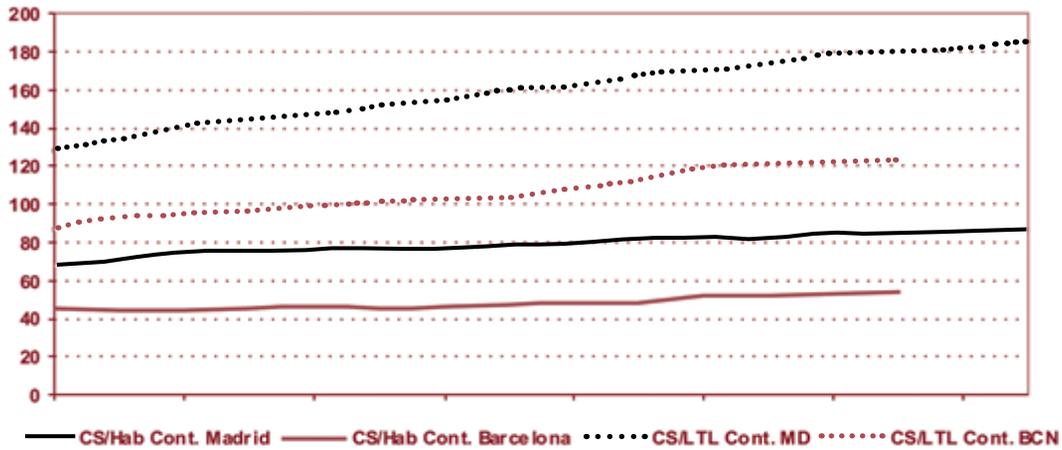


Fig. 22/ Consumo de suelo por habitante en los continuos urbanos de Madrid y Barcelona

Fuente: Elaboración propia y Padrón (INE, 2001)

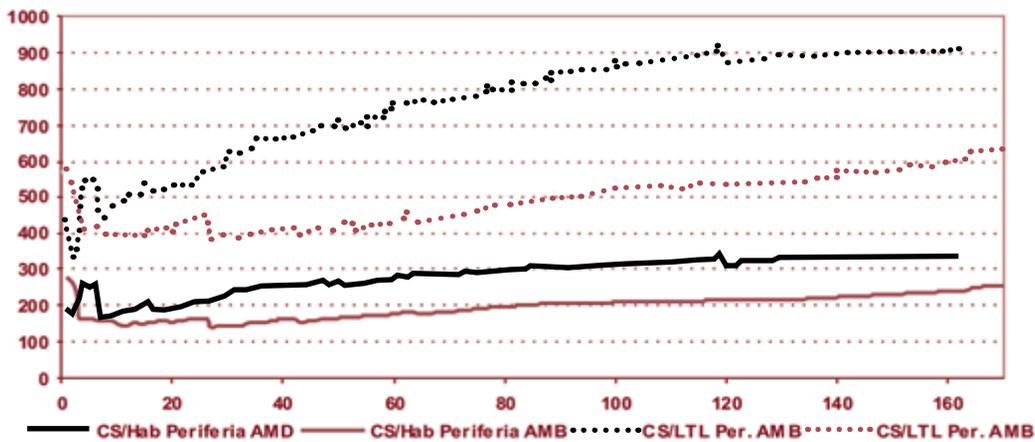


Fig. 23/ Consumo de suelo por habitante en la periferia de Madrid y Barcelona

Fuente: Elaboración propia y Padrón (INE, 2001)

Cabe añadir, además, que la comparación de las densidades de ambas metrópolis adquiere una perspectiva muy distinta si se refiere a la superficie total del territorio de los municipios metropolitanos (densidad bruta), y no sólo a la artificializada (densidad neta). Barcelona ocupa de forma más intensa el territorio que Madrid, obteniendo sobre la superficie bruta una densidad de 1.208,89 habitantes por km<sup>2</sup> frente a 755,27 el área madrileña, un 60% superior. Y algo parecido sucede con la densidad bruta de actividad económica, donde el AMB alcanza 508,02 LTL/km<sup>2</sup>, por 337,17 el AMM.

De forma correlativa, si observamos la evolución de la ocupación de suelo en el periodo

1990-2000-2006 a través de los datos de CORINE Land Cover, se ratifica que el área metropolitana madrileña está sometida a un mayor stress de urbanización. La FIG. 24 nos resume la evolución del proceso de ocupación de suelo. Como se puede observar la AMM ha experimentado un proceso de ocupación de suelo muy superior al de Barcelona, especialmente en el periodo 1990-2000, donde incrementó la superficie de suelo artificializado un 51,54%, frente a sólo un 10,19% la AMB. El análisis del consumo de suelo confirma, por tanto, que *la metrópoli barcelonesa observa un proceso más contenido de ocupación de suelo*, lo que se traduce en un menor *sprawl*, que su homónima madrileña.

Fig. 24/ Proceso de ocupación del suelo 1990-2000-2006

Área Metropolitana	Sup. 1990	Sup. 2000	Sup. 2006	Variación 90/00	Variación 06/00
Madrid	624,59	946,47	1104,50	151,54%	116,70%
Barcelona	696,18	767,13	814,55	110,19%	106,18%
Ratio MD/BCN	89,72%	123,38%	135,60%		

Fuente: CPSV y CORINE Land Cover (1990, 2000 y 2006)

Menor consumo de suelo, dinámica inferior en el proceso de sprawl, esas son algunas de las ventajas que, desde la perspectiva de la sostenibilidad ambiental, parecen poseer las áreas policéntricas, como Barcelona, respecto a las monocéntricas, con Madrid como ejemplo destacado.

## 7. Conclusiones

El presente trabajo se ha concentrado en tres líneas fundamentales. Por una parte se ha sometido a discusión la capacidad de las principales aportaciones desarrolladas por la literatura especializada en la identificación de subcentros, concretando ese estudio en las áreas metropolitanas de Barcelona y Madrid. En segundo lugar se ha propuesto una metodología capaz, simultáneamente, de definir el entorno metropolitano, así como los subsistemas que lo componen, a fin de verificar el carácter monocéntrico o policéntrico de las metrópolis objeto de estudio. Y finalmente se ha contrastado, para los casos mencionados, la hipótesis acerca de la mayor eficiencia de los sistemas urbanos policéntricos en cuanto al consumo de suelo.

En relación al primero de esos objetivos, se ha comprobado que mediante la aplicación de las aproximaciones clásicas para el análisis y detección de las polaridades de empleo, en los casos de Madrid y Barcelona se identificaría un número aproximadamente igual de subcentros, lo que no se compadece con el conocimiento local, el cual reconoce a Madrid un elevado grado de monocentrismo, frente a una Barcelona más policéntrica. Un análisis más cuidadoso permite concluir que la similitud existente revelada por las aproximaciones clásicas entre ambas áreas metropolitanas, en lo que respecta a su estructura policéntrica, es más aparente que real. Se demuestra que la metrópoli madrileña viene caracterizada por una acusada macrocefalia frente a la más des-

centralizada área barcelonesa. A su vez, la mayor parte de los candidatos a subcentro del sistema metropolitano de la capital de España muestran elementos de debilidad que permiten dudar de su papel de auténticos subcentros; aspecto que no ocurre en el caso del área metropolitana barcelonesa.

El presente trabajo demuestra que la relativa incapacidad de las aproximaciones clásicas para revelar la estructura urbana real subyacente de las áreas metropolitanas estudiadas, proviene de una limitación fundamental: limitarse al análisis de la distribución espacial de la densidad de empleo, minusvalorando el papel real de las concentraciones de fuerza de trabajo en la generación de estructura urbana. El artículo sugiere que *no es suficiente constatar la existencia de rugosidades en el patrón de densidades*. Es necesario, además, que dichos nodos representen auténticos elementos vertebradores de subsistemas urbanos dentro de la estructura general de la metrópoli. Es decir, que los subcentros constituyan verdaderos polos de influencia y referencia del territorio que les rodea en los aspectos culturales, sociales y económicos; y que por tanto establezcan una dialéctica con él capaz de ser reflejada en flujos de interacción de energía, materia e información. Unos subcentros capaces de configurar ciudades dentro de la ciudad metropolitana, entendida ésta como una verdadera *ciudad de ciudades*.

Esa es la línea que se ha intentado profundizar en el presente trabajo por medio de la *metodología del valor de interacción*. Se demuestra que dicha metodología permite de forma simultánea delimitar de manera robusta los límites de los propios objetos a analizar, las áreas metropolitanas de Madrid y Barcelona, así como identificar los subsistemas metropolitanos articulados en torno a los subcentros. La metodología alternativa así desarrollada ha permitido no sólo identificar los subcentros, así como las unidades funcionales a ellos asociados, sino a su vez entender la diferente estructura metro-

politana de Madrid y Barcelona. En este sentido irrumpe una lectura de los territorios de ambas metrópolis que trasciende la perspectiva ofrecida por la mayoría de los trabajos especializados. Una lectura que revela la mayor macrocefalia de Madrid frente al policentrismo de Barcelona.

Finalmente, una vez confirmada la diferente estructura de las áreas metropolitanas de Barcelona y Madrid, se ha contrastado la hipótesis relativa a que el grado de mono-policentrismo interviene de forma activa en la eficiencia y sostenibilidad ambiental de las metrópolis. Los ensayos realizados corroboran un mayor consumo de suelo en la metrópoli madrileña, a pesar de sus mejores condiciones físico-geo-

gráficas. El análisis realizado confirma que la metrópoli barcelonesa observa un proceso más contenido de ocupación de suelo, lo que se traduce en un menor sprawl, que su homónima madrileña.

En suma, el estudio comparado entre Madrid y Barcelona parece corroborar la hipótesis de partida: una mayor sostenibilidad de los sistemas metropolitanos policéntricos frente a los caracterizados por una macrocefalia más acentuada. Sin embargo aún se requieren estudios adicionales que tengan en cuenta de forma más integral el conjunto de factores que inciden en la sostenibilidad ambiental a fin de elucidar la mayor eficiencia ambiental de las estructuras policéntricas.

## 8. Bibliografía

- ALONSO, W. (1964): *Location and Land Use*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- ANAS, A. & R. ARNOTT & K. A. SMALL (1998): «Urban spatial structure», *Journal of Economic Literature*, 36:1426–1464.
- ANAS, A. & I. KIM (1996): «General equilibrium models of polycentric urban land use with endogenous congestion and job agglomeration», *Journal of Urban Economics*, 40:232–256.
- ARELLANO, B. & J. ROCA (2010a): «El Urban Sprawl, ¿Un fenómeno de alcance planetario?, Los ejemplos de México y España», *Architecture, City and Environment*, IV:12:115–147.
- (2010b): «The Urban Sprawl: a planetary growth process? An overview», en: *VI Congreso Ciudad y Territorio Virtual*, UABC, Mexicali (México).
- & QUERALTÓ, P. (2010): «The Urban Sprawl: an overview of USA, Mexico and Spain», en: *Congress of the Regional Science Association*, Sweden.
- BOGART, W. T. & W. C. FERRY (1999): «Employment centres in Greater Cleveland: evidence of evolution in a formerly monocentric city», *Urban Studies*, 36:2099–2110.
- BOVENTER, E. VON (1976): «Transportation costs, accessibility and agglomeration economies: centers, subcenters and metropolitan structure», *Papers of the Regional Science Association*, 37:167–184.
- BURNS, M. & M. MOIX & J. ROCA (2001): «Contrasting Indications of Polycentrism within Spain's Metropolitan Urban Regions», en: paper for the *Eighth European Estate Society Conference*, Alicante, June 26–29.
- CASTAÑER, M. & J. VICENTE & G. BOIX (2000): *Áreas urbanas y movilidad laboral en España*, Servei de Publicacions, Universitat de Girona.
- CERVERO, R. (1989): *America's Suburban Centers: The Land Use Transportation Link*, Unwin Hyman, Boston, MA.
- & K.L. WU (1997): «Polycentrism, commuting and residential location in the San Francisco Bay area», *Environment and Planning A*, 29:865–886.
- COMISIÓN EUROPEA. ETE (1999): *Estrategia Territorial Europea. Hacia un desarrollo equilibrado y sostenible del territorio de la UE*, Comisión Europea, Luxemburgo.
- CPSV (2001): *La caracterización territorial y funcional de las áreas metropolitanas españolas*, Centro de Política de Suelo y Valoraciones, UPC, Barcelona.
- CRAIG, S. G. & P. T. NG (2001): «Using quantile smoothing splines to identify employment subcenters in a multicentric urban area», *Journal of Urban Economics*, 49:100–120.
- ERICKSON, R. A. & M. GENTRY (1985): «Suburban nucleations», *Geographic Review*, 75:96–121.
- FERIA, J.M. (2010): «La delimitación y organización espacial de las áreas metropolitanas españolas: una perspectiva desde la movilidad residencia-trabajo», *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*, XLII:164:189–210.
- FUJITA, M. (1988): «A monopolistic competition model of spatial agglomeration: differentiated products approach», *Regional Science and Urban Economics*, 18:87–124.
- & MORI, T. (1997): «Structural stability and evolution of urban systems», *Regional Science and Urban Economics*, 27:399–442.
- FUJITA, M. & H. OGAWA, (1982): «Multiple equilibria and structural transition of non-monocentric urban configurations», *Regional Science and Urban Economics*, 12:161–196.
- GARCÍA-LÓPEZ, M.A. (2007): «Estructura Espacial del Empleo y Economías de Aglomeración: El Caso de la Industria de la Región Metropolitana de Barcelona», *Architecture, City & Environment*, 4:519–553.
- GIULIANO, G. & C. REDFEARN & A. AGARWAL & al. (2007): «Employment concentrations in Los Angeles, 1980–2000», *Environment and Planning A*, 39:2935–2957.
- GIULIANO, G. & K. A. SMAL, (1991): «Subcenters in the Los Angeles region», *Regional Science and Urban Economics*, 21:163–182.

- GORDON, P. & H. W. RICHARDSON (1996): «Beyond polycentricity: the dispersed metropolis, Los Angeles 1970–1990», *Journal of the American Planning Association*, 62:289–295.
- & GIULIANO, G. (1989): *Travel trends in non-CBD activity centers*, Report Ca-11-0032, Urban Mass Transit Administration, US Department of Transportation, Washington, DC.
- GREENE, D. L. (1980): «Recent trends in urban spatial structure», *Growth and Change*, 11:29–40.
- GRIFFITH, D. A. (1981a): «Evaluating the transformation from a monocentric to a polycentric city», *Professional Geographer*, 33:189–196.
- (1981b): «Modelling urban population density in a multi-centered city», *Journal of Urban Economics*, 9:298–310.
- HARTWICK, P. & J. HARTWICK, (1974): «Efficient resource allocation in a multi-nucleated city with intermediate goods», *Quarterly Journal of Economics*, 88:340–352.
- HEIKKILA, E. & P. GORDON & J. I. KIM & al. (1989): «What happened to the CBD-distance gradient? Land values in a polycentric city», *Environment and Planning A*, 21:221–232.
- HENDERSON, J. V. & A. MITRA (1996): «The new urban landscape: developers and edge cities», *Regional Science and Urban Economics*, 26:613–643.
- KRUGMAN, P. (1996): *The Self-organizing Economy*, Blackwell, Cambridge, MA.
- MARMOLEJO, C. & C. AGUIRRE & M. RUIZ (2010): «¿Hacia un sistema de metrópolis españolas policéntricas?: caracterización de su estructura metropolitana», en: *VI Congreso Ciudad y Territorio Virtual*, UABC, Mexicali (México).
- MCDONALD, J. F. (1987): «The identification of urban employment subcenters», *Journal of Urban Economics*, 21:242–258.
- & D. P. McMILLEN, (1990): «Employment subcenters and land values in a polycentric urban area: the case of Chicago», *Environment and Planning A*, 22:1561–1574.
- MCDONALD, J. F. & P. J. PRATHER (1994): «Suburban employment centres: the case of Chicago», *Urban Studies*, 31:201–218.
- McMILLEN, D. P. (1996): «One hundred fifty years of land values in Chicago: a nonparametric approach», *Journal of Urban Economics*, 40:100–124.
- (2001): «Non-parametric employment subcenter identification», *Journal of Urban Economics*, 50:448–473.
- (2003): «The return of centralization to Chicago: using repeat sales to identify changes in house price distance gradients», *Regional Science and Urban Economics*, 33:287–304.
- (2004): «Employment densities, spatial autocorrelation, and subcenters in large metropolitan areas», *Journal of Regional Science*, 44:225–243.
- & T. W. LESTER (2003): «Evolving subcenters: employment and population densities in Chicago, 1970–2020», *Journal of Housing Economics*, 12:60–81.
- McMILLEN, D. P. & J. F. McDONALD, (1997): «A non-parametric analysis of employment density in a polycentric city», *Journal of Regional Science*, 37:591–612.
- (1998): «Suburban subcenters and employment density in metropolitan Chicago», *Journal of Urban Economics*, 43:2:157–180.
- MÚÑIZ, I. & A. GALINDO & M. A. GARCÍA-LÓPEZ (2003): «Cubic spline density functions and satellite city delimitation: the case of Barcelona», *Urban Studies*, 40:1303–1321.
- MUTH, R. F. (1969): *Cities and Housing*, University of Chicago Press, Chicago, IL.
- NEL-LO, O. (2002): *Cataluña, ciudad de ciudades*, Ed. Milenio, Lleida.
- ODLAND, J. (1978): «The conditions for multi-center cities», *Economic Geography*, 54:234–244.
- OGAWA, H. & M. FUJITA, (1980): «Equilibrium land use patterns in a nonmonocentric city», *Journal of Regional Science*, 20:455–476.
- REDFEARN, C. L. (2007): «The topography of metropolitan employment: identifying centers of employment in a polycentric urban area», *Journal of Urban Economics*, 61:519–561.
- ROCA, J. (2003): «La delimitación de la ciudad ¿una cuestión posible?», *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*, XXXV:135:17-36.
- & CLUSA, J. (1997): *La Delimitació de l'Àrea Metropolitana de Barcelona*, Centro de Política de Suelo y Valoraciones, UPC, Barcelona.
- ROCA, J. & C. MARMOLEJO & M. MOIX (2009): «Urban Structure and Polycentrism: Towards a redefinition of the Sub-centre concept», *Urban Studies*, 46:13:2841–2868.
- ROCA, J. & M. MOIX, (2005): «The interaction value: its scope and limits as an instrument for delimiting urban systems», *Regional Studies*, 39:359–375.
- WHITE, M. J. (1976): «Firm suburbanization and urban subcenters», *Journal of Urban Economics*, 3:323–343.