¿REDUCE EL POLICENTRISMO EL CONSUMO DE SUELO URBANIZADO? UNA PRIMERA APROXIMACIÓN PARA LAS SIETE ÁREAS METROPOLITANAS ESPAÑOLAS

MOIRA TORNÉS FERNÁNDEZ Y CARLOS MARMOLEJO DUARTE

ACE: Architecture, City and Environment = Arquitectura, Ciudad y
Entorno [en línea]. 2011, Año 6, núm. 18, Febrero. P. 191-212

ISSN: [1886-4805](https://doi.org/10.18866/1886-4805)

Website access: http://www-cpsv.upc.es/ace/Articles_n18/articles_PDF/ACE_18_SE_26.pdf

UPCommons Access: <http://hdl.handle.net/2099/11686>

ACE

Architecture, City, and Environment
Arquitectura, Ciudad y Entorno

C

DOES POLYCENTRISM REDUCE THE CONSUMPTION OF URBANIZED LAND? A FIRST APPROXIMATION FOR THE SEVEN METROPOLITAN SPANISH AREAS

Key words: Consumption of land, polycentrism, efficiency, metropolitan areas.

Abstract

The appearance of progressively extensive systems, in which the limits between the countryside and the city were eroded, is an established trend since the second half of last century. This way, the compact continuous growth has lost ground in favor of a low density, sprawled growth. The land, one of the most limited resources, has then been plundered in a dizzy way. Arguing sustainability, the agendas of the territorial planners have presented polycentrism as a solution to scattering. This article tries to analyze up to what point polycentrism is correlated with the use of land. To do so, based on information about population, employment and the use of land for the main Spanish metropolises, a model of regression is generated: the dependent variable is the use of land; the independent variables are indicators regarding the structure of the territorial matrix, of the cities (including polycentrism) and of the economic activities. The first results suggest that the impact of polycentrism for reducing the use of land is incipient and other factors, such as the type of dominant economic activity, the fragmentation of the urbanized fabrics or the complexity of the territorial matrix, point out its importance to explain the used land per capita.

¿REDUCE EL POLICENTRISMO EL CONSUMO DE SUELO URBANIZADO? UNA PRIMERA APROXIMACIÓN PARA LAS SIETE ÁREAS METROPOLITANAS ESPAÑOLAS

TORNÉS FERNÁNDEZ, Moira ¹
MARMOLEJO DUARTE, Carlos

Remisión inicial: 18-11-2012

Remisión definitiva: 19-01-2012

Palabras Clave: Consumo de suelo, policentrismo, eficiencia, áreas metropolitanas.

Resumen

La aparición de sistemas progresivamente extensos, donde los límites entre el campo y la ciudad han sido erosionados, ha dominado la escena a partir de la segunda mitad del siglo pasado. De esta manera, el crecimiento compacto por continuidad ha perdido fuelle a favor del crecimiento por dispersión de baja densidad. Así, el suelo, uno de los recursos más limitados, ha sido depredado de una manera vertiginosa. En pro de la sostenibilidad, las agendas de los planificadores territoriales han situado al policentrismo como una alternativa a la dispersión. En este artículo se pretende analizar hasta qué punto el policentrismo está correlacionado con el consumo del suelo. Para ello, a partir de información sobre población, empleo y consumo de suelo de las principales metrópolis españolas, se construye un modelo de regresión en donde la variable dependiente es el consumo de suelo y, las independientes, indicadores asociados con la estructura de la matriz territorial, de la estructura urbana (incluido el policentrismo) y de la estructura de las actividades económicas. Los primeros resultados sugieren que el impacto del policentrismo sobre la reducción de consumo de suelo es incipiente y otros factores, como el tipo de actividad económica dominante, la fragmentación de los tejidos urbanizados o la complejidad de la matriz territorial, anteponen su importancia en la explicación del suelo consumido per cápita.

¹ **Moira Tornés Fernández:** Departamento de Expresión Gráfica II, Escuela Politécnica Superior de Edificación de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña, Avenida Doctor Marañón, 44 - 50, 08028 Barcelona, España. Email de contacto: moira.tornes@upc.edu

1. Introducción

“Los referentes que alguna vez separaron firmemente a la ciudad del campo, lo artificial de lo natural, son ahora reproducidos de forma indiscriminada como signos y horizontes potenciales dentro de una topografía común. Este hábitat, la metrópolis, que constituye tanto una realidad imaginaria como un lugar real, se ha transformado en el mito de nuestro tiempo. Ya no podemos tener la esperanza de cartografiar la metrópolis moderna, debido a que ya no podemos asumir que conocemos sus extremos, sus fronteras, sus confines, sus límites.” (Chambers, 1990: 53-54).

La morfología de las ciudades actuales a lo largo de todo el planeta está en constante evolución, desde aquellos núcleos rurales hasta las presentes ciudades, ha existido un incesante y transformador cambio. Dicho cambio ha generado en ciertos casos ciudades invivibles, no-ciudades, promovido quizás por carencias en las herramientas de gestión y de control. En la actualidad nos encontramos con ciudades cuyos ambiciosos límites se van alejando, difuminando y dispersando a lo largo del territorio de modo que la sensación de ciudad creada a escala del ciudadano va desapareciendo en pos de la ciudad anónima. Los perfiles de las periferias son cada vez más homogéneos, caracterizados por la baja densidad e interconectados por grandes redes de transporte. La ciudad compacta tradicional se disuelve en una ciudad dispersa y fragmentada, con periferias más extensas y límites difusos. Como dicen García y Gutiérrez “... la metrópoli actual presenta rasgos propios que la convierten en una estructura significativamente distinta a la metrópolis moderna y fordista. Frente a la dominancia de la ciudad central característica de las áreas metropolitanas tradicionales, la descentralización ha producido nuevas centralidades en la periferia, que modifican los antiguos desequilibrios funcionales (centro-periferia) para crear otros nuevos a una escala de mayor detalle (nuevas centralidades-espacios residenciales).” (García y Gutiérrez, 2007:5).

De este modo paulatinamente se generan cambios en las estructuras de las ciudades. Las metrópolis ya no se forman alrededor de un centro, sino que aparecen otros periféricos y suburbanos importantes que modifican significativamente el funcionamiento de las ciudades. Dichos centros periféricos se encuentran conectados por una red de infraestructuras que surcan todo el territorio, fragmentándolo y generando piezas de suelo no urbanizado cada vez más pequeñas.

Diversos elementos modifican también su estado original de localización, las empresas dedicadas a la manipulación de la información poco cualificada (p.e. centros de atención al cliente), al no depender de un contacto cara a cara, empiezan a ubicarse en lugares menos centrales ganando por consiguiente beneficios en los costos de alquiler y contraponiéndolos con los desplazamientos de personas a este lugar. Por otro lado, en el ámbito de la vivienda pueden desarrollarse ideas similares. La preferencia en la elección de la localización de las viviendas sufre el mismo mecanismo que ocurre con las empresas, la ubicación no central supone una reducción en los costes de compra ya que el suelo es más barato conforme se aleja del centro de la ciudad. Otro punto a tener en cuenta es que al ubicarse estas viviendas en zonas periféricas ofrecen una mayor amplitud y privacidad, con su consiguiente mayor consumo de suelo y su baja densidad (Simón y Hernández, 2009; Muñoz, F. 2007).

Todo ello, al conjugarse, produce un paisaje disperso, fragmentado por las redes de infraestructuras, homogéneo y, por encima de todo, consumidor de un recurso limitado: el suelo apto para la urbanización.

Por este motivo, y otros negativos asociados a la dispersión como el consumo energético, la Comisión Europea mediante la Estrategia Territorial Europea (en adelante, ETE) de 1999, promueve y aconseja el manejo de herramientas capaces de solucionar y gestionar los problemas de expansión territorial a los que nuestras ciudades se están exponiendo. La red de ciudades bajo esquemas policéntricos se considera una solución a colosales problemáticas como el gran consumo de suelo que se está originando debido a la urbanización de baja densidad, lo que ocasiona una serie de problemas en cadena como son los gastos de energía y tiempo en desplazamientos o, incluso, la imposibilidad de hacer llegar a todos los puntos el transporte público, la recogida de residuos, el alcantarillado, el alumbrado, los equipamientos básicos como hospitales y escuelas, la dependencia en el uso del transporte privado y su consecuente emisión de CO₂, etc. Todos estos problemas y otros son los que la Comisión Europea pretende solucionar mediante la inserción de modelos policéntricos, hipótesis que sustenta la idea de que la ciudad policéntrica es más eficiente que la ciudad monocéntrica, desde el punto de vista medioambiental. Reduciendo el consumo de suelo, el tiempo de desplazamiento residencia-trabajo y, por tanto, su emisión de gases contaminantes a la atmósfera. Así, la promoción del policentrismo ha sido vista como la panacea a los problemas de las grandes metrópolis contemporáneas, inspirando ello la aparición de políticas no sólo a escala europea sino también territorial y urbanística, que permitan avanzar hacia estructuras basadas en nodos.

El objetivo fundamental de esta investigación es indagar hasta qué punto el policentrismo efectivamente reduce el consumo de suelo en el contexto de los principales sistemas metropolitanos españoles.

El resto del artículo se organiza en primer lugar con una breve exposición de las razones por las cuales una estructura policéntrica tendría que reducir el consumo de suelo; a continuación se presentan los casos de estudio, la metodología y las fuentes de información; luego se expone el modelo y los indicadores de consumo de suelo utilizados; y, finalmente los resultados del modelo de regresión son debatidos.

2. ¿Por qué una estructura policéntrica tendría que reducir el consumo de suelo?

La principal conceptualización del policentrismo parte de la idea de un desarrollo apoyado en nodos o núcleos interconectados, que resultan funcionalmente hablando, complementarios entre sí. En donde dichos nodos pueden producirse a partir de una descentralización concentrada como alternativa a una descentralización dispersa. Por tanto, un sistema en donde tanto la población como la actividad se situasen en dichos nodos en su totalidad, sería un sistema en donde el consumo de suelo per cápita sería inferior en relación a aquél en el cual la descentralización ha seguido un modelo disperso. Se trataría, por tanto, de un conjunto de asentamientos compactos interconectados entre sí. Sin embargo, pensar en un modelo en el cual todo se concentra en núcleos escapa incluso de las imaginaciones más virtuosas, ya que

las estructuras de los sistemas metropolitanos actuales son una compleja combinación en donde el monocentrismo heredado de las ciudades decimonónicas se conjuga con el policentrismo y con la dispersión. Por tanto, la cuestión estriba en discutir si en un sistema de esta naturaleza, el consumo del suelo, más allá de aquél consustancial a los propios centros (Central Business District, CBD, y subcentros), está influido por la presencia de los subcentros. Es decir, discutir si los subcentros influyen el consumo de suelo allende de los mismos. Para abordar dicha discusión es necesario conocer la forma en cómo se forma la densidad, es decir, el inverso del consumo de suelo per cápita.

Los economistas urbanos (O'Sullivan, 2007) han explicado que la construcción en altura y, por tanto, densa, es la respuesta de los agentes productores (p.e. las promotoras inmobiliarias) ante la elevación del coste de producción producido por el encarecimiento del suelo. De tal manera que, si convenimos que los lugares centrales tienen rentas del suelo altas (tan altas como los costes de transporte que ahorran), entonces edificar en ellos supone un importante gasto por lo que a la adquisición del suelo se refiere. Luego, si es posible edificar la misma superficie sobreponiendo una planta sobre otra (a pesar de que ello supone, a partir de cierta altura, un encarecimiento de los costes unitarios de construcción), el resultado es que, en aras de minimizar los costes de producción, se tenderá a sustituir suelo por estructuras altas. De esta manera los sitios centrales son también sitios densos en donde el consumo de suelo per cápita (o al menos por metro cuadrado edificado) se minimiza.

Lo importante es que en un sistema monocéntrico, a medida que la distancia al centro incrementa, la densidad irá disminuyendo a la par que la renta del suelo también lo hace (puesto que se va haciendo progresivamente más caro afrontar los costes de transporte hacia el centro en donde se presume se encuentra monopolizada tanto la oferta de empleo como de servicios y productos de consumo). Ahora bien, si al sistema monocéntrico le acompañan subcentros de empleo y servicios ubicados en la periferia, el coste de transporte tendría que disminuir puesto que los viajes podrían tener como destino lugares más próximos y, por tanto, la renta del suelo tendría que incrementar y consecuentemente la densidad, es decir, que el consumo de suelo per cápita tendría que reducirse. La Figura 1 inferior ilustra gráficamente este concepto. En dicha figura la densidad representada es exclusivamente la de las localizaciones allende los centros, por esa razón tanto el CBD como los subcentros aparecen desprovistos de dimensión (evidentemente la densidad dentro de ellos sería también alta). En el gráfico de la derecha se observa que la aparición de subcentros periféricos produciría un incremento de la densidad en sus entornos y por ende una potencial reducción del consumo de suelo per cápita (al margen de que el consumo en ellos mismos sería bajo).

Figura 1. **Impacto potencial de los subcentros sobre la función de densidad (inversa del consumo de suelo)**

Fuente: Elaboración propia.

El objetivo de este artículo es ver si en el mundo real la reducción del consumo del suelo allende de los centros se verifica. En definitiva, se trata de comprobar de qué manera la estructura urbana (entendiendo por ésta la forma espacial en cómo se distribuye la población y el empleo) influye sobre la eficiencia de la urbanización.

3. Estudio de caso, metodología, datos y fuentes de información

3.1 Estudios de caso

En este artículo se estudian de manera simultánea las siete principales áreas metropolitanas españolas (Madrid, Barcelona, Valencia, Bilbao, Sevilla, Zaragoza y Málaga) tal cual han sido delimitadas por Marmolejo *et al.* (2012) mediante la utilización de los criterios de identificación de la estructura/delimitación metropolitana diseñados por Roca *et al.* (2009 y 2011). El año de estudio es el 2001, si bien algunas informaciones son del año 2000. La Figura 2 describe las principales características de las áreas estudiadas.

Figura 2. Áreas metropolitanas estudiadas

Áreas metropolitanas	Municipios	Suelo artificializado (km2)	Lugares de trabajo localizado (LTL)	Población (POB)	Densidad global ((LTL+POB)/km2)	Consumo del suelo per cápita (m2/(LTL+POB))
Algoritmo		a	b	c	d=(b+c)/a	e=d^-1*(1.000.000)
Madrid	183	860	2.446.400	5.542.843	9.291	108
Barcelona	184	745	1.903.867	4.530.164	8.636	116
Valencia	104	308	686.247	1.792.375	8.046	124
Sevilla	52	237	447.849	1.381.531	7.719	130
Bilbao	123	112	445.666	1.231.367	15.024	67
Málaga	32	194	366.525	994.984	7.032	142
Zaragoza	88	127	301.860	724.335	8.066	124

Fuente: Elaboración propia con base en datos del Corine Land Cover 2000 y del Censo de Población 2001

3.2 Metodología

En esta investigación se parte del supuesto que el consumo de suelo es una función de tres dimensiones interrelacionadas (correlacionadas) entre sí: 1) la estructura de la matriz territorial; 2) la estructura de la actividad económica; y 3) la estructura urbana (dentro de la cual se inscribe el nivel de policentrismo); tal y como se establece en la Ecuación 1 a continuación:

Ecuación 1.

$$Cs = f(Et, Ee, Eu) \quad (1)$$

En ese sentido, es evidente que cuanto más compleja sea la matriz orográfica sobre la cual se asientan las áreas metropolitanas, más compleja será la estructura urbanizada de las mismas. De esta manera, aquellos territorios caracterizados por una consecución de valles de mediana magnitud (en términos metropolitanos) y montañas impiden la generación de una urbanización continua, y por ende propician la aparición de varios núcleos ubicados en los valles e interconectados por las infraestructuras que siguen el cauce de las vías fluviales. Asimismo, cuanto más compleja sea la orografía interior a los municipios, tanto mayor será la dificultad de edificar en altura y, por tanto, de reducir el consumo per cápita. Por lo que se refiere a la naturaleza de la actividad económica se ha intentado controlar el hecho de que las áreas metropolitanas en donde la manufactura está aún presente tienen un consumo de suelo intrínsecamente superior, en términos per cápita, que no las áreas con mayor representatividad de oficinas. Así, es esperable que Barcelona, en donde la reminiscencia de un pasado industrial es aún palpable en sus periferias, consuma por este hecho más suelo que no Madrid, en donde si bien se implantó industria a lo largo del siglo XX. El dominio de las actividades basadas en edificios de oficina es predominante, como es propio de cualquier capital administrativa, sobre todo si es el nodo nacional en los circuitos de la globalización del capital. No hace falta ir más lejos para observar los datos del parque de oficinas en edificios exclusivos de la Tabla 1 para comprobar este fenómeno.

Tabla 1. Parque de oficinas en edificios exclusivos en Madrid y Barcelona (m2)

Áreas metropolitanas	Jones Lang (Lasalle)	Richard Ellis (CB)
Madrid	14.718.279	12.115.000
Barcelona	5.947.995	5.554.473

Fuente: Elaboración propia según datos recopilados de Jones Lang y Richard Ellis

En este mismo sentido se esperaría que las zonas en donde el turismo residencial se ha implementado con especial ímpetu tiendan a consumir más suelo urbanizado. En la dimensión de la estructura urbana, además del nivel de policentrismo, se ha querido controlar el nivel de fragmentación de los tejidos urbanos como se detallará más adelante.

Con las premisas de la Ecuación 1, el modelo econométrico utilizado es el siguiente:

$$\ln Cs = K + \sum_{et=1} \beta_{et} Et_{et} + \sum_{ee=1} \beta_{ee} Ee_{ee} + \sum_{eu=1} \beta_{eu} Eu_{eu} + e \quad (2)$$

Como se aprecia en la Ecuación 2, ésta sigue una función log-lineal que responde a la necesidad de cumplir con los criterios estándar de los residuos (1,0) de este tipo de modelos econométricos calibrados por mínimos cuadrados ordinarios, MCO. Además, dicha función permite interpretar los coeficientes beta como semi-elasticidades. De esta manera, se ha construido un modelo a nivel municipal para todos los municipios que conforman las áreas

metropolitanas estudiadas. Conjuntamente, con el objeto de controlar la posible influencia introducida por la divergencia en las políticas urbanísticas y territoriales emanadas de la diferente regulación autonómica en este respecto, se ha introducido una variable ficticia para cada área metropolitana, AM. Dicha variable, también pretende internalizar diferencias en el nivel de renta de la población y otros aspectos territoriales no internalizados explícitamente en el modelo, que pudieran tener alguna influencia sobre el consumo de suelo per cápita.

A continuación, se definen los indicadores que subyacen a cada una de las tres dimensiones explicativas del consumo de suelo, así como la información utilizada en su construcción y el origen estadístico de la misma.

3.3 Indicadores de cada dimensión, datos utilizados en su construcción y origen de los mismos

A) El indicador de consumo de suelo

El cálculo del indicador de consumo de suelo es la parte de interés principal, puesto que en la hipótesis que se pretende validar se intenta demostrar que hay una mayor eficiencia en la urbanización de metrópolis policéntricas en relación a otras que no lo sean o tengan un menor nivel de policentrismo (Comisión Europea, 1999).

Siguiendo a Marmolejo y Stallbohm (2008), el consumo de suelo per cápita considera tanto a la población en su faceta productiva (lugares de trabajo localizados, en adelante LTL) como en la reproductiva (población residente, en adelante POB).

$$CS = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{Pob+LTL} \quad (3)$$

Los datos de población y actividad económica, LTL, se han obtenido a través de la información del Censo de Población y Vivienda del 2001 del Instituto Nacional de Estadística (en adelante, INE). Mientras que el suelo artificializado (S) proviene del Corine Land Cover 2000² (en adelante, CLC00). En este último sentido se ha considerado que dicho suelo está formado por las siguientes categorías y respectivos códigos del CLC00: tejido urbano continuo (11100), al abierto (11210), al extenso (11220), a las áreas industriales (12110), a las comerciales y de servicio (12120), las portuarias (12300 y 12400), las áreas verdes (14100), campos de golf (14210) y otras instalaciones deportivas (14220). Nótese que la superficie de autopistas y de las ferrovías no se ha considerado por tal de no sesgar la densidad de los municipios con poca superficie artificializada por los cuales atraviesan autopistas que en muchos casos ni siquiera tienen salida a dichas poblaciones. El procesamiento de la información cartográfica se ha realizado con los programas de la familia ArcGIS, el software de Sistemas de Información Geográfica (en adelante, SIG) de la empresa ESRI.

² El Corine Land Cover 2000 es un proyecto de iniciativa conjunta entre la Agencia Europea del Medio Ambiente y la Comisión Europea, en el cual se aportan datos sobre la cobertura y uso del territorio europeo mediante la interpretación de imágenes satelitales Landsat y SPOT, la fotointerpretación y la clasificación del suelo.

Como se ha visto en la Figura 2, según los datos del Corine y del Censo, Bilbao es el área con el menor consumo de suelo. Esto puede ser debido a que el área bilbaína se asienta en un relieve abrupto y las vías de comunicación son esenciales, es por ello que la urbanización debe ser más concentrada y densa ya que la accesibilidad al puesto de trabajo es importante en una zona donde su topografía dificulta la movilidad y contribuye a la demanda de suelo próximo a estos centros³, observándose un predominio de la vivienda plurifamiliar sobre la unifamiliar, cosa que contribuye a una mayor optimización del terreno con el consiguiente bajo consumo de suelo. Muy por el contrario, Málaga es la que mayor consumo de suelo per cápita presenta y puede deberse al modelo de desarrollo territorial, que como es del dominio común está basado en el turismo residencial, frecuentemente acompasado por campos de golf a pesar de la orografía. Todo junto alimenta un modelo de baja densidad.

Entre las dos grandes metrópolis, Barcelona tiene un consumo medio metropolitano ligeramente superior al de Madrid. Sin embargo, no debe perderse de vista la diferencia en la estructura de la actividad económica, ya que a pesar de que Barcelona se ha terciarizado vigorosamente en el decurso de las tres últimas décadas del siglo XX, aún presenta vestigios de su pasado industrial, sobre todo en las nuevas áreas logísticas de las coronas más periféricas. Como se observa en la Tabla 2, en la metrópolis barcelonesa la mayor parte de la industria se encuentra ubicada en las coronas intermedias, (20–30 km y 30–40km), presentándose en el resto una disminución, sobre todo en el CBD de la misma, a pesar de exponer un alto porcentaje frente a Madrid, debido a que como se ha anunciado previamente, aún sigue vigente el pasado industrial. En los mismos términos de porcentajes se encuentran las oficinas en el CBD, donde va decreciendo muy sutilmente hacia la periferia. El centro del área metropolitana de Madrid refleja un menor porcentaje en los LTL tanto de industria como en los de oficinas. En el caso de las oficinas se muestra un leve aumento de las mismas conforme se alejan del centro. Con la industria se observa un notable aumento en las coronas periféricas manteniéndose constante en todas ellas.

Tabla 2. **Porcentaje de Industria y Oficinas en las dos principales metrópolis españolas: Madrid y Barcelona**

Coronas	Barcelona				Madrid			
	LTL Industria	Industria	LTL Oficinas	Oficinas	LTL Industria	Industria	LTL Oficinas	Oficinas
0 km	4.839	<div><div></div></div> 15%	731	<div><div></div></div> 15%	739	<div><div></div></div> 11%	193	<div><div></div></div> 9%
0 - 10 km	17.890	<div><div></div></div> 27%	9.764	<div><div></div></div> 15%				
10 - 20 km	153.330	<div><div></div></div> 32%	220.131	<div><div></div></div> 15%	8.458	<div><div></div></div> 19%	8.223	<div><div></div></div> 13%
20 - 30 km	110.544	<div><div></div></div> 38%	39.777	<div><div></div></div> 12%	45.545	<div><div></div></div> 22%	40.001	<div><div></div></div> 14%
30 - 40 km	88.194	<div><div></div></div> 36%	39.503	<div><div></div></div> 11%	192.714	<div><div></div></div> 18%	548.472	<div><div></div></div> 16%
40 - 50 km	61.009	<div><div></div></div> 32%	24.391	<div><div></div></div> 11%	54.328	<div><div></div></div> 20%	58.119	<div><div></div></div> 16%
50 - 60 km	38.349	<div><div></div></div> 25%	20.422	<div><div></div></div> 12%	16.593	<div><div></div></div> 18%	13.302	<div><div></div></div> 10%
AM	474.155	<div><div></div></div> 26%	354.719	<div><div></div></div> 19%	318.377	<div><div></div></div> 13%	668.310	<div><div></div></div> 27%
LTI en miles de personas								

LTL en miles de personas

Fuente: Elaboración propia con base en datos del Censo de Población 2001, del CNAE y del Teletatlás

³ También es cierto que un análisis pormenorizado del Corine Land Cover realizado mediante su contrastación visual con las fotos aéreas del año 2000, ha detectado ciertos fallos en los poblados y caseríos más pequeños, en cuanto que al estar caracterizados por viviendas separadas entre sí por espacios auxiliares a la producción agrícola, o simplemente por jardines o espacios vacíos, resultan imperceptibles para el satélite LandSat que está detrás del proceso de teledetección semiasistida realizado en el Proyecto.

En la Figura 3, se detalla el consumo de suelo per cápita hacia el interior de los sistemas metropolitanos. Con gran claridad, en concordancia con la teoría subyacente con la formación espacial de la densidad discutida en el punto 2 de este artículo, se observa que a medida que incrementa la distancia a los centros (especialmente en las grandes metrópolis) el consumo de suelo incrementa. Esto se debe naturalmente a la edificación en altura en los lugares centrales y aquéllos próximos, pero también al hecho que las actividades económicas presentan patrones locativos divergentes que en sus extremos tienden a las actividades terciarias, especialmente las basadas en oficinas en los lugares más centrales y a las manufactureras en los menos centrales (Marmolejo y Roca, 2006 y 2008). Asimismo, cuantos más pequeños, menos accesibles o más turísticos son las localidades municipales, tanto mayor es el consumo de suelo. Junto con estas características deberían sumarse las políticas de gestión urbana aplicadas a espacios naturales que evitan la edificación.

Figura 3. Consumo de suelo per cápita en las siete principales metrópolis españolas

Nota: Los municipios con silueta negra son identificados como subcentros de empleo en el trabajo de Marmolejo *et al.* (2012) y recuperados en éste, mientras que la zona sombreada es el centro expandido compuesto por el CBD y los municipios conurbados que guardan íntima relación funcional con éste. A esta área los autores la han llamado *continuo económico central*. Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos del Corine Land Cover del 2000 y del Censo de Población de 2001.

B) En la dimensión de estructura de la matriz territorial

Como se ha mencionado previamente, la matriz territorial se ha considerado que puede ser un factor altamente condicionante del consumo de suelo, ya que en aquellos lugares más accesibles geográficamente, tales como valles, llanuras o ciudades cerca del mar, tenderían a tener un alto de nivel de edificación puesto que son susceptibles tanto de intereses políticos, paisajísticos, climatológicos, entre otros. En esta dimensión se utilizan tres indicadores: i) una variable ficticia que da cuenta si un municipio es costero o no; la pendiente media del municipio; la complejidad de la orografía del municipio.

Para construir los dos últimos indicadores se ha recurrido al análisis del Modelo Digital del Terreno (en adelante, MDT), con una resolución de un píxel de 80 metros aproximadamente y con la ayuda de un software SIG. En el caso concreto de la complejidad orográfica se ha diseñado el siguiente indicador:

$$H_i = -1 * \sum_{x=1}^n P_{x_i} * \ln(P_{x_i}) \quad (4)$$

En la Ecuación 4 H es la complejidad orográfica de un municipio i , y P es la probabilidad de encontrar en dicho municipio una pendiente x determinada. De tal suerte que para calcular dicho indicador ha sido necesario categorizar toda la superficie de cada uno de los municipios de todas las áreas metropolitanas en rangos de pendientes (p.e. entre el 5% y el 15%). Cuanto mayor es el indicador de la complejidad orográfica, mayor es la variedad de pendientes y, por tanto, indica la presencia de accidentes geográficos.

La Figura 4 inferior ilustra la forma en cómo los datos del MDT son transformados en el indicador de diversidad orográfica. Con meridiana claridad se observa que en las zonas con menor nivel de accidentes orográficos son en las que se ubican los subcentros y el CBD expandido (continuo económico central en la terminología acuñada por Marmolejo *et al.*, 2012). Por tanto, como se había argüido antes, las zonas más accidentadas son zonas de mayor consumo de suelo.

Figura 4. Ejemplo del cálculo de la complejidad orográfica en el Área Metropolitana de Barcelona

Fuente: Elaboración propia con datos del Modelo Digital del Terreno.

C) En la dimensión de la matriz de la actividad económica

Como se ha insistido, la naturaleza intensiva o extensiva de la actividad económica condiciona el consumo de suelo per cápita tal y como se ha calculado en este artículo. Por esta razón, a partir de los datos de empleo por municipio (LTL) desagregados a un dígito de agregación de la Clasificación Nacional de la Actividad Económica (en adelante, CNAE) se han construido, por medio de un análisis factorial, indicadores sintéticos de la estructura del empleo. La Tabla 3 deja ver el significado de los componentes principales extraídos cuya interpretación es la siguiente:

- Componente 1. De actividades intensivas con patrones de localización más bien central. Está formado principalmente por actividades terciarias, basadas en las oficinas (p.ej. las finanzas), los servicios (p.ej. los personales) o el comercio.
- Componente 2. De actividades basadas en la construcción. Este componente se ha decantado por explicar la localización de las zonas en construcción, cuya localización suele responder a las áreas más periféricas de las AM, y por ende a zonas de construcción de baja densidad y alto consumo de suelo.
- Componente 3. De servicios intensivos relacionados con la prestación de servicios públicos. Este componente aúna la localización del empleo relacionado con la administración y la sanidad. Su localización no es necesariamente central, puesto que responde a las lógicas espaciales relacionadas con las políticas públicas de equilibrio territorial.

Tabla 3. Indicadores sintéticos de la estructura de la actividad económica de las áreas metropolitanas españolas

Matriz de componentes rotados			
	Componentes		
	1	2	3
Fabricación	-0,166	-0,730	-0,461
Construcción	-0,080	0,866	-0,103
Comercio	0,682	0,031	-0,242
Finanzas	0,780	0,051	0,085
Servicios	0,745	-0,085	0,235
Administración	-0,080	0,300	0,639
Sanidad	0,110	-0,119	0,765

Fuentes: Elaboración propia con datos del Censo 2001 y CNAE

D) En la dimensión de la estructura urbana

En esta dimensión se inscriben dos indicadores fundamentalmente: por una parte la fragmentación de los tejidos urbanizados, y por otra el de policentrismo. La fragmentación del tejido urbanizado se refiere al nivel de discontinuidad de los continuos urbanizados. En el fondo, este indicador que está fuertemente correlacionado con el tamaño de las áreas metropolitanas y con la naturaleza orográfica de los territorios en los cuales éstas se asientan, también internaliza la diferente idiosincrasia de utilización del territorio. Así, la discontinuidad puede ser interpretada como una solución de continuidad que permite respetar las zonas no urbanizadas (p.e. zonas naturales o agrícolas) rodeándolas o estableciendo corredores entre ellas; aunque también puede tener una lectura negativa al interpretarse como la creación de territorios vacíos de cuestionable utilidad inmersos en la red de infraestructuras suburbanas de las grandes metrópolis que no hacen sino mermar (p.e. fragmentar) la experiencia urbana y, en ese sentido, la calidad de vida de sus moradores.

El procedimiento de cálculo del indicador de fragmentación es el siguiente: en primera instancia los diferentes polígonos del CLC se han fusionado en función de su contigüidad. Luego, se ha calculado para cada municipio el número de polígonos urbanizados discontinuos y la superficie de cada uno de ellos se ha computado. Con esta información se ha calculado la complejidad de la continuidad de la urbanización siguiendo el criterio de Marmolejo y Stallbohm (2008) que utiliza la misma Ecuación 4. Dónde, en este caso, P_{xi} es la probabilidad de encontrar suelo urbanizado en cada polígono x de un municipio i determinado. En la Figura 5 se ejemplifica el resultado para el área metropolitana de Barcelona. Con gran claridad se observa que a medida que incrementa el nivel de perifericidad, la fragmentación del tejido urbanizado también incrementa. Ello responde, naturalmente, a que la demanda de suelo es menor, al hecho de que en la periferia se ubican actividades históricamente consideradas como nocivas (p.e. polígonos industriales) situados de manera discontinua a la edificación, y también a la presencia de áreas agrícolas naturales con un mayor grado de preservación. La correlación entre el consumo de suelo y la fragmentación es, por tanto, positiva.

Figura 5. Ejemplo del cálculo de la fragmentación del tejido urbanizado en el Área Metropolitana de Barcelona

Suelo Artificializado Continuo 200m

Fragmentación

Nota: Los municipios con silueta negra son identificados como subcentros de empleo en el trabajo de Marmolejo *et al.* (2012) y recuperados en éste, mientras que la zona sombreada es el centro expandido compuesto por el CBD y los municipios conurbados que guardan íntima relación funcional con éste. A esta área los autores la han llamado *continuo económico central*.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Corine Land Cover del año 2000.

Por su parte, el indicador de policentrismo se ha introducido mediante dos variables. La primera es una variable ficticia que adopta el valor 1 si un municipio es considerado subcentro. La segunda es la distancia que separa cada municipio del CBD y la distancia inversa⁴ al subcentro al cual se encuentra adscrito funcionalmente⁵. La distancia se ha calculado a través de un análisis de rutas mínimas realizado en el software SIG *TransCAD* a partir de la malla viaria de *TeleAtlas*. De este modo, las distancias a los centros (CBD y subcentros) intentan medir el impacto que éstos irradian sobre el proceso de organización en su entorno.

Los subcentros considerados en este artículo son aquéllos detectados por Marmolejo *et al.* (2012), a partir del análisis de las relaciones funcionales basadas en la movilidad residencia-trabajo del Censo del año 2001. La Tabla 4 y la Figura 6 reproducen sintética y gráficamente los análisis de estos autores. Como se aprecia, Barcelona es la metrópolis más policéntrica. Así, sus 23 subcentros acaparan un 22% del empleo y de la población metropolitana. A

⁴ La inversa de la distancia evita los problemas de multicolinealidad producidos por el hecho de que, en algunos casos, la distancia al CBD está correlacionada con la distancia a los subcentros, debido a su proximidad espacial.

⁵ Como lo detallan Marmolejo *et al.* (2011), el procedimiento de identificación de subcentros parte de la creación de subsistemas funcionales. Un subsistema funcional es aquél en el que los municipios incluidos guardan entre sí la máxima relación funcional de tantas cuantas puedan tener. De tal suerte, que el municipio más vinculado funcionalmente con el resto, y que tiene la mayor densidad de empleo, es el subcentro. Como se ve, la propia metodología de identificación de subcentros permite adscribir de entrada cada municipio a un subcentro determinado.

continuación sigue Valencia con 17 subcentros, que acaparan respectivamente un 20% y un 19% del empleo y de la población. Bilbao se perfila como la tercera área policéntrica con 14 núcleos fuera del continuo económico central.

En el extremo contrario se encuentran las metrópolis más monocéntricas. Madrid, el sistema más grande por lo que a población y empleo se refiere, tiene apenas 8 subcentros cuya participación en la concentración de empleo y residencia es anecdótica; en ese sentido, sólo Zaragoza supera a Madrid por lo que a lo exiguo de la importancia de sus subcentros se refiere.

El caso de Málaga guarda una singularidad sin parangón, puesto que en sólo tres subcentros (el número más escaso de todo el sistema metropolitano español) se concentra una cantidad de empleo muy significativa (un 22%, casi la misma proporción que concentran los subcentros barceloneses).

Tabla 4. Estructura policéntrica de las áreas metropolitanas españolas de acuerdo con Marmolejo *et al.* (2011)

Metrópoli	LTL	LTL en CEC (%)	Subcentros derivados del análisis de movilidad			
			Subcentros fuera del CEC	LTL en subcentros fuera del CEC (%)	Pob en subcentros fuera del CEC (%)	
Madrid	2.446	72%	8	5%	6%	
Barcelona	1.904	55%	23	22%	22%	
Valencia	689	47%	17	20%	19%	
Sevilla	448	63%	7	7%	9%	
Bilbao	438	56%	14	15%	15%	
Zaragoza	302	81%	7	4%	4%	
Málaga	367	52%	3	23%	16%	

LTL en miles de personas

Fuente: Marmolejo *et al.* (2012)

Figura 6. **Número de subcentros de empleo de las principales metrópolis españolas según el trabajo de Marmolejo et al. (2012)**

Nota: Los municipios con silueta negra son identificados como subcentros de empleo en el trabajo de Marmolejo et al. (2012) y recuperados en éste, mientras que la zona sombreada es el centro expandido compuesto por el CBD y los municipios conurbados que guardan íntima relación funcional con éste. A esta área los autores la han llamado *continuo económico central*.

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos del Corine Land Cover del 2000 y del Censo de Población de 2001.

Finalmente, se presenta la Tabla 5 síntesis de los estadísticos descriptivos de las variables introducidas en el modelo.

Tabla 5. **Síntesis de los estadísticos descriptivos de las variables introducidas en el modelo**

Variables	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.	Fuente
Fragmentación	690	0,000	3,508	0,503	0,556	A
Municipio Subcentro	690	0,000	1,000	0,100	0,306	B
Municipio Costa	690	0,000	1,000	0,100	0,296	C
Pendiente Media	690	0,000	0,573	0,139	0,095	C
Complejidad Orográfica	690	0,000	2,174	1,232	0,708	C
Componente 1. De actividades intensivas con patrones de localización central	690	-2,290	6,381	0,000	1,000	D
Componente 2. De actividades basadas en la construcción	690	-3,048	4,642	0,000	1,000	D
Componente 3. De servicios intensivos públicos	690	-3,498	6,984	0,000	1,000	D
Consumo Suelo m2/per	690	0	3.240	334	416	E
N	690					

N) Número de casos/municipios

A) Corine Land Cover CLC00

C) Modelo Digital del Terreno MDT

E) Corine Land Cover CLC 00 y Censo 2001

B) Movilidad Censo 2001

D) CNAE y Censo 2001

Fuente: Elaboración propia

4. ¿Reduce el policentrismo el consumo del suelo artificializado?

Llegados a este punto, es necesario contestar la pregunta de investigación que guía este trabajo. Tras varios modelos, se ha decido sacar del estudio el área metropolitana de Bilbao, ya que las inconsistencias detectadas en el consumo del suelo declarado en la base de datos del CLC00 conllevaba a una severa infravaloración de dicho consumo. Una vez solventados los problemas de multicolinealidad, producidos por la correlación de algunas de las variables explicativas mediante la eliminación de la variable con menor poder explicativo, el mejor modelo encontrado es capaz de explicar un 49% del consumo de suelo en el sistema metropolitano español. La Tabla 6 resume los resultados de dicho modelo. En general el signo de las covariables y de los factores es el esperado.

Tabla 6. **Modelo de regresión de consumo de suelo para las principales metrópolis españolas**

Modelo de Regresión Múltiple			
	Coeficientes		
	B	Beta	Sigma
Constante	-0,503		0,000
Componente 1. De actividades intensivas con patrones de localización central	-0,347	-0,367	0,000
Componente 2. De actividades basadas en la construcción	0,212	0,220	0,000
Fragmentación	0,491	0,292	0,000
Pertenencia Área Metropolitana de Málaga	-0,158	-0,362	0,000
Pertenencia Área Metropolitana de Sevilla	-0,664	-0,194	0,000
Pertenencia Área Metropolitana de Valencia	-0,503	-0,202	0,000
Pertenencia Área Metropolitana de Barcelona	-0,199	-0,096	0,010
Municipio subcentro	-0,279	-0,090	0,002
Resumen del modelo			
R	0,704		
R cuadrado	0,496		
R cuadrado corregida	0,489		
Error típico de la estimación	0,669		
Durbin- Watson	1,927		

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con el coeficiente tipificado beta, el principal factor explicativo del consumo de suelo es la estructura de la actividad económica, tanto es así, que los dos indicadores que la sintetizan han entrado al modelo con un alto nivel explicativo y de significancia. De esta manera, cuantas más actividades centrales intensivas existen, como aquéllas basadas en edificios de oficinas (p.e. servicios empresariales, financieros, administrativos, etc.), menor es el consumo de suelo (Beta = - 0,367), al tiempo que el componente principal 2, que explica la presencia de actividades constructivas de baja densidad (y por tanto el modelo urbanístico disperso) contribuye como es evidente a incrementar el consumo de suelo (Beta = + 0,220). A continuación entran variables relacionadas con la estructura urbana, pero no con el nivel de policentrismo, sino con la fragmentación. De esta manera, cuantos más fragmentados son los tejidos urbanos, mayor es el consumo de suelo (Beta = + 0,292). La estructura del territorio y más particularmente la complejidad orográfica, está positivamente correlacionada con el consumo de suelo (Beta = + 0,236), esto es plenamente coherente con el hecho de que las zonas escarpadas, o aquéllas en donde la pendiente cambia de dirección continuamente, son raramente urbanizadas en alta densidad, debido al sobre coste que significa el movimiento de tierras, la provisión de servicios domiciliarios y, sobre todo, la solución de las necesidades de movilidad. Llama poderosamente la atención que la pendiente, una vez que la complejidad orográfica ha sido considerada, no tiene un poder explicativo suficientemente significativo para ser tomada en cuenta.

A continuación entran, en signo negativo, las variables *dummy* de todas las áreas metropolitanas, a excepción de Madrid y Zaragoza. Esto es significativo de que, una vez que las diferencias entre la estructura económica, territorial y nivel de fragmentación de los tejidos urbanizados de las diferentes áreas metropolitanas han sido controladas, *Madrid y Zaragoza*

consumen más suelo per cápita y son, por ende, los modelos de urbanización con un nivel de sostenibilidad más comprometido dentro del universo metropolitano español por cuanto al consumo de suelo se refiere. En este sentido, el modelo de regresión que tiene la virtud de aislar el efecto de las covariables permite asegurar que en Barcelona, a pesar de que el consumo de suelo per cápita medio metropolitano sea ligeramente superior al de Madrid, el modelo de urbanización barcelonés es más sostenible que no el madrileño, el mayor consumo de suelo en Barcelona es fruto de una estructura económica sensiblemente más industrializada y una mayor complejidad orográfica impuesta por los sistemas prelitoral y litoral frente a un territorio más llano del altiplano en el cual se desarrolla la inmensa mayor parte del sistema urbano de la capital de España.

Escudriñados todos los factores que inciden en la explicación del consumo de suelo, queda decir que el policentrismo apenas tiene incidencia en el mismo. En efecto, el impacto del policentrismo se limita al municipio detectado como subcentro ($\text{Beta} = -0,09$) y no se extiende allende del mismo, en tanto cuanto que la distancia al subcentro adscrito no ha resultado estadísticamente significativa en nuestros estudios. *Hay que buscar, por tanto, las bondades de los modelos de crecimiento policéntrico en otros vectores ambientales.*

5. Conclusiones

En este artículo se intenta probar la relación entre el policentrismo y el consumo de suelo. Desde una perspectiva teórica, se esperaría que la densidad demográfica, es decir, la inversa del consumo de suelo per cápita, estuviese influenciada por la proximidad al CBD y a los subcentros. Mediante un modelo de regresión múltiple, esta relación ha sido puesta a prueba a escala de las siete grandes áreas metropolitanas del estado español. Una vez que otras variables afiliadas a la matriz territorial y la estructura de la actividad económica han sido controladas, el papel de los subcentros en la reducción del consumo de suelo es, por demás, exiguo. No sólo no son los subcentros significativos en la reducción del consumo de suelo de los municipios que los rodean, sino que incluso, la reducción del consumo de suelo en los propios subcentros está muy por detrás, en términos de significancia e importancia estadística, de otros factores. En efecto, es la estructura de la actividad económica y, más en el fondo, el carácter intensivo/extensivo de los lugares de trabajo localizados, los factores determinantes del consumo de suelo, seguidos por la naturaleza orográfica de la matriz territorial que da sustento físico a las metrópolis, y el nivel de fragmentación de los tejidos urbanizados. Así, cuanto más compleja es la matriz territorial y cuanto mayor es la ruptura de los tejidos urbanos mayor es el consumo de suelo per cápita.

Hace falta, por tanto, evaluar con más profundidad hasta qué punto la naturaleza de los modelos policéntricos adoptados como bandera de batalla por los planificadores territoriales y urbanos a todos los niveles, produce efectivamente sistemas urbanos más sostenibles y eficientes, como hasta ahora se ha anunciado.

Agradecimientos

Este trabajo se deriva de la tesis de la autora principal, dirigida por el co-autor, con título *Estudio sobre el impacto de la estructura urbana en la eficiencia de la urbanización: un primer análisis del consumo de suelo en las 7 principales metrópolis españolas*, realizada en el marco del Máster Universitario de Investigación en Gestión y Valoración Urbana y en el marco del proyecto de investigación *¿Hacia un sistema de metrópolis españolas policéntricas?: Evolución, caracterización e influencia de los subcentros metropolitanos sobre la eficiencia de la urbanización*. Dicho proyecto es financiado por el extinto Ministerio de Ciencia e Innovación bajo el código CSO-2009-07218, siendo el investigador principal el co-autor de este artículo.

Bibliografía

CHAMBERS, I. *Some Metropolitan Tales*. En: Border Dialogues: Journeys in Postmodernity. Routledge, Londres y Nueva York, 1990, pp: 53-54.

COMISIÓN Europea. Estrategia Territorial Europea. *Hacia un desarrollo equilibrado y sostenible del territorio de la UE*. Comisión Europea, Luxemburgo, 1990. 96 p.

GARCÍA, J.C. y GUTIÉRREZ, J. *La ciudad dispersa: cambios recientes en los espacios residenciales de la comunidad de Madrid*. Departamento de Geografía Humana, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 2007. 30 p.

MARMOLEJO, C. *et al.* *Policentrismo en el sistema urbano español: un análisis para 7 áreas metropolitanas*. En: Ciudad y Territorio Sostenible. Estudios territoriales, próxima publicación, 2012.

MARMOLEJO, C. y ROCA, J. *La localización intrametropolitana de las actividades de la información: un análisis para la región metropolitana de Barcelona 1991-2001*. En: Scripta Nova: Revista electrónica de geografía y ciencias sociales, vol. XII, núm. 268, p. 1-30, 2008.

MARMOLEJO, C. y ROCA, J. *Hacia un modelo teórico del comportamiento espacial de las actividades de oficina*. En: Scripta Nova. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales, vol. X, núm. 217, p. 1-20, 2006.

MARMOLEJO, C. y STALLBOHM, M. *En contra de la ciudad fragmentada: ¿Hacia un cambio de paradigma urbanístico en la región metropolitana de Barcelona?* En: Scripta Nova. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales, Vol. XII, núm. 270 (65), 2008.

MUÑOZ, F. *La ciudad de baja densidad: Lógicas, gestión y contención*. En: Colección Estudios Serie Territorio, núm 1, pp: 51-84, 2007.

O'SULLIVAN, A. *Economics: Principles applications, and tools*. Ed. Pearson Education Limited, Oregon State University, 2007. 792 p.

ROCA, J. *et al.* *Urban Structure and Polycentrism: Towards a redefinition of the sub-centre concept*. En: *Urban Studies*, 46: 2841- 2868, 2009.

ROCA, J. *et al.* *Estructura urbana, Policentrismo y Sprawl, los ejemplos de Madrid y Barcelona*. En: *Ciudad y Territorio*, XLIII (168): 299-321, 2011.

SIMÓN, R. y HERNÁNDEZ, A. *Relaciones entre cambio de modelo urbano-territorial y consumo de suelo en los municipios españoles*. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2009. 19 p.