



EL URBAN SPRAWL

UN MODELO DE URBANIZACIÓN INSOSTENIBLE

TESIS DOCTORAL
BLANCA ARELLANO RAMOS

DIRECTOR
JOSEP ROCA CLADERA



Universidad Politècnica de Catalunya
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona
Programa de Doctorado en Gestión y Valoración Urbana y Arquitectónica

EL URBAN SPRAWL

UN MODELO DE URBANIZACIÓN INSOSTENIBLE

Tesis presentada para obtener el título de Doctora por:

Blanca Esmaragda Arellano Ramos

Dirigida por:

Josep Roca Cladera



Barcelona, a verano de 2022.

Índice

EL URBAN SPRAWL. UN MODELO DE URBANIZACIÓN INSOSTENIBLE

Índice	Página
Capítulo I	
1. Introducción	1
1.1. El Urban Sprawl, ¿fenómeno planetario?	2
1.2. Objetivo de la tesis	16
1.2.1. Objetivo General	
1.2.2. Hipótesis de investigación	
1.2.3. Objetivos específicos	
1.3. Metodología	17
1.4. Estructura de la tesis	17
1.5. Agradecimientos	22
Capítulo II	
2. Una primera aproximación al Urban Sprawl en el mundo	24
2.1. El Urban Sprawl: ¿un fenómeno de alcance planetario? Los ejemplos de México y España.	26
2.2. The Urban Sprawl: an overview of USA, Mexico and Spain.	30
2.3. Urban Detection, delimitation and Morphology: Comparative analysis of selective megacities.	31
2.4. Sprawl en las metrópolis europeas: las periferias metropolitanas, ¿principal escenario de la dispersión de la urbanización en Europa?	33
Aportación 1	37
Aportación 2	73
Aportación 3	104
Aportación 4	110
Capítulo III	
3. Estructura Urbana y Sprawl. Una aproximación a partir del Valor de Interacción	133
3.1. El Sistema Urbano en España.	135
3.2. La distribución del tamaño de las ciudades. La Ley de Zipf revisitada.	139

3.3. Estructura urbana, policentrismo y sprawl: los ejemplos de Madrid y Barcelona.	142
3.4. Towards a new methodology to evaluate the urban structure of the metropolitan systems: Chicago and Barcelona Metropolitan Areas as examples.	146
3.5. Monocentrism, polycentrism and environmental efficiency. Chicago and Los Angeles Metropolitan Areas as examples.	149
Aportación 5	152
Aportación 6	171
Aportación 7	196
Aportación 8	219
Aportación 9	234

Capítulo IV

4. El Urban Sprawl a escala mundial. Una aproximación a partir de las luces nocturnas	261
4.1. Las megaestructuras urbanas del siglo XXI: un ensayo para la identificación y caracterización de las megalópolis.	263
4.2. Landscapes impacted by light.	259
4.3. Defining urban and rural areas: a new approach.	273
4.4. The urbanization impact in China: A prospective model (1992-2025).	277
Aportación 10	282
Aportación 11	316
Aportación 12	324
Aportación 13	343

Capítulo V

5. El fenómeno del Urban Sprawl en la Región y el Área Metropolitana de Barcelona	361
5.1. Delimitación de los sistemas urbanos a partir de imágenes de luces nocturnas	363

5.2. Identificar el urban sprawl mediante las luces nocturnas: una asignatura pendiente	366
Aportación 14	369
Aportación 15	377
Aportación 16	385

Capítulo VI

6. Clima Urbano y Urban Sprawl	397
6.1. Identifying Urban Heat Island. The Barcelona Case.	401
6.2. Green areas and urban heat island: Combining remote sensed data with ground observations.	407
6.3. Remote Sensing and nighttime Urban Heat Island.	412
6.4. Modelling nighttime air temperature from remote sensing imagery and GIS data.	417
Aportación 17	423
Aportación 18	438
Aportación 19	456
Aportación 20	464

Capítulo VII

7. Conclusiones	475
Bibliografía	505

1

Introducción

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

La de tesis doctoral que aquí se presenta, representa la síntesis de 10 años de investigación y de la participación de la autora en cinco proyectos competitivos de investigación, que más adelante se detallan. Consiste en una tesis por compendio de publicaciones, en el marco de la Normativa para la presentación de Tesis Doctorales del Programa de Doctorado de Gestión y Valoración Urbana y Arquitectónica (PD GVUA), aprobado por la Comissió Permanent de l'Escola de Doctorat de la UPC el 19/07/2019.

El presente capítulo de introducción se desarrolla en cuatro partes diferenciadas. En primer lugar, se presenta a grandes rasgos el proceso de urbanización que se ha venido a denominar Urban Sprawl, su difusión a escala planetaria, así como los problemas que su expansión ha generado. En segundo lugar, se desarrollan los objetivos de la tesis, así como las principales hipótesis en que esta se apoya. A continuación, una sucinta explicación de las metodologías empleadas. En cuarto lugar, ocupará la atención la explicación de la estructura de la investigación, considerando que consiste en una tesis por compendio de publicaciones. Finalmente, se procederá a reconocer la contribución que al trabajo aquí presentado han tenido las personas que me han ayudado en su elaboración, así como a las instituciones y proyectos de investigación que la han hecho posible.

1.1 El Urban Sprawl, ¿fenómeno planetario?

La segunda mitad del siglo XX ha sido, sin duda, la época en que se ha producido un mayor desarrollo de la urbanización a escala planetaria. Según la ONU (United Nations, 2012)¹ la población humana ha pasado, entre 1950 y 2000, de 2.532 a 6.123 millones de personas, un crecimiento del 141,79%². Sin embargo, población (total) y urbanización (entendida como población urbana) han tenido un comportamiento diferenciado. El crecimiento de la población que vive en ciudades ha aumentado de forma exponencial, a diferencia del crecimiento de la población total del planeta que ha sido de carácter lineal (figura n. 1). Así en 2.000, 2.859 millones de personas habitaban en áreas urbanizadas, frente a 745 millones en 1950 y los 215 de 1900. La población urbana, por tanto, ha pasado de representar un 13% al iniciarse el siglo XX a situarse en el 29,4% en 1950, hasta el 46,7% al acabar la anterior centuria³.

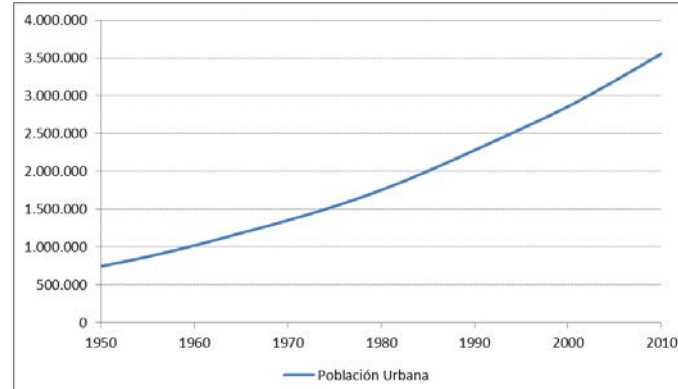
¹ United Nations Population (2012): *World Urbanization Prospects: The 2011 Revision*. United Nations Population Division.

² El crecimiento de la población en la Tierra también ha tenido un comportamiento (más que) exponencial, si consideramos el conjunto de la historia humana. En el curso de la vida de las personas que nacieron en 1950, la población de la Tierra ha crecido más (4.363.660.000 habitantes) que en el transcurso de ¿6.000? generaciones anteriores (2.532.229.000 habitantes). Sin embargo, desde finales del siglo XX dicho crecimiento, “exponencial”, ha comenzado a frenarse, teniendo en la actualidad un comportamiento básicamente lineal. Dicho crecimiento lineal parece que se mantendrá, como mínimo, hasta 2050, para luego ir decayendo progresivamente.

³ En ese proceso urbanizador, los países iberoamericanos, y por supuesto España y Portugal, no han sido una excepción. En España, por ejemplo, en 1950 un 48,1% de los ciudadanos residía todavía en áreas rurales, siendo un país de carácter básicamente rural. Portugal dicha proporción era incluso superior, un 68,8% (aunque para entender en parte esa gran diferencia con España hay que acudir a las definiciones española y portuguesa de población urbana). En el caso de Iberoamérica, la población residente en las ciudades era, en 1950, del 41,4% y ya superaría el 50% entre 1960 y 1965 (México en 1960, Brasil y

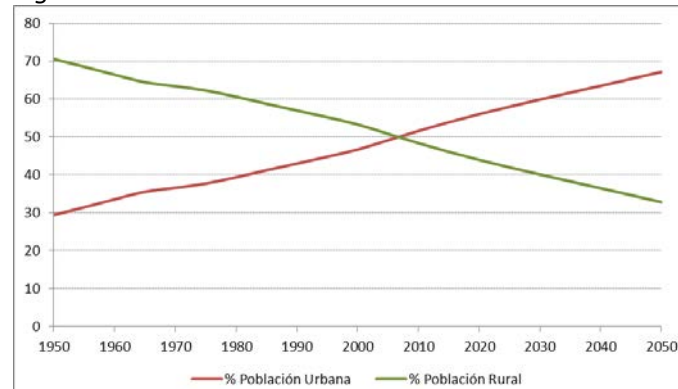
Como se puede observar en la figura n. 2, hacia 2006, según la NN.UU., la población que vivía en ciudades superó la población rural, estimándose que hacia 2050 ya la habrá duplicado. Así, en 1950 tan sólo 53 países de los 229 de los que suministra datos la ONU, tenía un porcentaje de población urbana superior al 50% (y tan sólo 23 de ellos, superior al 70%⁴); en 1975 ya habían alcanzado esa proporción 97 países; en 2000 la cifra había alcanzado 132; en 2025, 157; y en 2050, según cálculo de las Naciones Unidas, serán 197⁵. *La tendencia hacia la urbanización, enunciada entre otros por Kingsley Davis (1969)⁶, parece, por tanto, continuará marcando, aunque de forma menos pronunciada, la primera mitad del siglo XXI.*

Figura n.1: Evolución de la población Urbana (1900-2010)



Fuente: United Nations Population Division, *World Urbanization Prospects: The 2011 Revision*
Elaboración propia

Figura n. 2: Evolución de la Población Urbana. 1950-2050



Fuente: United Nations Population Division, *World Urbanization Prospects: The 2011 Revision*

Colombia en 1965, entre los países más destacados). En 2010 (momento en el que se redactó el proyecto de tesis), Iberoamérica tenía un porcentaje de población residente en áreas urbanas muy elevado (78,8%), superior a la media europea (70,8%), y también a España (77,3%) y Portugal (60,5%). 33 de los 46 países iberoamericanos tenían una proporción de población urbana superior al 50%, y de los 13 restantes en los que la población rural aún dominaba sobre la urbana, 12 respondían a islas-estado de población muy escasa.

⁴ Y de esos 23 países, tan sólo 9 (Bélgica, Malta, Qatar, Reino Unido, Uruguay, Australia, Islandia, Nueva Zelanda e Israel) correspondían a Estados “verdaderos”, el resto se trataba de “ciudades-estado” o pequeñas islas-estado. En esa lista selecta de países plenamente urbanizados no se encontraban Estados Unidos (64,2% de población urbana), Alemania (68,1%) o Francia (55,2%).

⁵ Por poner un solo ejemplo de la magnitud del proceso urbanizador, incluso el continente africano superará en 2050 el 50% de población urbana, alcanzando de forma global un 57,7% de población en ciudades. Sólo 12 de 58 países africanos tendrán una población rural que exceda la población residente en áreas urbanizadas.

⁶ Davis, K. (1969): *World urbanization, 1950-1970*. Institute of International Studies, University of California in Berkeley. Berkeley, California.

Siguiendo al gran ecólogo Ramón Margalef, a lo largo del siglo XX se habría producido una auténtica *inversión en la topología del paisaje*. Las redes de urbanización, que aún hace pocos decenios no representaban sino elementos aislados en el conjunto del medio rural, han pasado a extenderse por la totalidad del territorio, configurando un nuevo “paisaje”. Paisaje en el que lo rural ya no representa sino “islas” en el conjunto del suelo altamente artificializado por la urbanización. Y ese cambio se ha producido en el transcurso de una generación. Las mujeres y los hombres que nacieron en 1950 han visto con sus propios ojos la magnitud de ese cambio. *Cambio que se ha caracterizado no sólo por la urbanización progresiva, sino por el continuado incremento de consumo de suelo por habitante: el proceso que se ha denominado Urban Sprawl.*

La expansión de la urbanización, a lo largo de los siglos XX y XXI, ha tenido diversas etapas bien delimitadas. Se ha producido un progresivo cambio de escala, que ha sobrepasado, primero, el ámbito de lo local, para adquirir una dimensión regional e, incluso, transnacional.

Las ciudades, que, a lo largo de la segunda mitad del siglo XIX, habían roto los estrechos corsés de las murallas que limitaban su crecimiento⁷, vieron aparecer, desde inicios del siglo XX, excepcionales procesos de crecimiento vinculados a la *mejora de las comunicaciones urbanas*. La irrupción de los tranvías⁸, y, sobre todo, del ferrocarril metropolitano⁹ impulsaron el *proceso de suburbanización*, con la progresiva separación de las actividades residenciales y de trabajo. La *ciudad jardín* (véase la figura 3) representaría el ideario colectivo de esa transformación.

Pronto el fenómeno de *la ciudad jardín se convirtió en una especie de urbanismo vernáculo*, con extraordinarios ejemplos a escala norteamericana y europea¹⁰. Urbanismo de densidad por lo

⁷ Esa ruptura de los límites amurallados representó un incipiente crecimiento metropolitano. La demolición de las murallas, acaecida en Londres entre 1760 y 1767, impulsaría el desarrollo urbano más allá de la City of London (2,8 km², 130.000 habitantes en 1800): no en vano puede decirse que Londres es la primera metrópolis moderna. El Metropolitan Board of Works (MBW), creado en 1855, fue, probablemente, el primer órgano de gobierno metropolitano en el mundo. La mucho más tardía demolición de los muros en París (Enceinte de Thiers, demolida entre 1882 y 1929), puede explicar en parte el posterior crecimiento metropolitano de la capital francesa respecto a Londres, cuyo crecimiento había desbordado tiempo atrás (*La Zone*) los límites amurallados. En Viena, la tercera gran ciudad europea, la demolición de los muros tuvo lugar a partir de 1850, permitiendo la aparición del Ringstrasse, y la conversión del Innere Stadt (ciudad antigua de Viena, 3 km²) en la gran Viena de finales del siglo XIX. En Barcelona, la demolición de las murallas tuvo lugar en 1854, permitiendo el crecimiento de Ciutat Vella (el municipio de Barcelona en 1857, con 2,2 km² y 183.787 habitantes) sobre los municipios vecinos.

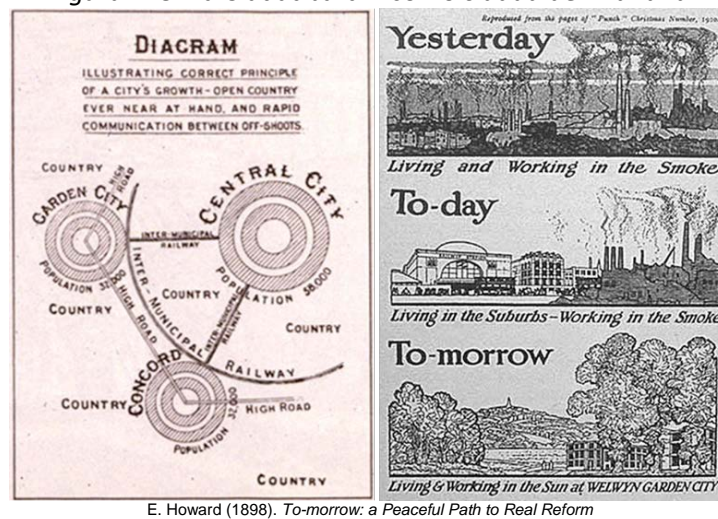
⁸ La irrupción de los tranvías (trolley cars) data de 1888, implicando un desarrollo excepcional en relación a los anteriores sistemas de transporte masivo urbanos, los “omnibus” (carruajes tirados por caballos, New York 1827), los “streetcars” (similares a los omnibus pero discurriendo sobre vías, New York, 1832) o los “cable cars” (San Francisco, 1871).

⁹ El ferrocarril metropolitano de Londres, o metropolitan railway, empezó a construirse en 1863, implicando un desarrollo considerable respecto al primer railway que había unido Londres con Greenwich en 1841. En 1889, la Circle Line estaba en pleno funcionamiento. Por su parte en New York el “elevated” empezó a funcionar a partir de 1867 (en Chicago, en 1892), y el metro (Subway) en 1904.

¹⁰ La Garden City Association, junto con la Town Planning Confernece organizada en 1910, impulsaría, en 1913, la creación de la *International Garden Cities and Town Planning Association*, que se encargaría de la propagación de la Ciudad Jardín en el resto del mundo. En Barcelona, Cebrià de Montoliu, impulsaría el citado movimiento. Véase Torres Capell, M. 1978. *El planejament urbà i la crisi de 1917 a Barcelona : la racionalitat urbanística en el seu context econòmic i polític*, tesis doctoral, 1978. También Franquesa, J. 2008. *Una experiència urbana retrobada : les comunitats jardí a Catalunya*, tesis doctoral, 2008.

general baja, pero estrechamente conectado con el resto de la ciudad por medio de la red pública de transporte¹¹.

Figura n. 3: La Ciudad Jardín como *ciudad del mañana*



E. Howard (1898). *To-morrow: a Peaceful Path to Real Reform*

La irrupción del automóvil y la adaptación de la ciudad al nuevo sistema de transporte (apareciendo, entre otros artefactos, las autopistas urbanas) *revolucionó el proceso de urbanización*. Un cambio de escala que representaría el desbordamiento de los tradicionales límites municipales y la irrupción de nuevos “artefactos”, las *áreas metropolitanas*, las cuales vendrían progresivamente a “sustituir” a las “grandes ciudades”¹².

Por poner un solo ejemplo (véase figura 4), Los Ángeles pasó de ser la ciudad con el mejor transporte público del mundo en 1920, con más de 1.600 km de extensión de su red de tranvías, a convertirse en pionera de las autopistas urbanas¹³.

¹¹ Véanse las tesis del Master de Gestión y Valoración Urbana y Arquitectónica y dirigidas por mí de Isabel Bosquet (2012): *La influencia de las infraestructuras del transporte en las dinámicas de transformación urbana: estudio del área metropolitana de Londres* (<https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/16956>), así como de Paola Quezada (2013): *Modelos de ocupación urbana y espacio público: caso de estudio Sant Cugat del Vallés* (<https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/19998>).

¹² Hasta bien entrado el siglo XX, el cambio de escala producido por el desbordamiento municipal resultante del crecimiento urbano generado con la demolición de las murallas se solventó con la *absorción por las ciudades centrales de los municipios vecinos*. Ese fue el caso, como se ha indicado, de París, en los que la Ley de 1859 absorbió 11 municipios (dejando la ciudad en 78 km²) hasta su ampliación en 1929 a los 105 km² actuales. Procesos similares se sucedieron en Barcelona (1898-2021, 100 km) o Madrid (1949-1954, 606 km²). En el caso de Berlín, Groß-Berlin-Gesetz se creó por ley en 1920, pasando de 66 km² hasta 883 km² y la población se dobló de aproximadamente 1,9 millones a cerca de 4 millones de habitantes. Caso aparte es el de Londres: el County of London (303 km²), creado en 1889, e identificado ahora como Inner London, incluyó los que se consideraron boroughs metropolitanos junto a la City of London. Posteriormente, la London Government Act 1963 creó Greater London, que agrupa 32 boroughs además de la City of London, extendiéndose sobre 1.569 km². Ámbito que suelo identificarse en la actualidad con la ciudad de Londres.

¹³ Para tener un orden de magnitud de lo que llegó a representar esa red cabe indicar que Los Ángeles tenía, en 1920, 576.000 habitantes; para esa fecha, Barcelona tenía 705.000 habitantes, con 220 km de extensión de su red de tranvías en su momento de máximo esplendor (1929). En 1938 (recorte del diario Los Ángeles Times) la red de autopistas (muy anterior a la Federal Aid Highway Act que generalizaría las autopistas en USA) propuestas para la ciudad se extendió sobre 420 millas, con un trazado muchas veces coincidente con la red de tranvías, que se desmanteló. Para un mayor conocimiento de esa extraordinaria transformación, véase *Who Framed Roger Rabbit*, film de Robert Zemeckis, 1988.

Figura n. 4: Tranvías vs. Autopistas Urbanas. Los Ángeles 1920-1938



La metropolitanización ha sido, sin duda, el principal resultado del proceso de urbanización desarrollado en el siglo XX, en el que el Urban Sprawl ha tenido un protagonismo relevante. La capacidad del automóvil privado de acceder a prácticamente cualquier lugar (en el que existiese, obviamente, acceso rodado) ha generalizado el mito del sueño americano: una casa (individual) y un (o más) coche. Imaginario colectivo que tuvo, tras la Segunda Guerra Mundial su momento de apogeo.

En los años 50, en los EE.UU. se parcelaron 1.200 Ha por día, representando 13 millones de viviendas en toda la década. La promoción en serie de viviendas unifamiliares en la periferia de las ciudades fue el modelo escogido para surgir de la crisis económica de la postguerra (así como para compensar a los veteranos de guerra)¹⁴. En USA, y si nos referimos a las áreas metropolitanas de más de un millón de habitantes, se pasó de un consumo de suelo de 161 millas cuadradas por 1.000 habitantes en 1950 a 243 en 1970 y 293 en 1990, lo que representó un incremento de 384 millas cuadradas por cada nuevos 1.000 habitantes entre 1950 y 1970, así como a 527 en el periodo 1970-1990. Según Fulton et al. (2001)¹⁵, entre 1982 y 1997, la suma de suelo urbanizado en USA creció un 47%, frente a tan sólo un 17% la población. De 281 áreas metropolitanas, únicamente un 6% devinieron en este mismo periodo más densas, perdiendo densidad el 94%.

En Europa el proceso de Sprawl también ha sido significativo. Según la EEA (2006):

“All available evidence demonstrates conclusively that urban sprawl has accompanied the growth of urban areas across Europe over the past 50 years. The areas with the most visible impacts of urban sprawl are in countries or regions with high population density and economic activity (Belgium, the Netherlands, southern and western Germany, northern Italy, the Paris region) and/or rapid economic growth (Ireland, Portugal, eastern Germany, the Madrid region). Sprawl is particularly evident where countries or regions have benefited from EU regional policies. New development patterns can also be observed, around smaller towns or in the countryside, along transportation corridors, and along many parts of the coast usually connected to river valleys. The latter is exemplified by the so-called 'inverse T' of urban sprawl along the Rhône valley down to the Mediterranean coast. Hot spots of urban sprawl are also common along already highly populated coastal strips, such as in the case of Spain where the artificial areas may cover up to 50 % of the total land area. This is doubly worrying given the known

¹⁴ Ejemplo paradigmático es, en este sentido, el de Lewitown, en la periferia metropolitana de New York, donde se construía una vivienda cada 16 minutos. Y se vendía por un precio de 18.000 USD, equivalente a 71.000 USD actuales.

¹⁵ Fulton, W., Pendall, R., Nguyen, M. & Harrison, A. (2001). Who Sprawls Most? *How Growth Patterns Differ Across the U.S.*, Center on Urban & Metropolitan Policy, July 2001, The Brookings Institution, Survey Series.

vulnerability of coastal ecosystems and because the Mediterranean region is classified as one of 34 biodiversity hotspots in the world.”¹⁶

La estructura de la ocupación del territorio ha sufrido, por tanto, una evolución trascendental en el curso de las últimas décadas, transformándose de un modelo urbano continuo y de densidades medias y altas, a modelos de ciudad progresivamente difusos y dispersos¹⁷. Esta redefinición del modelo territorial se ha basado en las nuevas redes de infraestructura de comunicación y ha dado como resultado una forma de ciudad expansionista, insostenible, consumidora y depredadora de territorio.

La *Ciudad Jardín* ha devenido *Urban Sprawl*. La generalización y banalización del *modelo vernáculo* de urbanización propuesto por E. Howard en 1898, se convirtió en *international style*, con su difusión al mundo entero (o, como mínimo, al mundo más desarrollado y a su área de influencia). La figura n. 5 presenta el mito de esa ciudad de baja densidad y de acusada dispersión en el territorio: su autor, Frank Lloyd Wright¹⁸. Arquitecto genial y ... pésimo urbanista.

Figura n. 5: Broadacre City



Fuente: The Disappearing City, Frank Lloyd Wright. Frank Lloyd Wright Collected Writings, volume 3: 1931-39

¹⁶ European Environment Agency – EEA (2006): *Urban sprawl in Europe. The ignored challenge*. European Commission/Joint Research Centre.

¹⁷ G. Dematteis (Suburbanización y periurbanización. Ciudades anglosajonas y ciudades latinas. En Montclús, F.: *La ciudad dispersa. Suburbanización y nuevas periferias*. Barcelona, Centro de Cultura Contemporánea de Barcelona, 1998) ha puesto de relieve como el fenómeno del Urban Sprawl corresponde a la ulterior evolución de uno de los dos grandes modelos de asentamiento humano (en Europa) desarrollados a lo largo de la historia, el *modelo disperso*, especialmente vinculado a la Europa septentrional, y a su estructura de derecho, el derecho germánico o el common law británico. Frente a dicho modelo de ocupación del territorio, los países latinos habrían desarrollado un *sistema compacto de asentamiento*, en el cual el derecho romano vinculado a la urbs o la civitas, heredado de la polis griega, habría tenido un papel relevante. En la Europa mediterránea la ciudad se habría caracterizado por su compacidad y por la neta separación entre los paisajes urbano y rural. Las ciudades, amuralladas, habrían tenido después, en la Edad Media, razones suplementarias, de orden defensivo, para permanecer “cerradas” al exterior, pero habría persistido una forma de ocupación del territorio caracterizada por la concentración de la población en ciudades y pueblos. El ejemplo de la colonización del territorio en la “Reconquista” española, como en la colonización de América, es una evidencia del mantenimiento de esa forma de urbanización compacta. Para Dematteis, la característica del proceso de urbanización en Europa sería progresiva transformación del modelo de ciudad compacta, propia de la ciudad latina, hacia modelos cada vez más dispersos, fruto de la influencia del estilo de vida “americano”.

¹⁸ Es una paradoja lo ocurrido con FLW. De autor de alguna de las más hermosas viviendas unifamiliares en Oak Park, paradigmático ejemplo de la primera Suburbanización, urbanismo *vernáculo* conectado a través del transporte público (el Elevated de Chicago), a difusor de la Broadacre City, paradigma de la insostenibilidad.

A pesar de que la difusión del modelo de bajas densidades y urbanización dispersa, es un hecho incontrovertido en Europa, Australia/Nueva Zelanda y buena parte de Iberoamérica, la permanencia de altas densidades en Asia y África pone en duda la respuesta afirmativa a la pregunta acerca de si *el Urban Sprawl, es realmente un fenómeno planetario*. Las formas de ocupación del territorio de los asentamientos humanos son, ciertamente, muy diversas, lo que dificulta en extremo identificar los procesos de Sprawl.

No hay duda de que la literatura especializada ha venido prestando una atención creciente al Urban Sprawl. Al parecer el término fue acuñado en 1937 por Earle Draper (Nechyba & Walsh, 2002¹⁹), y, como ha indicado, Hess (2001)²⁰, las referencias al Sprawl en los últimos 50 años han crecido más que exponencialmente, afectando a un número creciente de países. Explotando la base de datos de Scopus, he detectado 1.265 artículos entre 1952 y 2011 que hagan referencia a dicho concepto. Distribuidos por décadas dichos artículos han representado, respecto al total publicado en *Urban Studies*, el 0,16% en los años 50, 0,24% en los 60', 2,53% en los 70', 7,51% en los 80', 12,73% en los 90', y ¡¡73,52%!! en la primera década del siglo XXI.

A pesar de que la mayor parte de los trabajos se refiere a USA, la irrupción de otros muchos países, especialmente China, en la última década muestra un interés creciente más allá del principal país generador del fenómeno del Sprawl. La dispersión de la urbanización ha hecho acto de presencia no sólo en los países con una mayor tradición de desarrollo suburbano, sino también en las ciudades caracterizadas por una forma de crecimiento compacta, como las latino-mediterráneas. En este sentido la mayor parte de autores han reconocido la generalización del proceso de Sprawl a escala planetaria (Fulton *et al*, 2001; Wasmer, 2008²¹; Nechyba and Randall P. Walsh, 2002; Tsai, 2005²²). El alcance del mismo, no obstante lo anterior, es aún objeto de debate.

Schneider & Woodcock (2008)²³, analizando la evolución del consumo de suelo entre 1990 y 2000 en 25 ciudades de todo el mundo, han mostrado diferencias estructurales en las formas e intensidades de ocupación del espacio por la urbanización, no pudiendo afirmarse con rotundidad la generalización del Sprawl, al menos en su arquetipo estadounidense, a escala global.

Por su parte, Arellano & Roca (2010)²⁴ han confirmado, utilizando una base datos de alcance mundial (Demographia, 2007), la correlación existente entre nivel de renta y consumo de suelo. En dicho trabajo se ha confirmado, asimismo, la importancia de los patrones de asentamiento humano históricamente heredados, los cuales conducen a dos tipos de dispersión urbana claramente diferenciados: la motivada por los procesos de Sprawl vinculados a sociedades de economía fuertemente terciarizada (USA, Canadá, Australia, ...), de aquellos otros relacionados

¹⁹ Nechyba, T., & Walsh, R. (2002): Urban sprawl. *Journal of Economic Perspectives*, 18, 177–200.

²⁰ Hess, G.R. (2001): Just What is Sprawl, Anyway?, *Carolina Planning*, University of North Carolina Department of City and Regional Planning, Volume 26, Issue 2 (Summer 2001): 11-26.

²¹ Wassmer, R.W. (2008). Causes of urban sprawl in the United States: Auto reliance as compared to natural evolution, flight from blight, and local revenue reliance, *Journal of Policy Analysis and Management*, Volume 27, Issue 3, June 2008, Pages 536-555.

²² Tsai, Y. H. (2005). Quantifying Urban Form: Compactness versus 'Sprawl', *Urban Studies*, 42(1): 141–161, 2005.

²³ Schneider, A. & Woodcock, C.E. (2008). Compact, Dispersed, Fragmented, Extensive? A Comparison of Urban Growth in Twenty-five Global Cities using Remotely Sensed Data, Pattern Metrics and Census Information, *Urban Studies*, 2008 45: 659-692.

²⁴ Arellano, B. & Roca, J. (2010). El Urban Sprawl, ¿Un Fenómeno de Alcance Planetario? Los Ejemplos de México y España, *Arquitectura, Ciudad y Entorno*, Año IV, núm. 12 febrero. P. 115-147. Se trata, dicha publicación, del resultado de la tesis de master, representando la primera aportación de esta tesis.

con formas agrarias de vida (especialmente en África, pero también en la Europa oriental). Frente a dichas regiones caracterizadas por las bajas densidades, Asia oriental y la América de habla hispana mantendrían formas de asentamiento humano caracterizadas por la elevada densidad.

El debate sobre si el Urban Sprawl es un fenómeno de alcance planetario continúa, por tanto, siendo un tema abierto. El caso de Iberoamérica es, en este sentido, paradigmático. Las urbes americanas de habla latina, herederas del modelo compacto de la colonización española y portuguesa, han devenido escenario de grandes tensiones en los últimos 50 años. Siguiendo a Borsdorf (2003)²⁵ en América Latina cabe distinguir los procesos de crecimiento experimentados hasta bien entrados los 70' (caracterizados por las altas densidades, la polarización social, las migraciones internas y la proliferación de barrios marginales) de las nuevas formas de urbanización, fragmentadas y dispersas que han caracterizado las últimas décadas. En este sentido el modelo de Sprawl parece haber hecho también irrupción en "Latino" América, reproduciéndose de forma más o menos generalizada el "sueño americano" de la vivienda unifamiliar y la movilidad en transporte privado. En la América de habla hispana, aún en un contexto de reducida renta per cápita de la demanda residencial, la búsqueda del modelo de vida USA ha tenido importante difusión, generalizándose el eslogan "un coche, una casa", así como los fraccionamientos cerrados ("gated communities"), en una especie de pseudo-sprawl denso.

El concepto mismo de Urban Sprawl es objeto de debate. La literatura especializada ha discutido en profundidad dicho concepto, no llegando a un consenso unánime. Así, por ejemplo, una de las definiciones al uso es la que ofrecía la (extinta) SprawlCity.org:

"Sprawl is the spreading out of a city and its suburbs over more and more rural land at the periphery of an urban area. This involves the conversion of open space (rural land) into built-up, developed land over time."

Otra definición al uso es la que ofrecen los diccionarios y enciclopedias más populares. Por ejemplo, Britannica indica:

"Urban sprawl, also called sprawl or suburban sprawl, the rapid expansion of the geographic extent of cities and towns, often characterized by low-density residential housing, single-use zoning, and increased reliance on the private automobile for transportation. Urban sprawl is caused in part by the need to accommodate a rising urban population; however, in many metropolitan areas it results from a desire for increased living space and other residential amenities."

En cuanto a la literatura académica, podemos destacar entre otras definiciones:

"The forms of development most often characterized as sprawl are: (1) leapfrog or scattered development, (2) commercial strip development, or (3) large expanses of low-density or single-use development (as in sprawling bedroom communities)." (Ewing, 1997²⁶).

²⁵ Borsdorf, A. (2003): Cómo modelar el desarrollo y la dinámica de la ciudad latinoamericana, *Eure*, vol. 29, n. 86.

²⁶ Ewing, R. (1997). Is Los Angeles-style sprawl desirable?, *Journal of the American Planning Association*, Volume 63, Issue 1, December 1997, Pages 107-126.

“The literature on urban sprawl confuses causes, consequences, and conditions. This article presents a conceptual definition of sprawl based on eight distinct dimensions of land use patterns: density, continuity, concentration, clustering, centrality, nuclearity, mixed uses, and proximity. Sprawl is defined as a condition of land use that is represented by low values on one or more of these dimensions.” (Galster et. al., 2001²⁷).

““Sprawl” is an elusive term. To paraphrase the United States Supreme Court’s long-ago ruling on pornography, most people can’t define sprawl—but they know it when they see it. To some, it means a pattern of auto-oriented suburban development. To others, it means low-density residential subdivisions on the metropolitan fringe. To many -especially in the popular press- it is simply a catch-all term that refers to any kind of suburban-style growth, whether driven by population increase or not. Our method of defining sprawl is to characterize it simply in terms of land resources consumed to accommodate new urbanization. If land is being consumed at a faster rate than population growth, then a metropolitan area can be characterized as “sprawling.” If population is growing more rapidly than land is being consumed for urbanization, then a metropolitan area can be characterized as “densifying”” (Fulton et al. 2001).

“[Sprawl is] the process in which the spread of development across the landscape far outpaces population growth. The landscape sprawl creates has four dimensions: a population that is widely dispersed in low density development; rigidly separated homes, shops, and workplaces; a network of roads marked by huge blocks and poor access; and a lack of well-defined, thriving activity centers, such as downtowns and town centers. Most of the other features usually associated with sprawl—the lack of transportation choices, relative uniformity of housing options or the difficulty of walking—are a result of these conditions.” (Ewing et al., 2002²⁸).

“I have chosen to define it (...) as low-density, scattered, urban development without systematic large-scale or regional public land-use planning” (Bruegmann, 2005²⁹).

“Urban sprawl is commonly used to describe physically expanding urban areas. The European Environment Agency (EEA) has described sprawl as the physical pattern of low-density expansion of large urban areas, under market conditions, mainly into the surrounding agricultural areas. Sprawl is the leading edge of urban growth and implies little planning control of land subdivision. Development is patchy, scattered and strung out, with a tendency for discontinuity. It leap-frogs over areas, leaving agricultural enclaves. Sprawling cities are the opposite of compact cities — full of empty spaces that indicate the inefficiencies in development and highlight the consequences of uncontrolled growth.” (EEA, 2006).

²⁷ Galster, G., Hanson, R., Ratcliffe, M.R., Wolman, H., Coleman, S., Freihage, J. (2001). Wrestling sprawl to the ground: Defining and measuring an elusive concept, *Housing Policy Debate*, Volume 12, Issue 4, 2001, Pages 681-717.

²⁸ Ewing, R., Pendall, R. & Chen, D. (2002). *Measuring Sprawl and its Impact*, Smart Growth America.

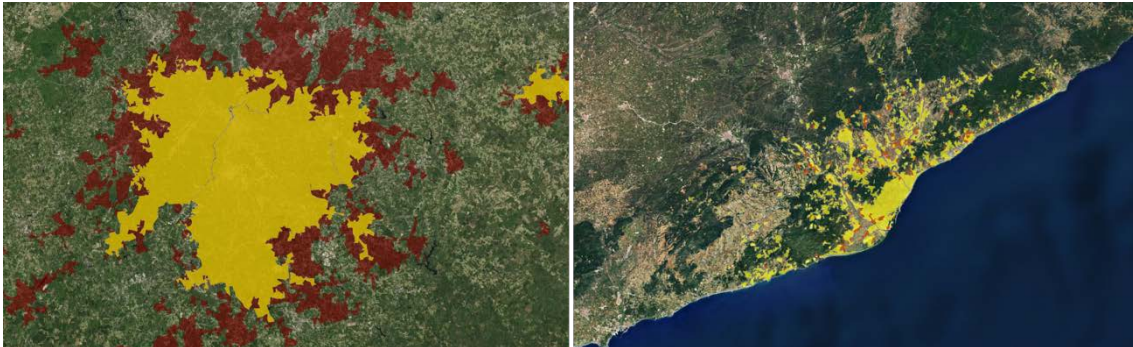
²⁹ Bruegmann, R. (2005). *Sprawl. A Compact History*, The University of Chicago. A destacar este extraordinario libro, de lectura obligada para todos los estudiosos del Urban Sprawl.

El término Urban Sprawl es, por tanto, *elusivo*. Pero seguramente la mejor definición, dada la gran variedad de formas de asentamiento humano en el planeta, es el *concepto dinámico* propuesto por Fulton y que se acaba de resumir: “*If land is being consumed at a faster rate than population growth, then a metropolitan area can be characterized as “sprawling.” If population is growing more rapidly than land is being consumed for urbanization, then a metropolitan area can be characterized as “densifying”*”. Todo ello, obviamente, en un contexto de acelerada urbanización del suelo rural.

En el contexto de lo que se acaba de exponer, algunos hechos aparecen como evidentes:

- Por un lado, que *el modelo de urbanización de los EE.UU. no puede ser generalizado como la única forma de Urban Sprawl a escala planetaria*. Las bajas densidades de las áreas urbanas USA no deben ser identificadas como un modelo único de dispersión urbana. Las formas de asentamiento humano son enormemente diversas, al partir de diferentes procesos históricos de desarrollo diferenciados entre sí. Así, por ejemplo, los procesos de Sprawl de las ciudades mediterráneas difieren de los experimentados por las metrópolis estadounidenses. La figura 6 muestra, comparadas a la misma escala, los patrones de urbanización de las áreas metropolitanas de Atlanta, paradigma del Urban Sprawl en USA, y de Barcelona, ejemplo de metrópolis latina.

Figura n. 6: Atlanta vs. Barcelona³⁰

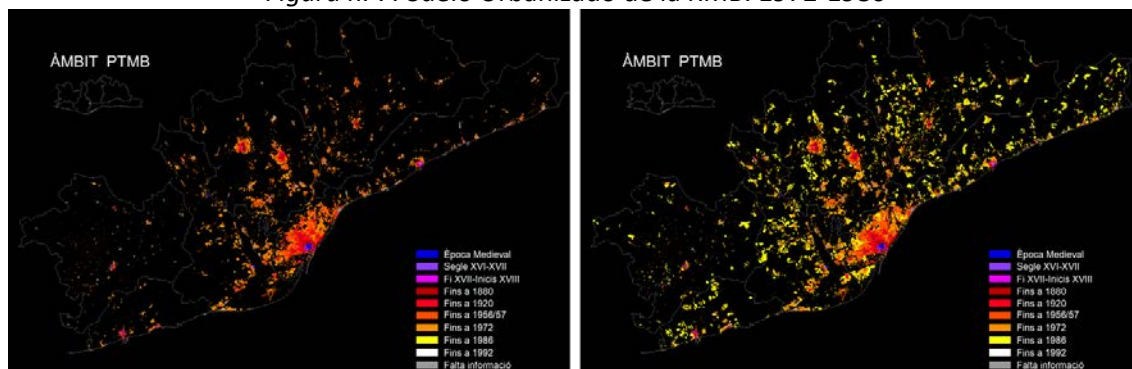


Fuente: USGS & Corine Land Cover. Elaboración propia

- Sin embargo, eso no significa que no haya Sprawl en áreas globalmente densas. Siguiendo con el ejemplo de Barcelona, la figura n. 7 muestra el suelo urbanizado entre 1972 y 1986. La explosión de la urbanización (no acompañada de un incremento equivalente de la población) demuestra como una metrópolis puede, a la vez, ser “compacta” (resultante del desarrollo histórico heredado) y estar sometida a fuertes tensiones de Urban Sprawl. *Los centros, densos y compactos, pueden coexistir con las periferias dispersas y de baja densidad*. Ese proceso (ver contribución cuarta de esta tesis) es el que se está produciendo en Europa. Y también, probablemente, en muchas metrópolis de Iberoamérica, Asia, e incluso África.

³⁰ El área urbanizada de Atlanta, con una población de 3,5 millones de habitantes, se extiende sobre un área urbanizada de 5.083 km². Por su parte, la Región Metropolitana de Barcelona, con 4,5 millones de habitantes, tiene 675 km² urbanizados.

Figura n. 7: Suelo Urbanizado de la RMB. 1972-1986



Fuente: Institut d'Estudis Territorials.

- *El gran proceso de urbanización se está produciendo, en la actualidad, en el “mundo menos desarrollado”.* Si el siglo XX ha sido el escenario del gran desarrollo de la urbanización, los últimos 70 años muestran una clara transferencia del proceso urbanizador de Europa y América del Norte al resto de América, Asia y África³¹. Según las NN.UU. los países que conforman el “mundo menos desarrollado” pasaron de tener, en 1950, 305 millones de habitantes en áreas urbanas, a 1.984 millones en el año 2000. Un incremento del 551,45 %, frente a sólo el 98,05% de los países más ricos³². Y esa continuará siendo la tónica en el primer tercio del siglo XXI. Hacia 2050, y siempre según las NN.UU., la población urbana de los países desarrollados se habrá estabilizado en torno a los 1.100 millones de habitantes. En cambio, en el mundo menos desarrollado los habitantes de áreas urbanas habrán alcanzado los 5.556 millones, superada ya la barrera del 50% del total de la población.

Los grandes procesos de urbanización se están produciendo en el tercer mundo. Y con ellos, la *extensión del Urban Sprawl a escala planetaria*³³.

Los procesos de urbanización, lejos de haberse detenido o atenuado, como hipotizaron los geógrafos urbanos en las décadas de los 70 y 80 del siglo pasado³⁴, se han acentuado y extendido

³¹ Un ejemplo de este proceso lo tenemos en las top ten ciudades según población. En 1900 las 10 ciudades más pobladas del planeta eran, todas ellas con la excepción de Tokyo, europeas o estadounidenses. En 2000 no había ninguna. Cambio en la geografía urbana de una extraordinaria magnitud.

³² En los países más desarrollados la población urbana pasó de 446 millones de habitantes en 1950, a 884 millones en 2000.

³³ La contribución n. 13 analiza el proceso de urbanización en China, comprobando la hipótesis de la extensión del Urban Sprawl.

³⁴ La literatura especializada desarrollada en los años 70 y 80 puso de relieve como la suburbanización, iniciada en el último tercio del siglo XIX y generalizada a lo largo del siglo XX por medio del fenómeno del Urban Sprawl, había sido el comienzo de un proceso que conduciría, primero, a la descentralización relativa de las metrópolis (el mayor crecimiento de las periferias que el de los centros), más adelante a la descentralización absoluta (la caída en población de los centros frente al crecimiento de las periferias) y, finalmente, a lo que algunos autores denominaron contraurbanización (Berry, 1976), desurbanización (Berg, 1982) o rurbanización (Bauer y Roux, 1976), es decir, a la caída demográfica y al agotamiento de las metrópolis. El último tercio del siglo XX habría iniciado, por tanto, para reconocidos autores, la superación de los viejos conceptos heredados históricamente que denominamos ciudad (como opuesta al campo), centro, periferia o, incluso, área metropolitana, los cuales habrían devenido obsoletas.

de forma exacerbada. Tanto la *contraurbanización*³⁵ de Berry, como la *desurbanización*³⁶ de Berg lo que verdaderamente anunciaban no era tanto la caída del fenómeno urbanizador, sino su revitalización y extensión hasta límites nunca antes observados. La crisis de la ciudad industrial, asociada a la homónima crisis del modelo de producción fordista³⁷, se confundió en ocasiones con el declive no sólo de las ciudades centrales, sino también de sus periferias metropolitanas. Conceptos como la *rurbanización* (Bauer, 1976³⁸), la *ciudad difusa* (Indovina, 1990³⁹), la *periurbanización* (Dezert, 1991⁴⁰), las *edge cities* (Garreau, 1991⁴¹), *ciudad reticular*, *ciudad sin centro o periferia sin centro* (Dematteis, 1991) o *metápolis* (Ascher, 1995⁴²), pivotan, todos ellos, en torno a una idea central: *la caída del paradigma cristalleriano* (Portas, 1998⁴³), es decir del sistema jerárquico del territorio basado en la centralidad, esto es, en el poder de atracción ejercido por los lugares centrales.

Esa literatura de fin de siglo ha llevado a diversos autores⁴⁴ a cuestionar si en la era del Sprawl, en la época de la difusión de la telaraña de la urbanización en la práctica totalidad del territorio, es posible poner límites a la ciudad sin confines que caracteriza el actual proceso urbanizador. Proceso que ha convertido en borrosas las tradicionales distinciones entre campo y ciudad, centro y suburbio, metrópolis y espacios no metropolitanos. En este sentido, cualquier esfuerzo dirigido a redefinir las metrópolis o, más allá, cualquier tipo de estructura urbana que las viniese a sustituir, estaría abocado al fracaso⁴⁵.

³⁵ Berry, B (1976). The Counterurbanization Process: Urban American since 1970, en *Urbanization and Counterurbanization*, Beverly Hills, Sage, 1976.

³⁶ Berg, L. van den (1982). *Urban Europa. A study of Urban Growth and Decline*. Pergamon, Oxford.

³⁷ Para un análisis de ese proceso de caída o encogimiento de las ciudades industriales, véase, entre otra mucha bibliografía, la tesis de master realizada por Alba López Busto, y dirigida por mí, *Shrinking cities: el caso aplicado de Ferrol*. Línea de Gestión y Valoración Urbana y Arquitectónica del Master en Estudios Avanzados en Arquitectura (MBArch), UPC, 2016 (<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/98494>).

³⁸ Bauer, G. & Roux, J.M. (1976). *La rurbanization, ou la ville éparpillée*. París, Ed. du Seuil.

³⁹ Indovina, F. et al (1990). *La città difusa*. Daest, Venezia.

⁴⁰ Dezert, B. & Metton, A. & Steinberg, L. (1991). *La periurbanization en France*. Sedes Paris.

⁴¹ Garreau, J. (1991). *Edge City: Life on the New Frontier*. New York: Doubleday.

⁴² Asher, F. (1995). *Metápolis ou l'avenir des villes*, Odile Jacob Paris.

⁴³ Portas, N. & Domingues, A. (1998). La Región Atlántica Norte de Portugal: ¿Metrópolis o metápolis?, en Monclús, F. J. (ed) *Op. Cit.*

⁴⁴ Así Harvey (1996) ha indicado: "El proceso de urbanización ha de ser entendido no en términos de una unidad socio-organizativa llamada «la ciudad» (el objeto teórico que tantos geógrafos, demógrafos y sociólogos erróneamente suponen) sino como la producción de formaciones espacio-temporales específicas y muy heterogéneas imbricadas dentro de los distintos tipos de acción social (...). Pienso que es importante reconceptualizar la cuestión urbana no como un problema de estudiar unas entidades casi naturales, llámense ciudades, suburbios, zonas rurales o lo que sea, sino como (...) el estudio de procesos que producen y reproducen espacio temporalidades que son a menudo de tipo radicalmente nuevo y distinto." Harvey, D. (1996). Cities or urbanization?, en *City. Analysis of Urban Trends Culture, Theory, Policy Action*, 1-2.

⁴⁵ Por su parte, la literatura económica no ha llegado, por lo general, a conclusiones semejantes en relación a la necesidad de dejación del concepto de ciudad, o de su equivalente moderno, la metrópoli. Si bien es cierto que dicha literatura ha puesto de manifiesto que el desarrollo urbano contemporáneo ha ido alejando de forma progresiva la estructura urbana de las áreas metropolitanas del modelo estándar de la economía locacional y que ha constatado, a escala regional, la progresiva complejificación de las estructuras territoriales desveladas por Christaller, también lo es que no ha puesto en discusión el concepto último en el que dichos modelos (de escala intraurbano y regional) descansan, esto es, las economías de aglomeración, es decir el papel atractor de los centros frente a la ausencia de externalidades positivas del vacío que representan los entornos rurales. De esta manera, las metrópolis han continuado siendo, por lo general, el objeto de análisis hacia el que han prestado atención los economistas urbanos y regionales. La economía regional contemporánea no parece haber sido capaz de dar cuenta de forma completa de lo que podríamos denominar la lógica económica y locacional de la era

El último tercio del siglo XX habría iniciado, por tanto, para reconocidos autores, la superación de los viejos conceptos heredados históricamente que denominamos ciudad (como opuesta al campo), centro, periferia o, incluso, área metropolitana, los cuales habrían devenido obsoletos. La urbanización masiva del territorio rural resultante del Urban Sprawl no ha dejado lugar a duda acerca de la plena vigencia del proceso urbanizador, el cual no sólo no se habría visto frenado, sino que al contrario habría llegado a su paroxismo en las últimas décadas del siglo pasado. Los nuevos conceptos acuñados por los geógrafos y los urbanistas (rurbanización, ciudad difusa, periurbanización, ciudad red, metápolis, o edge cities) anunciaban no la caída sino el inicio de una nueva era del proceso urbanizador. Nueva era en la que, si bien habría decaído el paradigma de la ciudad fordista, y aún el del área metropolitana convencional (monocéntrica), habrían irrumpido nuevas formas y artefactos urbanos que no sólo habrían confirmado la vitalidad del proceso urbanizador, sino la generalización del mismo a escala planetaria. *Desde el último tercio del siglo XX se habría hecho evidente un verdadero cambio de escala en la urbanización.*

Dicho en otras palabras: *no habría que preguntarse tanto acerca del Sprawl en la época de las metrópolis, sino en cómo definir éstas (o los artefactos que vengán a sustituirlas) en la era del Sprawl.*

No se puede interpretar, por tanto, lo sucedido en las estructuras postfordistas como una desaceleración, descomposición incluso, de la urbanización. Muy al contrario, estaríamos en una nueva fase de ésta. Fase en la que las ciudades resultantes de la revolución industrial no sólo habrían devenido áreas metropolitanas, sino que éstas, en un continuo cambio de escala, habrían visto emerger estructuras más y más extensas, que algunos autores han denominado megaciudades, regiones urbanas, ciudad-región, mega-ciudades regionales, regiones y metrópolis policéntricas o, más escuetamente, megalópolis (Gottmann, 1961⁴⁶). La telaraña de urbanización generada por el Urban Sprawl representó el elemento decisivo para la interconexión de las áreas metropolitanas, aisladas antes por vastos espacios abiertos, en estructuras cada vez más extensas, generando las semillas del ulterior proceso megalopolitano.

Nos encontramos, por tanto, ante una nueva fase del desarrollo urbano: *la era de las megalópolis*⁴⁷. Si en los albores del siglo XX el cambio de escala condujo a la irrupción de las

del Sprawl. Estaría sucediendo en la actualidad algo parecido a lo que aconteció en los años 30 del siglo XX. Entonces sociólogos y geógrafos (la llamada Escuela Ecológica de Chicago, por ejemplo) daban fe de los nuevos fenómenos de la suburbanización y de la “ghettificación” de los centros, vinculados a la generalización del “american dream”; fenómenos inexplicados desde la perspectiva económica hasta que la irrupción de Alonso, ya en la década de los 60, permitiese un cambio de paradigma en la economía urbana. El desarrollo actual de la economía regional no parece explicar de forma completa la complejidad de los fenómenos cartografiados por los geógrafos de fin de siglo. Aún no parece haber emergido, en suma, una economía del Sprawl, limitándose la economía locacional al logro de avances parciales, a la espera de una nueva síntesis, que, como la de Alonso, permita dar un paso cualitativo en la ciencia regional.

⁴⁶ Gottmann, J. (1961). *Megalopolis: the urbanized northeastern seaboard of the United States*. New York, Twentieth Century Fund. Es sin duda a Gottmann a quien debemos el trabajo seminal en torno al cambio de escala producido en la urbanización: las megalópolis, entendidas éstas como los grandes sistemas urbanos polinucleares caracterizados por una continuidad e interconexión suficientes entre ellos como para ser considerados un sistema en sí mismo. En 1915, en *Cities in evolution*, Geddes había anticipado el trabajo de Gottmann, escribiendo: “The expectation is not absurd that the not very distant future will see practically one vast city-line along the Atlantic Coast for five hundred miles, and stretching back at many points; with a total of . . . many millions of population”. Geddes utilizó el término “conurbación” para referirse a esa ciudad futura, pero en un trabajo anterior, de 1904, había sugerido ya el término megalópolis

⁴⁷ Esperemos no se haga realidad la “profecía” de Lewis Mumford: en el capítulo 4º de su libro *The culture of cities* (1938), titulado ‘The rise and fall of Megalopolis’, desarrolla la tesis de que los asentamientos

metrópolis, el siglo XXI anuncia el predominio a nivel planetario de las megalópolis. Nuevos artefactos urbanos, agrupación de sistemas urbanos y metropolitanos que aun manteniendo su propia identidad (como los “antiguos” municipios en las áreas metropolitanas, una vez superada la fase de su absorción por las grandes ciudades) representan nuevas economías de aglomeración en un entorno globalizado. Debemos a Richard Florida (2008)⁴⁸ ese enlace conceptual entre globalización y megalopolitanización. Florida ha insistido en que el análisis de la economía mundial ya no puede realizarse en los términos convencionales, de competencia e interacción entre naciones-estado. Las ciudades, más específicamente las mega-regiones urbanas, serían el escenario actual de esa competencia e interacción económica mundial. Las megalópolis están integradas por conjuntos de ciudades y sus correspondientes hinterlands suburbanos, en las cuales capital y trabajo pueden relocalizarse a bajo coste. En la economía globalizada, por tanto, la localización, el territorio, la concentración de actividades económicas, continúa siendo relevante, ocupando las mega-regiones urbanas el papel que antaño tuvieron los estados.

Las megalópolis son el resultado de la expansión “infinita” del Urban Sprawl. De su desarrollo más allá, incluso, de las áreas que pudiésemos llamar *urbanizadas*. Son también el resultado de lo que en esta tesis se denomina *paisajes rurbanos*, resultantes del llamado *ex-urban Sprawl*⁴⁹.

Figura n. 8: Megalópolis indo-pakistaní



Fuente: Black Marble. Elaboración propia

humanos se desarrollarían en seis estadios de la evolución urbana: de la ‘eopolis’ (village) a la ‘polis’ (association of villages), de ésta a la ‘metropolis’ (capital city emerges), a la ‘megapolis’ (‘the beginning of the decline’), a la ‘tyrannopolis’ (“the overexpansion of the urban system based on economic exploitation”) y finalmente a la ‘nekropolis’ (“war and famine, city abandoned”).

⁴⁸ Florida, R. et al (2008). The rise of the mega-region. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 1: 459-476.

⁴⁹ Para un análisis del Sprawl más allá de la “ciudad”, véase, entre otros trabajos, Taylor, L. (2011). No boundaries: exurbia and the study of contemporary urban dispersion, *GeoJournal* 7(2011) 76: 323-339, 2011.

1.2 Objetivo de la tesis

1.2.1 Objetivo general

La de tesis doctoral que aquí se presenta tiene por objetivo central el análisis del fenómeno de la dispersión de la urbanización llamado Urban Sprawl, a escala planetaria, partiendo de la hipótesis de que se trata de un proceso insostenible. La tesis propone demostrar que lo que inicialmente era un modo de asentamiento enraizado con la cultura de buena parte de las civilizaciones humanas (Europa septentrional y oriental, pueblos indígenas de América y África, etc.) y que representó, a principios del siglo XX una forma de urbanismo vernáculo (cuya forma más acabada representó la Garden City), se ha convertido, especialmente a partir de la década de los 70 de la pasada centuria, en International Style, esto es, en tendencia generalizada a escala global.

El origen del Urban Sprawl se encuentra estrechamente vinculado con la generalización de una visión banal del “american dream” basado en el lema “una casa, un coche”. Dicho imaginario, acentuado después de la Segunda Guerra Mundial, exacerbó los procesos de descentralización que desde finales del siglo XIX se estaban produciendo en EE.UU. y Europa, basados en los sistemas de transporte público (tranvía y metro fundamentalmente). Con la generalización del uso del automóvil, los antiguos sistemas de transporte público se convirtieron en autopistas urbanas (Los Ángeles, ejemplo paradigmático) lo que condujo a una especie de diáspora hacia periferias cada vez más extensas, en una periurbanización imparables del paisaje.

La crisis del petróleo de los años 70 y la caída del modelo fordista de economía, lejos de representar un freno en el proceso de colonización del suelo rural que representa el Sprawl, implicó un nuevo impulso al proceso de dispersión de la urbanización. Su generalización, primero a Japón, Europa y al patio trasero americano, luego al mundo entero, especialmente a China e India, fruto de los procesos de globalización de la economía experimentados, ha representado un paso adelante en la confirmación del Urban Sprawl como modelo de urbanización a escala planetaria.

1.2.2 Hipótesis de investigación

La tesis parte de la hipótesis de que el Urban Sprawl representa un modelo de urbanización insostenible. Un proceso de ocupación del territorio que:

- a) Dilapida un recurso escaso, el suelo.
- b) Erosiona, fragmenta y finalmente hace desaparecer el suelo rural, los recursos naturales y, en última instancia, la matriz ecológica del territorio (aspectos, todos ellos, que representan, paradójicamente, la meta buscada, el paraíso anhelado por el nuevo modelo de vida que representa el Sprawl).
- c) Genera una movilidad insostenible. Con largos recorridos residencia/trabajo, residencia/escuela, así como del conjunto de la movilidad no obligada. Una movilidad con elevados costes económicos y sociales, además de ambientales. Movilidad sustentada en la primacía absoluta de un sistema de transporte, el automóvil, basado en la utilización de combustibles fósiles, no reproducibles, generadores de CO² y causa singular del cambio climático.
- d) Implica un modelo de construcción y mantenimiento (la *single family home*, las

carreteras y autopistas) que implican un enorme gasto energético en relación a las formas compactas de urbanización.

- e) Genera desigualdad social, al fomentar la segregación social del espacio, sobre todo gracias a la difusión de las gated communities. Privatiza el espacio público, generando formas de vida que alejan progresivamente la ciudad de ese espacio de socialización que justifica su aparición y desarrollo.
- f) Desde el punto de vista del clima urbano y la adaptación de las ciudades al cambio climático, si bien en una primera aproximación puede parecer como un desarrollo óptimo desde la perspectiva de la adaptación, no lo es en ningún caso cuando es evaluado desde la mitigación, ya que consume más suelo, más energía y recursos, sumado a la fuerte presión que ejerce sobre las zonas compactas, complejas y diversas de las aglomeraciones urbanas.

Un modelo, en suma, basado en la tragedia de los comunes, denunciado por Garret Hardin en 1968⁵⁰.

1.2.3 Objetivos específicos

La tesis se plantea, además, de analizar y caracterizar el modelo de urbanización dispersa que representa el Urban Sprawl, mediante la revisión en la literatura especializada del concepto de Sprawl, así como estudiar la génesis y evolución de dicho modelo de urbanización, los siguientes *objetivos específicos*:

- Cuantificar el Urban Sprawl a partir de bases de datos de alcance local, regional y mundial. Especial atención a USA Europa. México y España. ¿Es el Sprawl un fenómeno de alcance planetario?
- Verificar la hipótesis de que en Europa existe un acusado proceso de Urban Sprawl en las periferias metropolitanas. Metrópolis globalmente densas, pueden ser también dispersas. Compacidad y dispersión como dos caras de las metrópolis europeas.
- Delimitar la “ciudad” en la era del Sprawl. Definición de los sistemas urbanos y metropolitanos a partir de criterios morfológicos, económicos y funcionales. Desarrollar, en este sentido, los trabajos realizados previos por el Centro de Política de Suelo y Valoraciones (CPSV) de la UPC.
- Desarrollar una metodología eficiente para el análisis de la estructura interna de las metrópolis. Contribución a la elaboración de una metodología (desarrollada previamente por el CPSV), capaz de contrastar el grado de monocentrismo y de policentrismo de los sistemas urbanos y metropolitanos. Generación de indicadores.
- Aplicación de dicha metodología y sistema de indicadores al análisis de casos concretos. Delimitación del sistema urbano/metropolitano español. Análisis comparado del grado de monocentrismo/policentrismo de los sistemas metropolitanos de Madrid y Barcelona. Aplicación a los Estados Unidos de América en las áreas metropolitanas de

⁵⁰ Hardin, G. (1968). The Tragedy of the Commons, *Science*, 13 December 1968: Vol. 162, 3859, pp. 1243-1248.

Los Ángeles y Chicago.

- Verificación de la hipótesis + Policentrismo = - Sprawl.
- Análisis de la urbanización a escala mundial, por medio del estudio de las luces nocturnas. Definición de diferentes tipos de paisajes humanos: central-compacto, periférico-disperso, rurbano y rural.
- Delimitación de las áreas metropolitanas y megalopolitanas a escala mundial. Las megalópolis como “metrópolis de metrópolis”.
- Evaluación de la capacidad de las luces nocturnas para identificar el Urban Sprawl.
- Evaluar la capacidad de las luces nocturnas para cuantificar la dinámica del proceso de urbanización. Análisis retrospectivo y prospectivo. Aplicación a China.
- Análisis del comportamiento climático de los diversos tejidos urbanos. Introducción del análisis climático en el planeamiento urbanístico.
- Estudio de la Isla de Calor Urbana (UHI) y de los factores que explican su distribución espacial. UHI diurna y nocturna.
- Estudio de los factores urbanísticos que permiten incrementar la adaptación de las ciudades al calentamiento global (GW). Albedo, Sky View Factor (SVF), permeabilidad del suelo y vegetación. Atención especial a los espacios verdes urbanos como islas de frío en el contexto de la UHI.
- Evaluación del comportamiento climático del Urban Sprawl desde la perspectiva de la mitigación y la adaptación al cambio climático (CC).
- Efectos de los eventos climáticos extremos (especialmente las olas de calor, diurnas y nocturnas) que afectan a la salud humana.
- Aplicación de todo lo anterior al caso de estudio de Barcelona y su área metropolitana.

1.3 Metodología

Dado que esta tesis se realiza por compendio de publicaciones, la metodología está desarrollada en cada una de ellas.

1.4 Estructura de la tesis

Como se ha indicado previamente, la tesis recoge las aportaciones de investigación en materia de Urban Sprawl realizadas a lo largo de cerca de 10 años. Y enmarcadas en los siguientes proyectos (competitivos) de investigación⁵¹:

⁵¹ No se incluye, por tratarse de un proyecto anterior a mi trayectoria de doctorado, mi participación en el proyecto *Elaboración de un sistema apto para la evaluación y planificación de la ciudad sostenible*, C.I.C.Y.T. (AMB98-0641), del Ministerio de Ciencia y Tecnología (<https://futur.upc.edu/1696787>). Dicho proyecto, en estrecha relación con un proyecto LIFE, coordinado por el Ayuntamiento de Barcelona,

- *El proceso de urbanización en la costa mediterránea: ¿Hacia un modelo insostenible de ocupación del suelo? Un análisis retrospectivo (1956-2006) y prospectivo (2006-2026) (2006-2009)*, proyecto financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia, SEJ2006-09630/GEOG (<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/12523>)⁵².
- *Desarrollo de una Plataforma para el Modelado Prospectivo de los Procesos de Urbanización en las Zonas Costeras (2009-2012)*, proyecto de investigación financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (<https://futur.upc.edu/2077983>), CSO2009-09057.
- *CLIM-CAP, Competences for sustainable city development: Qualification scheme for Climate Adaptation in Construction, Architecture and Planning (2013-2015)*, proyecto Leonardo Multilateral para el Desarrollo de la Innovación., Agencia Ejecutiva en el ámbito Educativo, Audiovisual y Cultural (EACEA) de la Unión Europea, Ref. 540313-LLP-1-2013-1-DE-LEONARDO-LMP (<https://www.climcap.eu/en/>).
- *La isla de calor urbana: Efectos en el cambio climático y modelado para estrategias de planeamiento territorial y urbano. Aplicación a la región metropolitana de Barcelona (2016-2019)*, proyecto de investigación financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad, BIA2015-68623-R (<https://futur.upc.edu/17980347>).
- *Herramienta de planificación espacial y urbana extrema para episodios de olas de calor e inundaciones repentinas. Construyendo la resiliencia para ciudades y regiones (2020-2022)*, proyecto de investigación financiado por la Agencia Estatal de Investigación, PID2019-105976RB-I00 (<https://futur.upc.edu/28881202>).

En el contexto de los citados proyectos de investigación se desarrolla esta tesis doctoral, estructurada en cinco capítulos, además de esta Introducción y de la Conclusiones:

- Capítulo II: *Una primera aproximación al Urban Sprawl en el mundo*, compuesto por 4 aportaciones.
- Capítulo III: *Estructura Urbana y Sprawl. Una aproximación a partir del Valor de Interacción*, compuesto por 5 aportaciones.

permitió estudiar la diversidad e intensidad el uso del espacio público de Barcelona. Proyecto en el que se evidenció la muy escasa intensidad y diversidad de las zonas de Sprawl en relación a las más compactas. Dicha metodología fue utilizada, más adelante, para estudiar, en el marco del *Seminario de Investigación de Urban Sprawl* del Master de Gestión y Valoración Urbana de la UPC (curso académico 2012-2013), dirigido por Josep Roca y yo misma, la mencionada intensidad y diversidad de los tejidos urbanos metropolitanos. En el marco de dicho Seminario desarrollamos distintas publicaciones (no incluidas en esta tesis), y muy particularmente la ya citada tesis de Paola Quezada (2013), así como la ponencia presentada por Barrera, I. Romero, D. & Arellano, B. (2013). Espacio público, dispersión y compacidad urbana. Caso de estudio: Barcelona, presentada en el 9º Congreso Ciudad y Territorio Virtual (CTV), celebrado en Roma, Italia (<https://revistes.upc.edu/index.php/CTV/article/view/7954>), y publicada en Cerasoli, M. (2015). *Città Memoria Gente*, Università Roma-TRE, pp. 430-447 (<https://romatrepress.uniroma3.it/libro/citta-memoria-gente/>),doi: 10.13134/978-88-97524-15-1.

⁵² Este proyecto se realizó durante el inicio de mi investigación en la UPC, cuando cursaba el Master de Gestión y Valoración Urbana y Arquitectónica. Para mayor detalle, véase la aportación primera de esta tesis.

- Capítulo IV: *El Urban Sprawl a escala mundial. Una aproximación a partir de las luces nocturnas*, compuesto por 4 aportaciones.
- Capítulo V: *El Urban Sprawl en el Área Metropolitana de Barcelona: una visión a partir de las luces nocturnas*, compuesto por 3 aportaciones.
- Capítulo VI: *Clima Urbano y Urban Sprawl*, compuesto por 4 aportaciones.

La tesis se presenta en base a la *Normativa para la presentación de Tesis Doctorales según Compendio de Publicaciones del Programa de Doctorado de Gestión y Valoración Urbana y Arquitectónica* (PD GVUA), aprobado por la Comissió Permanent de l'Escola de Doctorat de la UPC el 19/07/2019 (Acord núm 2 CP2019/7/19), la cual establece que la tesis debe estar conformada por un mínimo de 3 publicaciones, las cuales deberán obtener un mínimo de 8 puntos, según el sistema de contaje establecido en la mencionada normativa. A tales efectos se seleccionan las siguientes 20 contribuciones:

1. **El Urban Sprawl: ¿un fenómeno de alcance planetario? Los ejemplos de México y España.** Artículo publicado en *ACE: Architecture, City and Environment*. 2010, Año 4, núm. 12 febrero. P. 115-147.
2. **The Urban Sprawl: an overview of USA, Mexico and Spain.** Ponencia presentada y publicada en *50th ERSA⁵³ Congress. Sustainable Regional Growth and Development in the Creative Knowledge Economy*. 19 – 23 August 2010, Jönköping, Sweden.
3. **Urban Detection, delimitation, and Morphology: Comparative analysis of selective megacities.** Paper publicado en *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XXXIX-B7, 2012. XXII ISPRS Congress, 25 August – 01 September 2012, Melbourne, Australia.
4. **Sprawl en las metrópolis europeas: las periferias metropolitanas, ¿principal escenario de la dispersión de la urbanización en Europa?** Artículo publicado en *ACE: Architecture, City and Environment*. 2012, Año 7, núm. 20 octubre P. 95-114.
5. **El Sistema Urbano en España.** Artículo publicado en *Scripta nova*. 2012-03-20, XVI, número 396, 19 pág.
6. **La distribución del tamaño de las ciudades. La Ley de Zipf revisitada.** Artículo publicado en *Architecture, City and Environment*. 2011, Año 6, núm. 16 Junio, pp 199-222.
7. **Estructura urbana, policentrismo y sprawl: los ejemplos de Madrid y Barcelona.** Artículo publicado en *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*. 2011. Vol. XLIII, num. 168, p. 299-321.
8. **Towards a new methodology to evaluate the urban structure of the metropolitan systems: Chicago and Barcelona Metropolitan Areas as examples.** Ponencia presentada en el *51st European Regional Science Association Congress, New Challenges for European Regions and Urban Areas in a Globalised World*. 30 August – 2 September 2011, Barcelona, Spain.
9. **Monocentrism, polycentrism and environmental efficiency Chicago and Los Angeles**

⁵³ European Regional Science Association (ERSA).

- Metropolitan Areas as examples.** Ponencia presentada en el *52nd ERSA Congress. Regions in Motion – Breaking the Path*. 21 – 25 August 2012, Bratislava, Slovakia.
10. **Las megaestructuras urbanas del siglo XXI: un ensayo para la identificación y caracterización de las megalópolis.** Artículo publicado en *Architecture, City and Environment*. 2014, 9 (25): 127-158, 2014. Doi: 10.5821/ace.9.25.3963.
 11. **Landscapes impacted by light.** Artículo publicado en *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLI-B8, 2016, resultante de una ponencia presentada en el XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic.
 12. **Defining urban and rural areas: a new approach.** Ponencia presentada en el congreso de SPIE Remote Sensing, 2017, Warsaw, Poland, y publicado en *Proc. SPIE 10431, Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments II, 104310E* (4 October 2017); doi: 10.1117/12.2277902.
 13. **The urbanization impact in China: A prospective model (1992-2025).** Ponencia presentada en el congreso SPIE Optical Engineering + Applications, 2018, San Diego, California, United States y publicado en *Proc. SPIE 10767, Remote Sensing and Modeling of Ecosystems for Sustainability XV, 107670A* (18 September 2018); doi: 10.1117/12.2321267.
 14. **Delimitation of urban systems by Luojia 1-01 night-time light imagery.** Artículo publicado en *Proc. SPIE 11157, Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments IV, 111570H* (2 October 2019).
 15. **Can nighttime imagery identify urban sprawl?** Ponencia presentada en el congreso SPIE Optical Engineering + Applications, 2020 (online), y publicada en *Proc. SPIE 11501, Earth Observing Systems XXV, 115010S* (20 August 2020); doi: 10.1117/12.2568409.
 16. **Identifying urban sprawl by night lights: a pending issue.** Ponencia presentada en el congreso SPIE Remote Sensing, 2020 (online), y publicada en *Proc. SPIE 11535, Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments V, 115350H* (20 September 2020); doi: 10.1117/12.2573872.
 17. **Identifying Urban Heat Island. The Barcelona Case.** Ponencia presentada en International Conference Virtual City and Territory - 11th Congress Virtual City and Territory, Krakow, 6-8 July 2016 y publicada en *Back to the Sense of the City: International Monograph Book* (pp. 798-812). Centre de Política de Sòl i Valoracions (UPC).
 18. **Green areas and urban heat island: Combining remote sensed data with ground observations.** Ponencia presentada en el congreso SPIE Optical Engineering + Applications, 2018, San Diego, California, United States y publicada en *Proceedings Volume 10767, Remote Sensing and Modeling of Ecosystems for Sustainability XV; 1076705* (2018); doi: 10.1117/12.2320999.
 19. **Remote Sensing and nighttime Urban Heat Island.** Ponencia presentada en el XXIV ISPRS Congress (2021 edition), y publicada en *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLIII-B3-2021, 15-22; doi:10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2021-15-2021.

20. **Modelling nighttime air temperature from remote sensing imagery and GIS data.** Ponencia presentada en el congreso Space, Satellites + Sustainability (S3), 2021, Glasgow, Scotland, United Kingdom, y publicada en *Proc. SPIE 11888, Space, Satellites, and Sustainability II, 118880H* (2021); doi: 10.1117/12.2599022.

Dichas contribuciones aportan un total de 45 puntos según la Normativa para la presentación de Tesis Doctorales según Compendio de Publicaciones del Programa de Doctorado de Gestión y Valoración Urbana y Arquitectónica. Dichas aportaciones se complementan con otras 45 publicaciones vinculadas⁵⁴ a las seleccionadas.

1.5 Agradecimientos

A Josep Roca, mi director, por acompañarme en este largo viaje, pero no menos apasionante, de investigación y por compartir todo su conocimiento y experiencia conmigo. Sin su paciencia y dedicación no hubiese sido posible desarrollar esta tesis doctoral.

A todas las personas con las que tuve la oportunidad de compartir colaboración en los artículos que conforman esta tesis: Josep Roca, Pau Queraltó, Montse Moix, Bahaa Alhadaad, Enric Batlle, Dolors Martínez, Carina Serra, Xavier Lana y Rolando Biere.

A mi profesor Bill Fulton, que me hizo redescubrir como arquitecta y urbanista a Los Ángeles y por esos debates tan interesantes sobre el Urban Sprawl en EE UU.

Agradecimiento especial al Centro de Política de Suelo y Valoraciones (CPSV), grupo que me ha acogido y me ha permitido avanzar en esta investigación a través proyectos competitivos. Especialmente a Carlos Marmolejo, Magda Ulied y Rolando Biere. También a Pilar García-Almirall, Carlos Pérez, Montserrat Moix, Malcolm Burns, Mónica Suárez y el resto de personas que ya no están pero que coincidimos en el Centro.

A Mario Cerasoli por su apoyo incondicional para avanzar en esta investigación siempre sumando aproximaciones diferentes o complementarias sobre este proceso de urbanización y por todos los “seminarios” que han tejido una red no solo de investigación sino también de amistad entre todos y todas.

A mis estudiantes, especialmente mis tutorizados, que a lo largo de estos años han compartido conmigo la preocupación por el estudio de la sostenibilidad de nuestras ciudades y han sido clave para continuar y mejorar año con año.

A todas las instituciones que han contribuido para el desarrollo de esta tesis, especialmente a la Agència de Gestió d'Ajuts Universitaris i de Recerca (AGAUR) que me concedió una beca de investigación para estudios de doctorado y al Ministerio de Ciencia y Tecnología, que a través de los diferentes proyectos competitivos concedidos a mi director hizo posible enmarcar la tesis dentro de ellos.

⁵⁴ *Las publicaciones vinculadas no se seleccionan como contribuciones a esta tesis doctoral.* Tan sólo se citan para ayudar a comprender el contexto global en que se han desarrollado las investigaciones que la conforman de forma efectiva (las 20 seleccionadas). No se incluyen, ni siquiera como vinculadas, otras aportaciones en las cuales soy coautora pero que se inscriben en proyectos de tesis doctoral de otras personas. Sí, en cambio, aquéllas que, vinculadas a contribuciones seleccionadas, han formado parte de tesis doctorales ya presentadas por otras personas.

Finalmente, a Santi, por todas las horas y todos los congresos y conferencias en que me ha acompañado desde muy pequeñito, por su apoyo y comprensión en todo este proceso. A Josep, mi esposo, por su apoyo incondicional; a mi madre, mis hermanos y hermanas por estar siempre y confiar en mí.

2

Una primera aproximación al
Urban Sprawl en el mundo

CAPÍTULO II

UNA PRIMERA APROXIMACIÓN AL URBAN SPRAWL EN EL MUNDO

En este capítulo se presentan las primeras aportaciones realizadas, en las que se pretende dar una visión del *fenómeno del Urban Sprawl a escala mundial*, aunque poniéndose el énfasis, inicialmente, en el estudio comparado entre México, España y Estados Unidos.

Se compone de cuatro aportaciones, algunas de ellas resultantes del trabajo realizado en el Master Universitario de Gestión y Valoración Urbana, aunque publicadas en el contexto del Programa de Doctorado. Dichas aportaciones son las que se detallan a continuación:

1. **El Urban Sprawl: ¿un fenómeno de alcance planetario? Los ejemplos de México y España.** Artículo publicado en *ACE: Architecture, City and Environment*. 2010, Año 4, núm. 12 Febrero. P. 115-147.
2. **The Urban Sprawl: an overview of USA, Mexico and Spain.** Ponencia presentada y publicada en *50th ERSA¹ Congress. Sustainable Regional Growth and Development in the Creative Knowledge Economy*. 19 – 23 August 2010, Jönköping, Sweden.
3. **Urban Detection, delimitation, and Morphology: Comparative analysis of selective megacities.** Paper publicado en *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XXXIX-B7, 2012. XXII ISPRS Congress, 25 August – 01 September 2012, Melbourne, Australia.
4. **Sprawl en las metrópolis europeas: las periferias metropolitanas, ¿principal escenario de la dispersión de la urbanización en Europa?** Artículo publicado en *ACE: Architecture, City and Environment*. 2012, Año 7, núm. 20 Octubre P. 95-114.

Dichas aportaciones suministran 7 puntos según lo dispuesto en la Normativa para la presentación de Tesis Doctorales según Compendio de Publicaciones del Programa de Doctorado de Gestión y Valoración Urbana y Arquitectónica (PD GVUA), aprobado per la Comissió Permanent de l'Escola de Doctorat de la UPC el 19/07/2019 (Acord núm 2 CP2019/7/19), así como 73 citas, según Google Scholar.

Las dos primeras consisten en los primeros trabajos realizados, centrándose en el análisis comparado del Sprawl en España, México y Estados Unidos. La tercera analiza la estructura urbana de un conjunto de megaciudades a escala mundial, utilizando a tal efecto, y de forma pionera en el PD GVUA, el uso de remote sensing. Finalmente, la cuarta aportación, presenta alguno de los resultados del proyecto competitivo EL DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA PARA EL MODELADO PROSPECTIVO DE LOS PROCESOS DE URBANIZACIÓN EN LAS ZONAS COSTERAS (2010-2012), centrandó el análisis del US en Europa.

¹ European Regional Science Association (ERSA).

2.1. El urban sprawl: ¿un fenómeno de alcance planetario? Los ejemplos de México y España.

*La primera aportación*², consiste en un artículo publicado en el número 4 de ACE (febrero de 2010), volumen 4. Hay que indicar que ACE, casi recién nacida, aún no había sido incluida en las principales bases de datos que permiten el establecimiento de un índice de impacto, aunque ya estaba indexada en otros índices, tales como MIAR, Latindex, Avery Index o Urbadoc, entre otros³. No aporta, por tanto, puntos a los efectos de la Normativa de Tesis Doctorales por Compendio de Publicaciones del PD GVUIA. Sin embargo, y como indicio de calidad, cabe indicar *ha recibido 54 citas según Google Scholar, representando el segundo artículo más citado de ACE.*

Dicho artículo forma junto a la segunda aportación seleccionada, una misma aproximación. La primera, poniendo el acento en los procesos de Sprawl de México y España, y desarrollada en castellano. La segunda, incorporando el caso de los Estados Unidos, publicada en inglés en el marco del 50 congreso de ERSA. Dicha contribución, formada por ambas aportaciones, se ha presentado en cinco congresos internacionales, obteniendo globalmente un conjunto de 62 citas. Concretamente estas aportaciones vinculadas han sido:

- *Algunas reflexiones sobre el sprawl en España y México.* Autores: Blanca Arellano & Josep Roca. Ponencia presentada en Monterrey en 2008, en el marco del XIII Congreso Iberoamericano de Urbanismo (<https://www.researchgate.net/publication/47455535> *Algunas reflexiones sobre el proceso de sprawl en Espana y Mexico*).
- *Algunas reflexiones sobre el proceso de sprawl en España y México.* Autores: Blanca Arellano y Josep Roca. Ponencia presentada en 5th International Conference Virtual City and Territory⁴, Barcelona, 2009. Publicada en los Proceedings del CTV (<https://revistes.upc.edu/index.php/CTV/issue/view/787>). Dicha ponencia ha recibido dos citas.
- *Some considerations about the urban sprawl process in Spain and Mexico.* Autores: Blanca Arellano y Josep Roca. Ponencia presentada en el City Futures- EURA⁵-UAA, 2009-06-04 (<https://eura.org/city-futures-ii/>).
- *Some considerations about the urban sprawl process in USA, Mexico and Spain.* Autores: Josep Roca, Blanca Arellano, Pau Queraltó y Bahaadine Al Haddad. Ponencia presentada en el 49 ERSA Congress. LODZ: 2009, p. 1-30. 26-08-2009. ERSA es congreso notable UPC. La ponencia ha recibido 1 cita. (<https://futur.upc.edu/2576325>)
- *The Urban Sprawl: a planetary growth process? An overview of USA, Mexico and Spain.*

² Esta aportación representa la síntesis de la tesis realizada por Blanca Arellano en el Master de Gestión y Valoración Urbana y Arquitectónica.

³ Para el conocimiento en detalle de los índices donde está referenciada ACE, véase <https://revistes.upc.edu/index.php/ACE/index>.

⁴ El Congreso Internacional de Ciudad y Territorio Virtual (CTV) es una iniciativa de la red Arquitectura, Ciudad y Entorno, conformada inicialmente por la UPC junto a las Universidades de Guadalajara (México) y Bio-Bio (Chile). Sus proceedings vienen publicados en la revista de acceso abierto del mismo nombre que el congreso, y publicada por la UPC en <https://revistes.upc.edu/index.php/CTV>.

⁵ EURA, European Urban Research Association.

Autores: Blanca Arellano y Josep Roca. Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual. "6º Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual". Baja California: 2010, p. 1-30. Ponencia publicada en los Proceedings del Congreso de Ciudad y Territorio Virtual (<https://revistes.upc.edu/index.php/CTV/issue/view/788>). El trabajo ha recibido 5 citas.

El objeto de la 1ª aportación es realizar algunas reflexiones acerca del proceso de Sprawl en España y México. El uso de tecnologías relacionadas con las imágenes satelitales (teledetección) así como de los sistemas de información geográfica (SIG) permite caracterizar el fenómeno del consumo de suelo. Y este análisis sugiere algunas hipótesis sobre la pluralidad de los procesos de urbanización contemporáneos. Siguiendo a Dematteis (1997), el desarrollo urbano entre los siglos XIX y XX, trajo al mundo occidental, la coexistencia de dos modelos de expansión urbana:

- El tradicional, propio del área mediterránea y que se extendió hasta mediados del siglo XIX, basado en la compacidad de la ciudad, limitada por las murallas medievales. En este modelo, la era industrial, en pleno siglo XX, representó la "colonización" del campo, generando suburbios de elevada densidad.
- En el norte de Europa, en cambio, el desarrollo urbano se sobrepuso al anterior paisaje rural, recreando algunos de sus elementos. En dicho modelo, la ciudad jardín surgió como uno de los paradigmas del desarrollo urbano de finales del siglo XIX y principios del XX, a partir de la aportación seminal de E. Howard.

A partir de estos dos procesos "vernáculos" de urbanización, se han desarrollado sendos modelos de urbanización: por un lado, *el desarrollo urbano basado en bajas densidades*, el Urban Sprawl, banalización de la conversión de la garden city mediante su generalización en *international style*, donde el consumo insostenible de suelo se presenta como paradigma de desarrollo económico y, por otro lado, un desarrollo urbano basado en un modelo de ciudad compacta, donde el reciclaje de los espacios urbanos ("brownfields"), y no sólo el aumento del consumo de suelo, es uno de los objetivos clave de las políticas urbanas. El trabajo sugiere que en el segundo modelo parece vislumbrarse un cambio de paradigma hacia un uso más eficiente y sostenible del territorio.

El artículo se interroga acerca de si el proceso de Urban Sprawl se limita fundamentalmente al mundo desarrollado o si, por el contrario, se trata de una tendencia de carácter mundial. Si el fenómeno de la dispersión de la urbanización es algo específico de las sociedades avanzadas, económicamente fuertes, o si es una tendencia de alcance mundial que desborda a los países desarrollados. El trabajo publicado en ACE sugiere que en las últimas décadas parece apuntarse una convergencia entre los dos grandes modelos antes apuntados. *Convergencia en la que el consumo creciente de ese recurso escaso que es el suelo se convierte en fenómeno dominante*. Y en el que el Sprawl, antes confinado a unos pocos países desarrollados, especialmente de influencia anglosajona, se expande (como forma ¿tendencialmente universal? de desarrollo urbano) a territorios menos desarrollados. Se escogen los casos de España y México en cuanto representantes de las "periferias" europea y americana. España, como ejemplo del Arco Mediterráneo, y México, como ejemplo de la América (mal llamada) Latina.

El análisis del consumo de suelo según países y niveles de renta parece indicar, a primera vista (utilizando datos de Demographia⁶), que se trata de un fenómeno confinado al primer mundo: sugiere una diferenciación acusada de las pautas de consumo de suelo en función del nivel socio-económico de la población. *Los países con rentas altas y medias per cápita tienden a tener niveles de Sprawl mucho más acusados que los países de rentas bajas*. Así, por ejemplo, y si nos

⁶ Se usa la información suministrada por la web DEMOGRAPHIA: <http://www.demographia.com/>.

limitamos a las áreas urbanas de más de 500.000 habitantes, la densidad de las ciudades de los USA (1.100 hab./km²), Australia (950 hab./km²), Canadá (1.500 hab./km²) o Europa occidental (3.000 hab./km²), es acusadamente menos elevada a la densidad de las ciudades de Rusia (5.000 hab./km²), el resto del continente americano (6.350 hab./km²), África (8.200 hab./km²), China (6.750 hab./km²), India (15.700 hab./km²) o el resto de Asia (8.050 hab./km²).

Sin embargo, y a pesar de la claridad y contundencia de los datos anteriores, parece asimismo evidente que el consumo creciente de suelo no es un fenómeno confinado al 1er. Mundo. *Probablemente, la mayor novedad producida desde los años 70 del siglo pasado ha sido la expansión del fenómeno del Sprawl más allá de USA y el corazón de Europa.* En las últimas décadas del siglo pasado los procesos de Sprawl han tendido a propagarse a territorios cada vez más extensos.

El análisis de las cubiertas de suelo en Europa, por medio de Corine Land Cover (CLC)⁷, sin embargo, muestra que los países que han experimentado un mayor incremento del consumo de suelo en las últimas décadas no han sido los de rentas altas sino los de rentas medias, incorporados a la unión económica principalmente en los años 80. Portugal (con un crecimiento de suelo artificializado del 38,6%), Irlanda (con un 30,7%), España (con un 25,1%) y Grecia (con un 13,8%) han sido los auténticos líderes del Sprawl entre 1990 y 2000. No cabe duda, por tanto, que *es en la periferia occidental europea donde se han producido los mayores procesos de dispersión de la urbanización en el periodo 90-00.*

Ese es también, aunque de forma más matizada, el caso de la América de habla latina (Quebec excluido). A pesar de disponer de un nivel de renta claramente menor al de los países desarrollados, los países “latinoamericanos” también se han visto afectados por el modelo de vida (nort)americano, caracterizado por la baja densidad y el consumo creciente de suelo. Es evidente que en la periferia de influencia de los USA y, muy especialmente en México, la generalización entre las clases medias y altas del modelo de vida “americano” es un hecho. Los “clusters” cerrados caracterizan los nuevos tipos de desarrollo urbano. “Cotos” en los que la dispersión de la edificación, la fragmentación del territorio, la privatización del espacio público e, incluso, de los servicios básicos (seguridad, recogida de residuos, suministro de energía, etc.), y la dependencia casi absoluta del automóvil, configuran un modelo de ciudad alejada de los paradigmas de la sostenibilidad ambiental. En la periferia “latinoamericana” de los USA, el Sprawl se manifiesta, principalmente, en la forma dispersa y fragmentada de la urbanización. En definitiva, un modelo de desarrollo urbano alumbrado en el espejismo de la forma de vida del vecino del Norte y al que se tiende de forma incontrolada en la mayor parte de las urbes “latinoamericanas”.

En España el consumo de suelo se analiza por CCAA y provincias por medio de CLC. El análisis de los datos suministrados por Corine Land Cover ratifican que el litoral mediterráneo (Balears – Región de Murcia – Comunidad Valenciana), unido a los territorios donde la liberalización del mercado de suelo ha sido política dominante (Comunidad de Madrid y sus aledaños, Castilla La Mancha y Castilla León junto a Navarra), han sido los territorios donde se ha producido una mayor dispersión de la urbanización, así como un desarrollo urbano menos sostenible. Un modelo de crecimiento abiertamente opuesto al experimentado por otras regiones españolas, como el País Vasco, Canarias, Galicia o Cataluña, donde el proceso de Sprawl ha sido mucho más contenido.

⁷ En la web de Copernicus se detalla que “The CORINE Land Cover (CLC) inventory was initiated in 1985 (reference year 1990). Updates have been produced in 2000, 2006, 2012, and 2018. It consists of an inventory of land cover in 44 classes”. Los detalles técnicos de CLC se pueden consultar en <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>.

En la aportación se estudia en detalle el consumo de suelo de 5 paisajes urbanos (Madrid, Barcelona, las costas alicantina y murciana, y la ciudad de Córdoba) entre 1956 y 2006, resultado de la exposición 5x50 desarrollada por el CPSV en la sede de Nuevos Ministerios⁸. Frente al modelo "compacto" del continuo urbano de Barcelona (obligado, eso sí, por la escasez de suelo disponible), destaca la dispersión del resto de paisajes. En cambio, si se escoge el ámbito de la Región Metropolitana de Barcelona (RMB)⁹, el diagnóstico no es tan claro, aunque parece que en la década 00-10 se ha frenado el proceso de US.

Respecto a México, se analiza el proceso de crecimiento de las principales AM siguiendo la información de CONAPO e INEGI (las 9 zonas metropolitanas, ZM, de más de 1 millón de habitantes en el año 2000: Valle de México, Guadalajara, Monterrey, Puebla-Tlaxcala, Toluca, Tijuana, León, Juárez y La Laguna). Estas nueve zonas concentraban en el 2000, el 35,4% de la población total nacional.

Entre 2000 y 2005, se produjo en México un proceso de metropolitanización acusado. Destacaron, en el periodo analizado, Puebla-Tlaxcala (un incremento del suelo urbanizado del 35,01%), León (19,09%), Tijuana (14,46%) y La Laguna (14,08%). En un segundo grupo de desarrollo urbano acelerado se situaron las ZM de Monterrey (11,96%), Juárez (11,47%) y Guadalajara (9,65%). Finalmente, las ZM que han presentado un menor proceso de metropolitanización fueron, en periodo analizado, Toluca (7,75%) y la Valle de México (5,20%).

En ese periodo, prácticamente todas la ZM vieron decrecer la densidad, sugiriendo un acusado proceso de US. El proceso de Sprawl más acusado en el periodo 2000-2005 lo presentó Juárez, con un consumo de 33,16 Ha adicionales por cada mil habitantes, seguido de Puebla-Tlaxcala con 29,83 Ha y La Laguna con 28,85 Ha. Dentro de las regiones más contenidas en consumo de suelo se encontraron, en cambio, Guadalajara con 12,18 Ha por cada mil habitantes, Tijuana con 12,93 Ha y la ZM del Valle México, con 13,04 Ha.

El artículo concluye con la comparación entre el consumo de suelo entre las provincias españolas más pobladas (Madrid, Barcelona, Valencia, Sevilla, Vizcaya y Málaga¹⁰) y las ZM mexicanas. El balance, a pesar de las elevadas densidades mexicanas, parece sugerir un mayor Sprawl en México que en España, sobre todo si se tiene en cuenta los "demandantes reales" de suelo: la vivienda y la actividad económica. En todo caso, y desde un punto de vista dinámico, el proceso de US es generalizado, aunque el ejemplo de Barcelona parece sugerir que otro urbanismo es posible.

Las principales aportaciones de la contribución aquí presentada consisten, por tanto:

⁸ Se trata de un trabajo realizado por el CPSV para el Ministerio de Vivienda del Gobierno de España, que abordó el análisis del proceso de urbanización en el período comprendido entre 1956 y 2006 de veinte "paisajes" urbanos representativos de la geografía urbana de todo el país, y de los que cinco de ellos se presentaron ante la opinión pública española en el Exposición 5 x 50, que tuvo lugar en abril de 2007 en Madrid (Aguado, Roca & Leal, 2008). Junto a los datos disponibles de CORINE (1990 y 2000) se agregó la información obtenida de georeferenciar las fotografías del vuelo americano de 1956, así como el análisis de las imágenes de SPOT V relativas a 2006, obteniéndose de este modo una radiografía precisa del proceso de urbanización de los espacios urbanos analizados a lo largo de los últimos 50 años. Véase, para mayor detalle, <https://saladeprensa2.upc.edu/es/al-dia/mes-noticias/2008/el-centro-de-politica-del-suelo-y-valoraciones-de/.html>.

⁹ La RMB se extiende sobre 3.200 km², en 164 municipios, y acoge una población de 4,8 millones de habitantes.

¹⁰ El motivo de utilizar el ámbito provincial en el caso de España se debió a la no disponibilidad, en el momento de realizar el artículo, del suelo urbanizado a escala subprovincial. Los datos, referidos al año 2000, fueron suministrados por Corine Land Cover.

- En presentar a escala mundial un análisis comparado del consumo de suelo por habitante. Cabe indicar, sin embargo, que la base de información utilizada (Demographia) es indirecta, y no pudo ser contrastada con datos independientes. En este sentido destaca, a nivel mundial, el mayor consumo de suelo de los países más ricos, en relación a los más pobres.
- El artículo presenta, tal vez por primera vez, el consumo de suelo per cápita en Europa entre 1990 y 2000, gracias a la información suministrada por CLC. Y, en este sentido, destaca el mayor proceso de Sprawl en los países del Mediterráneo e Irlanda¹¹.
- A escala española, y con datos de Corine Land Cover, se comparan los procesos de Sprawl de las diferentes provincias, destacando aquéllas en las que liberalización de suelo fue más destacada, a partir del cambio de Gobierno de 1996.
- El trabajo presenta las conclusiones del proceso de urbanización entre 1956 y 2006 de cinco paisajes urbanos, destacando el crecimiento más contenido de Barcelona (basado en los “brownfields”) que en Madrid, costa alicantina, costa murciana y Córdoba (basado en los “greenfields”).
- El artículo analiza el crecimiento metropolitano en las principales aglomeraciones mexicanas, poniendo de relieve el significativo proceso de Sprawl existente en las mismas.
- Todo lo anterior permite la comparación del crecimiento urbano en México y España.

2.2. The Urban Sprawl: an overview of USA, Mexico and Spain

La segunda aportación, consiste en una ponencia presentada en el 50th Congreso de ERSA, Sustainable Regional Growth and Development in the Creative Knowledge Economy, realizado los días 19 – 23 de agosto de 2010, en Jönköping, Suecia, y tiene como autores a Blanca Arellano, Josep Roca y Pau Queraltó. La ponencia tiene 30 páginas. Como indicio de calidad indicar que los congresos de ERSA son reconocidos como “notables” por la UPC, razón por la cual la ponencia aporta 1 punto según la Normativa de Tesis Doctorales por Compendio de Publicaciones. El trabajo ha recibido una cita, y forma, como se ha indicado previamente, junto a la primera aportación, una misma contribución.

El objeto de dicha contribución es hacer una visión general del Urban Sprawl en Estados Unidos, México y España. Mientras que en la aportación antes presentada se desarrolla con detalle el proceso de urbanización en México y España, esta segunda aportación incorpora la evaluación del proceso de Urban Sprawl en USA, entre 1990 y 2000.

En Estados Unidos el consumo de suelo ha pasado de 161 millas cuadradas por cada 1.000 habitantes en 1950 a 243 en 1970, y a 293 en 1990 en las áreas metropolitanas (SMA) de más de un millón de habitantes. Ha representado un incremento de 384 millas cuadradas por cada

¹¹ Es de destacar que dichos países, en la que la construcción representó antes de la crisis de 2007 un elemento esencial de crecimiento económico, fueron los que experimentaron una mayor contracción de la economía a partir de la mencionada crisis.

1,000 habitantes adicionales entre 1950 y 1970; cifra que ha aumentado a 527 en el período 1970-1990. El consumo de suelo se ha acentuado, por tanto, con el posfordismo, llegando a su paroxismo entre 1970 y 1990.

El estudio se ha centrado en el análisis de la expansión de las 12 *urbanized areas*¹² que en 2000 tenían poblaciones superiores a los 3 millones de habitantes. Para las mencionadas áreas urbanizadas se construyó un SIG, el cual permitió la cuantificación del desarrollo urbano entre 1990 y 2000.

Los resultados del análisis confirman la generalización del proceso de Sprawl en dicho periodo para las grandes áreas urbanizadas USA. Paradójicamente, en contra de la creencia generalizada en los medios especializados, el área de Los Ángeles es la que manifiesta un menor consumo de suelo por habitantes (416,56 m² per cápita, en el año 2000), frente a New York (487,82), Chicago (661,79), Philadelphia (905,15), Miami (587,65), Dallas (879,11), Boston (1.115,12), Washington DC (761,58), Detroit (837), Houston (877,62), San Francisco (458,80) y Atlanta (1.452,38); ésta última, campeona del Sprawl en USA. Frente a esos consumos de suelo palidecen los de ciudades como México (115,03 m² per cápita), Guadalajara (135,35), Madrid (161,68) o Barcelona (160,16).

La ponencia presentada en ERSa 2010 permite, por tanto, un análisis comparado del proceso de US en EEUU, México y España. Hace constancia de que, a pesar del proceso acelerado de consumo de suelo en estos dos últimos países, USA representa el paradigma del Sprawl contemporáneo.

Las aportaciones 1 y 2, de forma conjunta, permiten una primera radiografía del US en el mundo, especialmente en EEUU, México y España. Adolecen, sin embargo, de utilizar por lo general fuentes secundarias (Demographia, Census Bureau, INEGI, CLC). Con todo, representan un ejercicio inicial para la construcción de un SIG sobre la urbanización del territorio en los tres países seleccionados. Y fundamentan la tesis de que el proceso de Sprawl se está generalizando a escala mundial.

2.3. Urban Detection, delimitation, and Morphology: Comparative analysis of selective megacities

La tercera aportación, fue publicada en International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXIX-B7, 2012. Corresponde a una ponencia presentada en el XXII ISPRS Congress, 25 August – 01 September 2012, Melbourne, Australia. Los autores son B. Alhaddad, B. E. Arellano y J. Roca. Como indicadores de calidad cabe decir que los congresos de ISPRS (cuatrienales) están indexados en la UPC como “notables”. Además, y fundamentalmente, la revisión por pares implica su publicación en Archives, la cual se encuentra indexada en las bases de datos. El SJR relativo al año de publicación, 2012, fue de 0,222¹³, equivalente al 2 cuartil de Arquitectura, lo que representa un total de 3 puntos a los

¹² Cabe no identificar las áreas urbanizadas (urbanized áreas) con las áreas metropolitanas (metropolitan áreas) en EEUU. El Census Bureau comenzó a identificar **áreas urbanizadas densamente pobladas** (50.000 habitantes o más) en el Censo de 1950, teniendo en cuenta la mayor presencia de desarrollo suburbano densamente poblado en las cercanías de las grandes ciudades. Fuera de las áreas urbanizadas, la Oficina del Censo continuó identificando como urbano cualquier lugar “incorporado” o “designado” de al menos 2.500 y menos de 50.000 habitantes. Las urbanized áreas representan el corazón de las áreas metropolitanas.

¹³ Archives se situaría en el lugar 27 de las 71 publicaciones indexadas en Architecture en SJR.

efectos de la Normativa de Tesis Doctorales por Compendio de Publicaciones del PD GVUIA. Cabe añadir que el artículo ha recibido 4 citas. Esta aportación no ha tenido publicaciones vinculadas.

El objetivo de este trabajo es detectar, identificar y analizar la morfología de las megaciudades a través de instrumentos de teledetección y diversos indicadores del paisaje. Para comprender la estructura de estos paisajes heterogéneos llamados megaciudades, el consumo de suelo y la complejidad espacial deben cuantificarse con precisión. La teledetección puede ser útil para evaluar cómo las diferentes cubiertas del suelo dan forma a las megaregiones urbanas. El análisis morfológico del paisaje permite establecer las analogías y las diferencias entre patrones de ciudades y estudiar la simetría, dirección de crecimiento, linealidad, complejidad y compacidad de la forma urbana. El objetivo principal de este trabajo es, por tanto, desarrollar una nueva metodología para detectar el suelo artificializado de algunas megaciudades alrededor del mundo (Tokio, México, Chicago, Nueva York, Londres, Moscú, Sao Paulo y Shanghai) utilizando imágenes Landsat 7. Una técnica de teledetección capaz de monitorear el proceso contemporáneo de Sprawl. Más concretamente, el artículo busca desarrollar un sistema eficiente para detectar y medir con precisión el suelo artificializado de las grandes megaciudades mediante el uso de imágenes satelitales de resolución media.

La metodología empleada consistió en delimitar una “ventana” de 45.000 km² para cada megaciudad y por medio del análisis de las imágenes de Landsat 7 (multiespectral a 30 metros/píxel y pancromática a 15 m/p) clasificar las imágenes segmentando el agua, el suelo artificializado y el suelo no artificializado.

Los resultados del estudio muestran que el *área construida* supera los 5.000 kilómetros cuadrados en Nueva York, Tokio y Chicago. Londres, Sao Paulo y Shanghai se sitúan entre 4.000 y 5.000 kilómetros cuadrados. Finalmente, Moscú y la Ciudad de México denotan una superficie construida más baja, 3.000 y 2.000 kilómetros cuadrados respectivamente.

La aportación seleccionada buscó, más allá de determinar la “built-up area”, establecer el *suelo artificializado*, es decir, impactado por la urbanización. Para ello se establecieron buffers de 100 metros de cada “patch” edificado, delimitándose así los *continuos urbanizados* de los ámbitos de estudio. La segmentación de esos continuos en un grid de 1 km², permitió, adicionalmente, la construcción de un conjunto de indicadores de morfología urbana: “artificialised Index” (es decir el porcentaje ocupado por el suelo urbanizado), la dimensión fractal, el “dominance index”, la entropía o el MECl de cada celda. Dichos indicadores permitieron comprender las similitudes y diferencias entre los paisajes de las diferentes megaciudades, estableciendo su grado de Sprawl. Especialmente *el análisis de la entropía de los “patches” urbanizados permitió visualizar la mayor fragmentación de las periferias metropolitanas, respecto a los centros y las áreas rurales.*

El trabajo aquí presentado aborda, por tanto, dos elementos de innovación respecto a las anteriores aportaciones. El primero, la utilización de las herramientas de remote sensing (en este caso la clasificación supervisada de las imágenes de Landsat 7) para la construcción de indicadores propios, es decir de fuentes primarias de información. El segundo la atención a esos nuevos fenómenos del proceso urbanizador que son las megaciudades. Más allá de las aglomeraciones urbanas, más allá de las áreas metropolitanas, han surgido, a partir de la segunda mitad del siglo XX, las megalópolis. Nueva fase del proceso urbanizador a la que se prestará atención en el capítulo 4 de esta tesis.

El artículo publicado en Archives ISPRS aborda la clasificación del suelo artificializado cuando aún no existían bases de datos de alcance planetario que posibilitasen el análisis comparado de

las megaciudades a escala mundial¹⁴. Desarrolla una metodología que a pesar de sus grandes posibilidades¹⁵ es muy exigente en cuanto a los recursos de computación, si lo que se desea es construir una base de información homogénea para toda la superficie emergida del planeta. Fuera del alcance de nuestro centro de investigación, el Centro de Política de Suelo y Valoraciones de la UPC. De ahí que los esfuerzos se dirigiesen más adelante en otro sentido: el análisis de las luces nocturnas, que se presentan más adelante, en el referido capítulo 4.

2.4. Sprawl en las metrópolis europeas: las periferias metropolitanas, ¿principal escenario de la dispersión de la urbanización en Europa?

La cuarta Aportación, artículo publicado en ACE. Octubre 2012, Año 7, núm. 20. P. 95-114. Dicho artículo se inscribe en un número especial de la revista destinado a exponer los resultados del proyecto EL DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA PARA EL MODELADO PROSPECTIVO DE LOS PROCESOS DE URBANIZACIÓN EN LAS ZONAS COSTERAS 2010-2012 (CSO2009-09057)¹⁶. Como indicadores de calidad de esta aportación cabe indicar que ACE se encontraba en 2012 en el segundo cuartil de Arquitectura de SJR, aportando en consecuencia 3 puntos según la Normativa de Tesis Doctorales por Compendio de Publicaciones del Programa de Doctorado de Gestión y Valoración Urbana y Arquitectónica. Añadir que el artículo ha recibido 7 citas según Google Scholar, y que tiene tres publicaciones asociadas:

- *The urban sprawl in the Metropolitan areas of Europe*. Autores: Blanca Arellano, Pau Queraltó y Josep Roca. Ponencia presentada en el 52nd ERSA Congress. Regions in Motion – Breaking the Path. 21 – 25 August 2012, Bratislava, Slovakia. Añadir, como se ha indicado previamente, que el congreso de ERSA es congreso notable UPC. Para una referencia detallada: <https://ersa.org/events/52nd-ersa-congress/>.
- *Urban sprawl en Europa: las periferias de las metrópolis, principal escenario de la dispersión de la urbanización*. Autores: Blanca Arellano y Josep Roca. Ponencia presentada en el 8º Congreso de Ciudad y Territorio Virtual, celebrado en Río de Janeiro (Brasil) (<https://revistes.upc.edu/index.php/CTV/article/view/7839>).
- *The urban sprawl in megacities, it is an unsustainable model?* European Real Estate Society's annual conference. "European Real Estate Society 19 th Annual Conference". Edinburg: 2012, p. 1-8. El congreso ERES es congreso notable UPC. (<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/18743>). La ponencia ha recibido 4 citas.

¹⁴ Existían, eso sí, bases de datos a escala regional, como las desarrolladas en EEUU por USGS y en Europa por Copernicus.

¹⁵ Dicha metodología, con algunas variaciones, fue aplicada en el proyecto de investigación *MODEL COSTA. Desarrollo de una Plataforma para el Modelado Prospectivo de los Procesos de Urbanización de las Zonas Costeras*. Plan Nacional I+D+I. Proyectos de investigación fundamental del Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN). Ref. CSO2009-09057. 2010-2012. Dicha metodología, asimismo, fue ampliamente utilizada en la tesis doctoral de Nicola Colaninno, *Semi-automatic land cover classification and urban modelling based on morphological features* (2016).

¹⁶ La autora coordinó en dicho número la sección especial de ACE (2012) destinada a presentar los resultados del proyecto. Esta sección especial se compuso de seis artículos que tuvieron como hilo conductor el estudio del Urban Sprawl y trataron los procesos de urbanización acelerados en diferentes territorios de costa y en las grandes metrópolis de Europa. Por tanto, el objetivo principal de dicha sección especial consistió en dar a conocer algunos de los trabajos realizados en torno a esta tendencia mundial que es el Urban Sprawl, el alto consumo y la fragmentación del uso del suelo. Véase, a tal efecto, la editorial: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099/12675>.

El principal objetivo de la 4ª aportación consiste en evaluar el proceso de Urban Sprawl en Europa. El discurso político territorial europeo (EEA 2006, en otros documentos) ha venido denunciando el creciente consumo de suelo artificializado que generan los actuales procesos de dispersión urbana. Según la Unión Europea, la demanda creciente de suelo, por encima del crecimiento demográfico y económico, ha devenido uno de los paradigmas del desarrollo territorial del primer mundo. Así, el consumo de suelo por habitante (véase aportaciones 1 y 2) alcanzaba en las aglomeraciones de más de 500.000 habitantes, hacia principios de siglo, unos 350 m² de suelo por habitante tanto en Europa como en el mundo más desarrollado, frente a tan sólo unos 125 m² en el resto del planeta. La tendencia progresiva hacia el consumo masivo de suelo es especialmente preocupante en las grandes metrópolis, allá donde la presión de la urbanización alcanza niveles más acusados: por poner un solo ejemplo, mientras un 4,7% del territorio europeo se encontraba urbanizado en el año 2000, esa proporción alcanzaba un 15,6% en los entornos de las principales regiones urbanas europeas.

El artículo busca evaluar el grado de Urban Sprawl, así como contrastar las características de los diferentes modelos de ocupación de suelo en las principales áreas metropolitanas europeas. En este contexto, *el trabajo parte de la hipótesis de que es en las periferias metropolitanas europeas donde las patologías del Sprawl se hacen más acusadas*. A tal efecto se desarrolla una metodología basada en la noción de Impervious Surface Areas (ISA) dirigida a la delimitación no sólo de los propios artefactos a analizar (las áreas impactadas por la urbanización de las grandes metrópolis europeas), sino también a diferenciar sus centros y periferias. Este trabajo se enmarca en un contexto donde todavía no se disponía de una base propia, a escala mundial, para delimitar y categorizar las áreas urbanas.

Estudiando en detalle el US en Europa, la Unión Europea observaba un consumo medio de suelo urbanizado de unos 360 m² por habitante en el año 2000, según Corine Land Cover. El artículo analiza, a partir de CLC 1990-2000, el consumo de suelo por habitante en los países europeos. La correlación entre dicho indicador de Sprawl y el Producto Interior Bruto (PIB) ofrece una, en principio contradictoria, imagen de que a +PIB → -US. Sin embargo, esa relación aparente esconde una relación no lineal, en U. El modelo cuadrático revela que países de renta reducida (como Bulgaria, Rumania, Estonia o Lituania) comparten consumos de suelo significativos junto a países de renta elevada (como Bélgica, Luxemburgo o Dinamarca). En cambio, las naciones de la periferia Sur mediterránea (España, Portugal, Italia o Grecia) manifiestan consumos de suelo reducidos, disfrutando niveles de renta per cápita medio-altos. Para dichos ámbitos geográficos, la periferia oriental europea es la zona con un mayor consumo de suelo (493,89 m² por habitante) mientras que su PIB (4.287,07 € por habitante) alcanza por poco la sexta parte del PIB de la Europa Central (con un consumo de suelo de 419,19 m² por habitante). Por su parte la periferia sur, caracterizada por un nivel de renta medio (15.611,53 € por habitante), denota niveles de Sprawl mucho menos acusados (263,9 m² de suelo per cápita). Dicho modelo cuadrático, por tanto, sugiere *la hipótesis de que es el patrón de histórico de ocupación de suelo el factor que explica, antes que el grado de riqueza de los países, el consumo de suelo en Europa*.

Los datos anteriores sugieren, por lo tanto, que el consumo de tierra, lejos de representar el resultado mecánico del nivel de desarrollo económico, corresponde también, y de forma muy especial, a pautas de ocupación del espacio heredadas históricamente. Las formas sociales de ocupación del espacio han conducido a diferentes tipos de asentamiento humano, de carácter más o menos compacto, representando este factor el elemento todavía hoy determinante del consumo de suelo, a pesar de la tendencia de alcance mundial de generalización del Urban Sprawl en la medida que se produce el desarrollo económico de las naciones. Las diversas formas de asentamiento humano históricamente heredadas (“vernáculos”) han generado un distinto

patrón de ocupación del suelo, disperso o compacto. Es sobre ese patrón histórico sobre el que interviene el fenómeno global, contemporáneo, de US.

Lo anterior no empaña el hecho, unánimemente constatado, de que en Europa la tendencia hacia Urban Sprawl es imparable. Analizando el periodo 1990-2000, mientras que el crecimiento de la población fue del 2,19%, el consumo de suelo se incrementó en un 5,38%. Lo anterior significa que, por cada habitante adicional, respecto a 1990, Europa generó 860 m² de suelo altamente artificializado, frente a los 350 m² acumulados a lo largo del tiempo (1990).

El Sprawl, tal como denuncia la EEA (2006), es uno de los principales fenómenos (y problemas) de nuestra era. El objetivo básico del artículo consiste, como se ha indicado, en estudiar el fenómeno del Urban Sprawl en el sistema urbano europeo. De forma más específica, se pretende evaluar el grado de Sprawl de las principales regiones metropolitanas europeas y el alcance del proceso de dispersión de la urbanización, así como las características de los modelos de ocupación del suelo de las mismas. Asimismo, parte de la hipótesis de que es en las periferias de las áreas metropolitanas donde las patologías del Sprawl son más acusadas, a diferencia de los centros, los cuales mantienen niveles de densidad y compacidad de la urbanización aún significantes, así como del resto de sistema urbano (ciudades pequeñas e intermedias), donde la dispersión de la urbanización, aun siendo importante, mantiene niveles menos acusados.

El trabajo aborda, en una primera instancia, el problema de cómo delimitar las metrópolis europeas, así como sus centros y periferias. Hay que considerar que, en el momento de la redacción, Eurostat no había publicado su metodología propia (existía sólo Urban Audit). A falta, por tanto, de un sistema integrado para el análisis de las áreas urbanas europeas, en el artículo se utiliza la base Impervious Surface Areas (ISA), desarrollada por el NOAA's National Geophysical Data Center de USA (Elvidge et al., 2007), a fin de delimitar las Áreas Impactadas (AI) por la urbanización en la mayor parte de los países de Europa.

A fin de establecer el límite de impermeabilización para definir las aglomeraciones urbanas se realiza una regresión logística con las Urbanized Areas de los EEUU (véase aportación 2) como variable dependiente (1,0), y la ISA como variable independiente. El modelo establece el umbral empleado de impermeabilización, para definir las aglomeraciones: un 4,85%¹⁷. La aplicación de dicho umbral a la Europa de los 27 (más Suiza, San Marino, Liechtenstein y Ciudad del Vaticano; para evitar vacíos), permite identificar 47.615 AI (áreas impactadas por la urbanización), clasificándolas en base a su población¹⁸. A los efectos del estudio se consideraron como metrópolis europeas aquéllas cuya AI de referencia alcanzase una población igual o superior a 1.000.000 de habitantes.

El artículo publicado en ACE establece el umbral del 30% de impermeabilización para identificar los *centros urbanos*, correspondiendo el resto (hasta el 5%) a la *periferia*. Se superponen las ISAs, CLC y World Gazetteer en las 48 metrópolis europeas de más de 1 millón de habitantes. Ello permite construir dos indicadores: La superficie (per cápita) impactada por la urbanización, cuantificada por la relación existente entre la superficie de la ISA de cada aglomeración (hasta el 30% en el caso de los centros, hasta el 5% en el de las periferias) entre la población (en cada una de las citadas ISA). Y la superficie urbanizada per cápita, obtenida de la relación de superficie urbanizada resultante de CLC por habitante, en cada uno de los ámbitos estudiados (centros y periferias de las AI).

¹⁷ Porcentaje que finalmente se redondea en un 5%.

¹⁸ Al no disponer aún de bases de datos más avanzadas, en el artículo se usó la base de datos de "localidades" de World Gazetteer (<https://www.library.ucdavis.edu/database/world-gazetteer/>).

La aplicación de la anterior metodología al conjunto de AI de Europa permite observar un impacto decreciente de suelo artificializado en función del tamaño de la aglomeración. Las 48 aglomeraciones de más de 1 millón de habitantes impactan 544 m² de suelo (ISA) por habitante, frente a 593 m² las de población situada entre 500.000 y 1.000.000 habitantes, 639 m² las AI con población comprendida entre 100.000 y 500.000 habitantes, 719 m² las AI con población situada entre 50.000 y 100.000 habitantes, y más de 750 m² las AI menores a 50.000 habitantes.

Y el mismo ejercicio se realiza con la información disponible de CLC: la muestra de las 48 metrópolis de más de 1 millón de habitantes analizada consume, de media, 247 m² de suelo urbanizado por habitante, cantidad significativamente más reducida a los 361 m² de media del conjunto de la Unión Europea. En consecuencia, las metrópolis no parecen (en primera instancia) ser las principales causantes del Sprawl.

Si se diferencian las áreas centrales y las periferias metropolitanas, las primeras impactan como media 152,81 m² por habitante, frente a los 1.654,63 m² de las periferias. Éstas, por tanto, muestran un grado de artificialización del suelo mucho más acusado, no sólo que los centros sino también que el conjunto de áreas urbanizadas de tamaño inferior. *La afirmación de que las metrópolis no son las principales causantes del Sprawl debe ser, por tanto, revisada, ya que es en su periferia donde parece producirse los procesos de dispersión de la urbanización y consumo de suelo más acusados.* Y resultados análogos se obtienen si el indicador es el suelo urbanizado en función a CLC.

En conclusión, se puede afirmar que el trabajo seleccionado realiza tres aportaciones principales. La primera, que el consumo de suelo por habitante varía no sólo en función de la "riqueza" (PIB per cápita), sino también en virtud a pautas de ocupación del espacio diferenciadas por ámbitos geográficos y culturales. La segunda, que se produce una reducción del consumo de suelo por habitante en función al tamaño del sistema urbano, evidenciando economías de aglomeración. Y por último que, a pesar de lo anterior, la mayor eficiencia de las metrópolis oculta el hecho de que es en las periferias de las mismas donde los procesos de US son más acusados.

En esta primera sección se han presentado las primeras aportaciones realizadas en el marco de la investigación de doctorado, en las que se ha pretendido dar una visión del fenómeno del Urban Sprawl a escala mundial. Las aportaciones 1 y 2 se han concentrado en el estudio comparado entre México, España y Estados Unidos. La aportación 3, ha abierto el uso a herramientas de remote sensing para el análisis del US en una selección de megaciudades. Y la aportación 4 se ha centrado en Europa, sustentando la tesis del crecimiento insostenible de las periferias metropolitanas.

En la sección siguiente se pondrá el acento en los trabajos que han investigado la estructura urbana y metropolitana, intentando contrastar la hipótesis de a más policentrismo, menos Sprawl.

ACE 12

Electronic offprint

Separata electrónica

EL URBAN SPRAWL, ¿UN FENÓMENO DE ALCANCE PLANETARIO?

LOS EJEMPLOS DE MÉXICO Y ESPAÑA

BLANCA ESMARAGDA ARELLANO RAMOS Y JOSEP ROCA CLADERA

ACE: Architecture, City and Environment = Arquitectura, Ciudad y Entorno [en línea]. 2010, Año 4, núm. 12 Febrero. P. 115-147

ISSN: [1886-4805](https://doi.org/10.1080/18864805)

Website access: http://www-cpsv.upc.es/ace/Articles_n10/Articles_pdf/ACE_12_ST_30.pdf

UPCommons Access: <http://hdl.handle.net/2099/8556>

ACE

Architecture, City, and Environment

Arquitectura, Ciudad y Entorno

©

ACE 12

Electronic offprint

Separata electrónica

URBAN SPRAWL: A PLANETARY GROWTH PROCESS?

Key words: Urban sprawl, diffuse city, sustainability, land consumption

Abstract

In this paper the urban expansion of cities in Spain and Mexico is analyzed. Using remote sensing technologies the land consumption is traced. Results suggest the existence of two models of land consumption: one based on historical urban tissues, characterized by high densities, and other based on low densities related to the contemporary paradigm of urbanization. In the last decades both models seems to converge, in such a process the land consumption is the dominant feature. Urban sprawl seems to be a process which was originally confined to industrialized countries, but now has reached other less developed territories. Both Spain and Mexico can be considered as such peripheries in their respective SW Europe and North America context.

ACE

Architecture, City, and Environment

Arquitectura, Ciudad y Entorno

C

EL URBAN SPRAWL, ¿UN FENÓMENO DE ALCANCE PLANETARIO? LOS EJEMPLOS DE MÉXICO Y ESPAÑA

ARELLANO RAMOS, Blanca Esmaragda¹
ROCA CLADERA, Josep

Remisión del artículo: 7-11-2009

Remisión definitiva: 9-2-2010

Palabras claves: urban sprawl, ciudad difusa, ciudad sustentable, consumo de suelo.

Resumen

El objeto de nuestra contribución es realizar algunas reflexiones acerca del proceso de sprawl en España² y México³. El desarrollo de las tecnologías vinculadas a la imagen satelital (remote sensing) permiten la caracterización del fenómeno de consumo, patológico o no, de suelo. Y de este análisis surgen hipótesis acerca de la pluralidad de los procesos de urbanización contemporáneos. A grandes rasgos sobresalen dos grandes modelos: por una parte los desarrollos urbanos heredados históricamente, y caracterizados por lo general por procesos de ocupación del espacio basados en altas densidades y, por otra, los desarrollos en bajas densidades en el que el consumo insostenible de suelo se presenta como paradigma del desarrollo económico contemporáneo. El trabajo que aquí se presenta sugiere que en las últimas décadas parece apuntarse una convergencia entre ambos modelos. Convergencia en la que el consumo creciente de ese recurso escaso que es el suelo se convierte en fenómeno dominante. Y en el que el sprawl, antes confinado a unos pocos países desarrollados, se expande (¿como forma tendencialmente universal de desarrollo urbano?) a territorios menos desarrollados. A España y México en cuanto representantes de esas periferias como son el Arco Mediterráneo Europeo respecto a la Europa y América Latina respecto a los Estados Unidos de América.

1. Introducción

La segunda mitad del siglo XX ha sido, sin duda, la época en que se ha producido un mayor desarrollo de la urbanización a escala planetaria. La población urbana ha pasado de 750 millones de personas en 1950 a 2.860 en el año 2000, representado en la actualidad más del

¹ Blanca Esmaragda Arellano Ramos: Arquitecta, Universidad Autónoma de Baja California. Email de contacto: esmaragda@uabc.mx. El presente trabajo de investigación forma parte de la tesis desarrollada por Blanca Arellano bajo la dirección de Josep Roca en el marco del Programa de Máster Universitario de Gestión y Valoración Urbana de la Universidad Politécnica de Cataluña. Versiones preliminares del mismo han sido presentadas en Congresos realizados en Monterrey, Barcelona, Madrid y Lodz (Arellano *et al.*, 2009a, 2009b, 2009c).

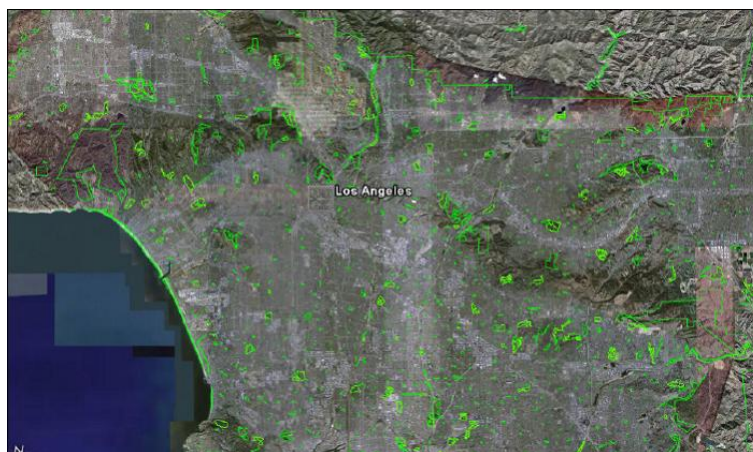
² Los datos que aparecen en este trabajo, referidos a España, provienen de dos fuentes de información diferenciadas: por una parte la explotación de las bases del proyecto CORINE LAND COVER de la Unión Europea, y por otro los resultados de diversos trabajos de investigación desarrollados por el Centro de Política de Suelo (CPSV) de la UPC. Concretamente el proyecto de investigación, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación, *El proceso de urbanización en la costa mediterránea: ¿Hacia un modelo insostenible de ocupación del suelo? Un análisis retrospectivo (1956-2006) y prospectivo (2006-2026)* (2006-2009), así como el proyecto *La evolución de 20 paisajes urbanos en los últimos 50 años*, financiado por el Ministerio de Vivienda (2007-2008). Para algunos resultados de estos proyectos véase Roca *et al.* 2007 y Al Haddad *et al.* 2008.

³ Respecto a México la información utilizada proviene del análisis realizado, utilizando bases de datos provenientes del INEGI, así como del estudio realizado por SEDESOL, CONAPO e INEGI sobre Delimitación de zonas metropolitanas de México 2005.

50% de la población mundial. España y México no han sido una excepción. La transformación urbana producida en ambos países en los últimos 50 años es un fenómeno de una magnitud indiscutible. A mediados del siglo XX, tanto España como México eran países de perfil básicamente agrícola. Más del 50% de la población trabajaba en la agricultura. A principios del siglo XXI, en cambio, menos del 15% (del 10% en España) de la población ocupada se dedica a actividades agrarias⁴. La industria y, sobre todo, los servicios representan la inmensa mayoría de los empleos.

Siguiendo al gran ecólogo Ramón Margalef, se ha producido una auténtica *inversión en la topología del paisaje*. Las redes de urbanización, que aún hace pocos decenios no representaban sino elementos aislados en el conjunto del medio rural, han pasado a extenderse por la totalidad del territorio, configurando un nuevo “paisaje”. Paisaje en el que lo rural ya no representa sino “islas” en el conjunto del suelo altamente artificializado por la urbanización, como lo muestra la figura 1, donde vemos las “islas” verdes, dentro del “océano” metropolitano de Los Ángeles. Y ese cambio se ha producido en el transcurso de una generación. Las mujeres y los hombres que nacieron en 1950 han visto con sus propios ojos la magnitud del cambio acaecido. Cambio que, a partir de la década de los 70 del siglo pasado, se ha caracterizado no sólo por la urbanización progresiva, sino por el continuado incremento de consumo de suelo por habitante: el proceso que se ha denominado *urban sprawl*⁵ (Ewing, Pendall & Chen 2002, Garlster 2006).

Figura 1. “Islas” verdes y naturales en el “océano” metropolitano de Los Ángeles



Fuente: Elaboración propia.

⁴ Según datos del INEGI, la caída del sector primario en México tuvo lugar, sobre todo, a partir de la década del 60 del siglo pasado. Así los Estados Unidos Mexicanos vieron disminuir el sector agrario del 58,32% en 1950, al 54,21% en 1960, 39,39% en 1970, 25,80% en 1980, 22,65% en 1990, hasta el 15,83% en 2.000. Se estima que su participación en el PIB nacional es del orden del 3,3% (2007).

⁵ La literatura especializada ha discutido en profundidad el concepto de sprawl. Por poner solo un ejemplo, Ewing, Pendall & Chen (2002) han definido el sprawl “as the process in which the spread of development across the landscape far outpaces population growth. The landscape sprawl creates has four dimensions: a population that is widely dispersed in lowdensity development; rigidly separated homes, shops, and workplaces; a network of roads marked by huge blocks and poor access; and a lack of well-defined, thriving activity centers, such as downtowns and town centers. Most of the other features usually associated with sprawl—the lack of transportation choices, relative uniformity of housing options or the difficulty of walking—are a result of these conditions.” El sprawl, sin embargo, no puede ser reducido a una simple cuantificación de la densidad demográfica. Como han indicado Marmolejo & Stallbohm (2008) debe tenerse en cuenta, también y, cuando menos, la densidad de “lugares de trabajo”, puesto que no sólo la residencia ocupa espacio. El sprawl, en esta perspectiva, se produciría tan sólo si el consumo creciente de suelo no viene compensado por la densidad *total* del espacio urbano, compuesta no sólo por los habitantes de “noche” (residentes), sino también por los de “día” (empleos).

Es un hecho constatado que el *urban sprawl*, el proceso de dispersión progresiva de la urbanización, se ha convertido en un fenómeno a escala planetaria, especialmente en el mundo desarrollado y sus alrededores. Como ejemplo de esto, la figura 2 muestra el *urban sprawl* en la Costa Este americana. El consumo creciente de suelo, resultado de la extensión de las redes de urbanización por territorios cada vez más extensos, parece haber devenido un cáncer imparabile, que afecta a prácticamente al conjunto de las metrópolis contemporáneas.

El proceso de dispersión de la urbanización tuvo su origen en el modelo suburbano de vida iniciado con la generalización del automóvil. Un modelo de vida basado en el "sueño" americano de "una casa, un (o más) coche(s)". Sin embargo ha sido desde finales de los años 70 del siglo pasado que ha tenido un desarrollo más acusado, resultado de la crisis de las áreas metropolitanas vinculada a lo que se ha denominado economía postfordista y que diversos autores han caracterizado como contra-urbanización (Berry, 1976), rururbanización (Bauer, 1976), periurbanización (Dezert et al, 1991), desurbanización (Berg, 1982), metápolis (Asher, 1995) o ciudad difusa (Indovina et al, 1990). A pesar de la diversidad del desarrollo urbano, el consumo creciente de suelo, la utilización excesiva de este recurso escaso que es la tierra, es una de las constantes del proceso de urbanización en los albores del siglo XXI (Tsai 2005, Schneider et al 2008).

Figura 2. Urban Sprawl en la Costa Este americana



Fuente: Elaboración propia.

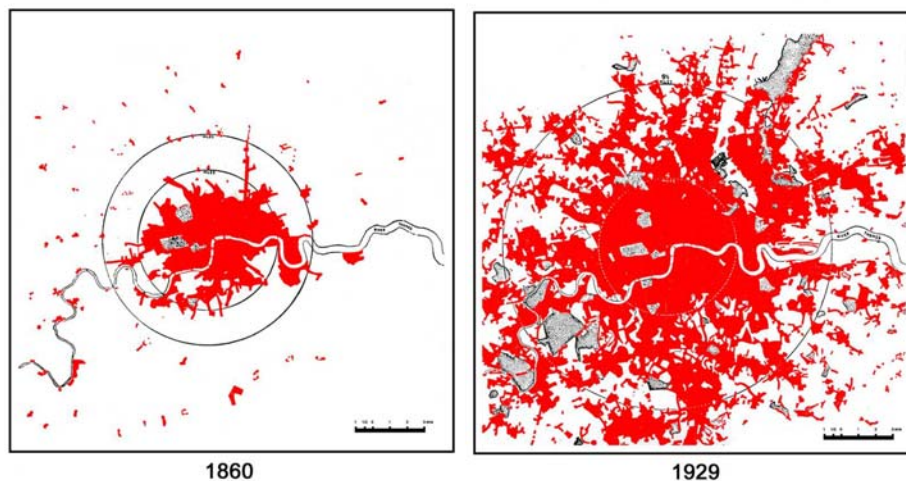
La investigación que aquí se presenta consiste en indagar el alcance de estos fenómenos de urbanización dispersa en México y España. El primero, país líder (junto a Brasil) en el ámbito de Latinoamérica y ejemplo paradigmático de las formas de desarrollo urbano de ese entorno cultural y geográfico. Y España en cuanto representante de los procesos de urbanización latino-mediterráneos pertenecientes al espacio común europeo, pero caracterizados por un menor desarrollo económico y una mayor desestructuración de su tejido productivo.

El trabajo parte de la hipótesis que el “cáncer” del consumo creciente de suelo ha alcanzado una escala que puede calificarse de planetaria. Y muy especialmente, que ha incorporado a los dos modelos de crecimiento urbano analizados: el Arco Mediterráneo y América Latina. Territorios muy diferenciados entre sí, pero que se caracterizan, hasta cierto punto, de rasgos comunes: una localización periférica respecto al “corazón” de los motores del mundo desarrollado: los Estados Unidos de América (en adelante USA) y la Unión Europea (en adelante, UE). Los primeros resultados para estas periferias del euro y del dólar que son España y México sugieren que el sprawl ya no es algo exclusivo de los ricos. Tanto el arco europeo mediterráneo (con Italia, España y Portugal como mejores exponentes), como América Latina (con México, Chile, Colombia o Brasil) están experimentando fuertes convulsiones en los modelos de urbanización heredados históricamente, abriéndose paso, de forma progresiva, aún con todas las singularidades de esos tipos tan dispares de territorios, el modelo de urbanización depredadora de suelo que caracteriza los fenómenos de sprawl.

2. Los orígenes del sprawl

Las formas dispersas de urbanización tienen su origen en las mejoras de los sistemas de transporte urbano surgidas a lo largo del siglo XIX. La aparición de los ferrocarriles metropolitanos fue, especialmente, un elemento fundamental que permitió la progresiva separación de las actividades residenciales y de trabajo, originando los incipientes procesos de suburbanización que tuvieron lugar durante el último tercio del siglo antepasado. Tal es el caso de Londres, en la figura 3, que muestra el desparramamiento de la ciudad entre 1860 y 1929.

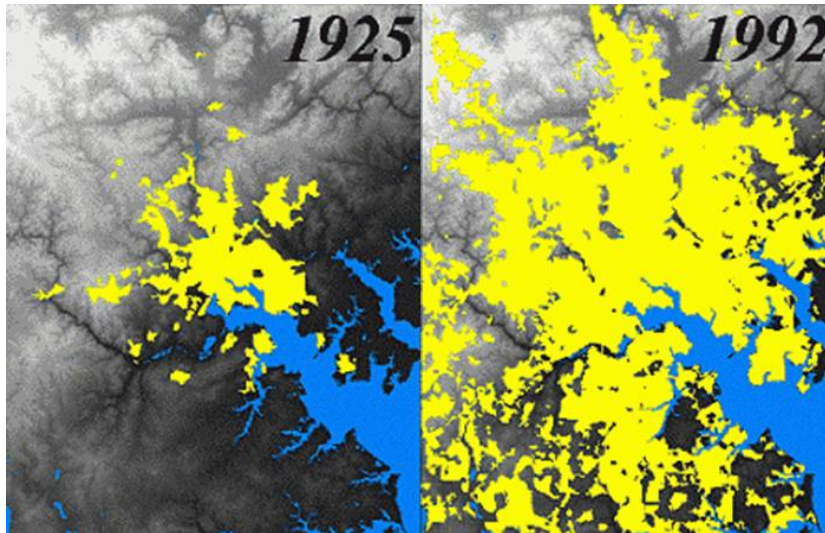
Figura 3. Londres (1860-1929)



Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, y como es suficientemente conocido, la generalización del coche como instrumento de comunicación en las primeras décadas del siglo XX, consolidó la tendencia a la dispersión de la población, generando nuevas formas de desarrollo suburbano, así como la construcción del ideal de “una casa, un coche”, que pronto se extendió desde los USA al mundo entero. Baltimore, como lo muestra la figura 4, es claro ejemplo del este modelo de desarrollo suburbano, y del alto consumo de suelo.

Figura 4: Baltimore (1925-1992)



Fuente: Science NASA.

Según Dematteis (1998), el desarrollo urbano resultante del tránsito del XIX al XX condujo, en el mundo occidental, a la coexistencia de dos modelos típicos de expansión:

- En el mediterráneo tradicional, la ciudad física hasta el final del siglo XIX no se dilataba más allá de las viejas murallas, viniendo a colonizarse el espacio rural inmediato, a partir de la industrialización, en periferias compactas de elevada densidad.
- En el anglosajón, en cambio, la urbe se dilataba junto con la cívitas; el paisaje urbano fue sustituyendo al rural precedente, recreando en su interior algunos de los elementos de éste, apareciendo la ciudad jardín como uno de los paradigmas de los desarrollos urbanos de finales del XIX y principios del XX.

Por tanto, el sprawl, la dispersión de la urbanización, era, hasta hace relativamente poco tiempo, una forma de crecimiento urbano limitado a ese mundo anglosajón. Y es sin duda en ese entorno económico y cultural donde el sprawl ha tenido un primer y mayor impacto.

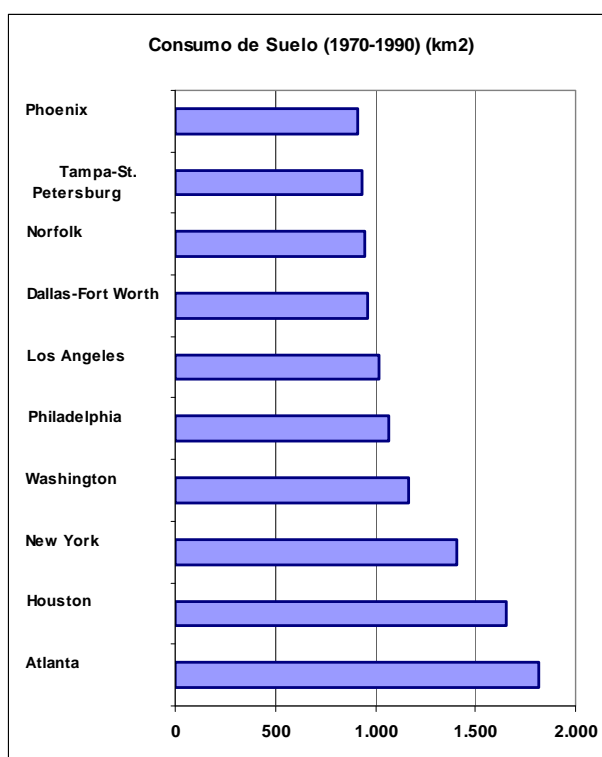
Sin embargo, a partir de los años 70 del siglo XX, se produjo un evidente cambio de paradigma en los procesos de desarrollo urbano. La crisis (a escala planetaria) de la llamada economía “fordista”, basada en el predominio del sector secundario y la concentración de la producción industrial, a un sistema económico caracterizado por la supremacía de los servicios y la progresiva disgregación de los procesos de producción fabril, ha generado nuevos “patterns” de urbanización caracterizados no sólo por la dispersión de las actividades residenciales, sino también por la progresiva periféricación y suburbanización de la actividad económica y del empleo.

El modelo territorial ha sufrido una evolución importante durante las últimas décadas, transformándose de un modelo urbano continuo y de densidades medias y altas, a modelos de ciudad difusas y dispersas, motivados por los procesos de innovación tecnológica, la separación de funciones y la búsqueda de la proximidad con la naturaleza (Tsai, 2005). Esta

redefinición del modelo territorial se ha basado en las nuevas redes de infraestructura de comunicación y ha dado como resultado una forma de ciudad expansionista, insostenible, consumidora y depredadora de territorio. Especialmente en USA, ejemplo paradigmático del consumo masivo de suelo (Fulton et al, 2001).

En USA, y si nos referimos a las áreas metropolitanas estadísticas (en adelante, MSA) de más de un millón de habitantes, se ha pasado de un consumo de suelo de 161 millas cuadradas por 1.000 habitantes en 1950 a 243 en 1970 y 293 en 1990. Ello ha representado un incremento de 384 millas cuadradas por cada nuevos 1.000 habitantes entre 1950 y 1970, cifra que ha pasado a 527 en el periodo 1970-1990. El consumo de suelo se ha acentuado, por tanto, con el postfordismo, llegando a su paroxismo entre 1970 y 1990. La figura 5 muestra las áreas metropolitanas con mayor crecimiento en este último periodo.

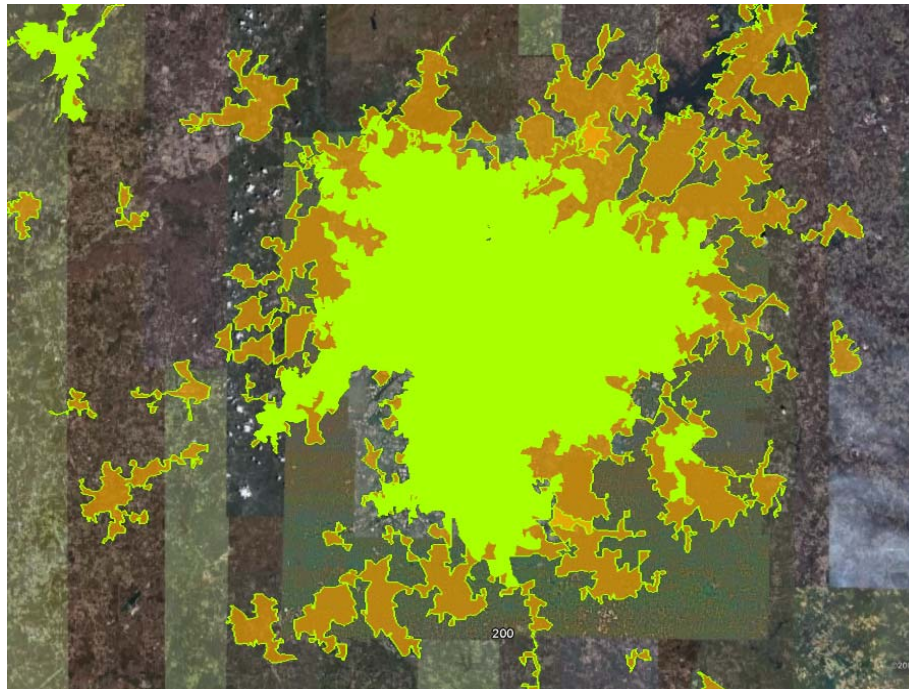
Figura 5. Top ten en el consumo de suelo de las MSA americanas (1970-1990)



Fuente: Census Bureau USA.

Según Fulton et al (2001), entre 1982 y 1997 la suma de suelo urbanizado en USA creció un 47%, frente a tan sólo un 17% la población. De 281 áreas metropolitanas, únicamente un 6% devinieron, en este mismo periodo, más densas, perdiendo densidad el 94%. La figura 6 muestra el record mundial de sprawl, la ciudad de Atlanta (color verde suelo urbanizado en 1990 y en color naranja suelo urbanizado en 2000), con 1.800 km² de nueva urbanización entre 1990 y 2000.

Figura 6. Suelo urbanizado en el Área Metropolitana de Atlanta (1990-2000)



Fuente: Elaboración propia a partir del Census Bureau USA.

Las nuevas urbes del mundo desarrollado, de las que Atlanta es tan sólo el ejemplo más destacado, muestran, por tanto, el desarrollo “infinito” de los espacios urbanizados, la apuesta por el automóvil como casi exclusiva forma de transporte, así como el crecimiento exponencial de los consumos energéticos que el modo de urbanización dispersa comporta. No parece haber duda alguna que la insostenibilidad ambiental es una consecuencia inseparable del modelo de sprawl. Por ello, los organismos e instituciones encargadas de regular los planeamientos territoriales y urbanos tienen la intención de generar alternativas que impliquen retornar al orden de la compactidad sostenible.

El debate sobre los límites del urban sprawl (Couch y Karecha 2006, Salingaros 2007) ha llevado a planteamientos alternativos como la proposición de la ciudad compacta como nuevo paradigma, el “smart growth” o el “new urbanism” en los que el control del proceso indiscriminado de consumo de suelo aparece como uno de los objetivos fundamentales de las nuevas políticas urbanas.

3. La expansión de la dispersión de la urbanización: ¿un fenómeno de escala planetaria?

Cabe preguntarse, sin embargo, si el proceso de urban sprawl se limita fundamentalmente al mundo desarrollado o si, por el contrario, se trata de una tendencia de carácter mundial. Si el fenómeno de la dispersión de la urbanización es algo específico de las sociedades avanzadas, económicamente fuertes, o si es una tendencia de alcance mundial que desborda a los países desarrollados.

El análisis del consumo de suelo según países y niveles de renta parece indicar, a primera vista, que se trata de un fenómeno confinado al primer mundo. La tabla 1 (Demographia, 2007) sugiere una diferenciación acusada de las pautas de consumo de suelo en función del *nivel socio-económico de la población*. Los países con rentas altas y medias per capita tienden a tener niveles de sprawl mucho más acusados que los países de rentas bajas. Así, por ejemplo, y si nos limitamos a las áreas urbanas de más de 500.000 habitantes, la densidad de las ciudades de los USA (1.100 hab./km²), Australia (950 hab./km²), Canadá (1.500 hab./km²) o Europa occidental (3.000 hab./km²), es acusadamente menos elevada a la densidad de las ciudades de Rusia (5.000 hab./km²), el resto del continente americano (6.350 hab./km²), África (8.200 hab./km²), China (6.750 hab./km²), India (15.700 hab./km²) o el resto de Asia (8.050 hab./km²).

Tabla 1. Densidades de población de las áreas urbanas de más de 500.000 habitantes (2007)

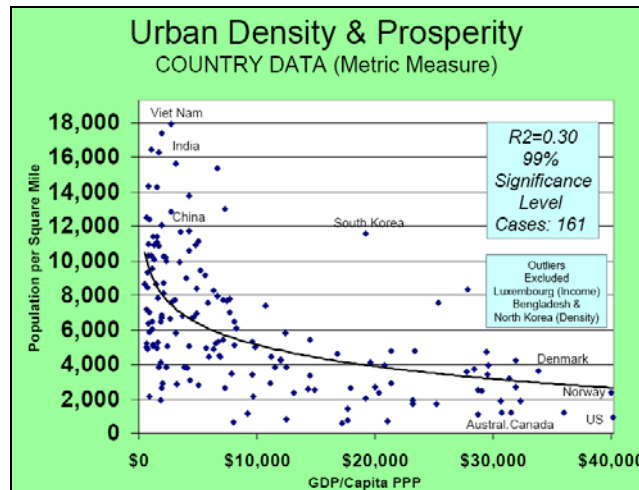
Área	Casos	Población (Millones)	Población por km ²	Densidad comparada con USA
MUNDO DESARROLLADO				
Europa Occidental	61	101,5	3.000	2,75
Europa Occ.: sin Reino Unido	51	82,4	2.750	2,57
Reino Unido	10	19,1	4.100	3,79
Estados Unidos de América	65	142,1	1.100	1,00
Canadá	8	14,0	1.500	1,39
Hemisferio Occ. excepto Canadá y USA	1	2,2	950	0,89
Australia	5	10,4	1.450	1,32
Nueva Zelanda	1	1,1	2.100	1,96
Japón	23	79,1	4.100	3,82
China (Hong Kong y Macao)	1	6,5	29.400	27,21
China: Taiwán	6	14,9	6.900	6,39
Asia: excepto China y Japón	21	53,2	6.650	6,14
Total	192	424,9	3.000	2,79
MUNDO MENOS DESARROLLADO				
Europa excepto Rusia	29	41,6	4.200	3,89
China	100	153,4	6.750	6,21
India	69	134,5	15.700	14,50
Rusia	38	46,6	5.000	4,61
Asia excepto China, India y Rusia	97	191,7	8.050	7,46
África	81	134,3	8.200	7,61
América Central y del Sur	101	195,3	6.350	5,89
Total	515	897,3	8.050	7,46
Total áreas urbanas estudiadas	707	1.322,3	6.700	6,21
POBLACION URBANA MUNDIAL (2002)		2.985,0		
% Áreas urbanas con población superior a 500.000 habitantes.		44,3%		

Fuente: Demographia World Urban Areas (2007).

No cabe duda, por tanto, que el consumo creciente de suelo se concentra de forma acusada en el mundo desarrollado y sus alrededores. El gráfico en la figura 7 permite visualizar como son los

países con elevado nivel de renta, con sólo algunas contadas excepciones⁶, las áreas geográficas caracterizadas por un mayor consumo de suelo.

Figura 7. Densidad y GDP per cápita



Fuente: Demographia World Urban Areas (2007).

Sin embargo, y a pesar de la claridad y contundencia de los datos anteriores, parece asimismo claro que el consumo creciente de suelo no es un fenómeno confinado al 1er. Mundo. Probablemente, la mayor novedad producida desde los años 70 del siglo pasado ha sido la expansión del fenómeno del *sprawl* más allá de USA y el corazón de Europa. En las últimas décadas del siglo pasado los procesos de *sprawl* han tendido a propagarse a territorios cada vez más extensos.

Hoy es un hecho comprobado que la “contraurbanización”, denunciada por Berry (1976) en la década de los 70 para los USA, ha hecho acto de presencia no sólo en los países con una mayor tradición de desarrollo suburbano, sino también en las ciudades caracterizadas por una forma de crecimiento compacta, como las latino mediterráneas (Dematteis 1997, Monclús 1998).

La periferia occidental de la UE ha visto crecer de forma incontrolada la dispersión de la urbanización, “acortando” distancias respecto a sus vecinos del Norte en cuanto a consumo de suelo.

A partir de los datos suministrados por el proyecto CORINE Land Cover (en adelante, CLC), ver la siguiente tabla 2, puede afirmarse que el suelo altamente artificializado se ha incrementado entre 1990 y 2000 en el conjunto de países periféricos de la Europa de Maastrich (España, Portugal, Grecia e Irlanda) un 25,2%, frente a sólo un 5,4% del conjunto de la UE. Muy por delante de la Europa de los 9 (Francia, Alemania, Bélgica, Holanda, Luxemburgo, Dinamarca, Italia, Austria y Reino Unido), que creció un 5,2%, así como de la periferia oriental (Bulgaria, República Checa, Estonia, Croacia, Hungría, Lituania, Latvia, Polonia, Rumania, Eslovenia y Eslovaquia) con un insignificante 0,9%.

⁶ Entre esas excepciones cabe citar alguna de las áreas urbanas asiáticas (Hong Kong, Singapur, ...), las cuales, dada la escasez estructural de suelo, obtienen densidades muy elevadas.

Tabla 2. Proceso de artificialización de suelo en Europa (1991-2000)

	Suelo Urbanizado 1990	Suelo Urbanizado 2.000	Variación 1990-2000	Incremento Suelo Urbanizado	Dens. Pobl. 1990	Dens. Pobl. 2000	Variación Densidad 90-00	Inc. Pob. / Inc SU
AUSTRIA	340.169	350.581	10.412	3,06%	22,90	23,21	0,31	33,39
BELGIUM	607.568	624.433	16.865	2,78%	16,40	16,38	-0,02	15,73
BULGARIA	542.247	545.315	3.068	0,57%	16,12	14,57	-1,55	-259,85
CZECH REPUBLIC	475.904	480.882	4.978	1,05%	21,66	21,23	-0,43	-19,46
GERMANY	2.738.368	2.897.211	158.843	5,80%	29,18	28,44	-0,74	15,63
DENMARK	298.682	311.548	12.866	4,31%	17,25	17,19	-0,07	15,64
ESTONIA	89.562	91.537	1.975	2,21%	17,32	14,88	-2,43	-95,37
SPAIN	669.993	838.453	168.460	25,14%	58,13	48,59	-9,53	10,67
FRANCE	2.538.988	2.661.868	122.880	4,84%	22,47	22,35	-0,12	19,93
GIBRALTAR	294	313	19	6,46%	91,63	88,33	-3,30	37,32
GREECE	254.733	289.934	35.201	13,82%	40,22	37,98	-2,24	21,78
CROATIA	162.433	166.841	4.408	2,71%	28,00	26,96	-1,04	-11,38
HUNGARY	521.543	529.419	7.876	1,51%	19,84	19,25	-0,59	-19,96
IRELAND	104.435	136.468	32.033	30,67%	33,72	28,30	-5,42	10,62
ITALY	1.348.146	1.430.779	82.633	6,13%	42,14	40,44	-1,70	12,65
LITHUANIA	213.320	213.978	658	0,31%	17,35	16,28	-1,07	-331,38
LUXEMBOURG	20.840	22.610	1.770	8,49%	18,54	19,51	0,97	30,94
LATVIA	85.208	85.325	117	0,14%	31,04	27,68	-3,36	-2422,93
NETHERLANDS	370.704	453.827	83.123	22,42%	40,60	35,29	-5,32	11,57
POLAND	1.026.665	1.041.477	14.812	1,44%	37,25	36,86	-0,40	9,42
PORTUGAL	172.916	239.739	66.823	38,64%	57,72	42,90	-14,82	4,55
ROMANIA	1.488.613	1.495.941	7.328	0,49%	15,57	14,73	-0,84	-155,40
SLOVENIA	54.184	54.446	262	0,48%	35,71	36,50	0,79	199,75
SLOVAKIA	276.169	276.522	353	0,13%	19,12	19,48	0,37	306,21
SAN MARINO	625	698	73	11,68%	39,14	39,41	0,27	41,73
UNITED KINGDOM	1.783.646	1.817.051	33.405	1,87%	32,17	32,53	0,36	51,92

Fuente: CORINE Land Cover.

Los países que han experimentado un mayor consumo de suelo no han sido los de rentas altas sino los de rentas medias, incorporados a la unión económica principalmente en los años 80. Portugal (con un crecimiento de suelo artificializado del 38,6%), Irlanda (con un 30,7%), España (con un 25,1%) y Grecia (con un 13,8%) han sido los auténticos líderes del sprawl entre 1990 y 2000. Muy por encima de los incrementos de países “maduros”⁷ como el Reino Unido (1,9%), Francia (4,8%) o Alemania (5,8%). Y a una distancia sideral de los “recién llegados”, Polonia (1,4%), República Checa (1,1%) Lituania (0,3%) o Bulgaria (0,6%).

Lo anterior viene ratificado si se atiende a la variación de densidad en la última década, indicador más fiable del sprawl que el simple consumo de suelo. Cabe afirmar que en Europa el

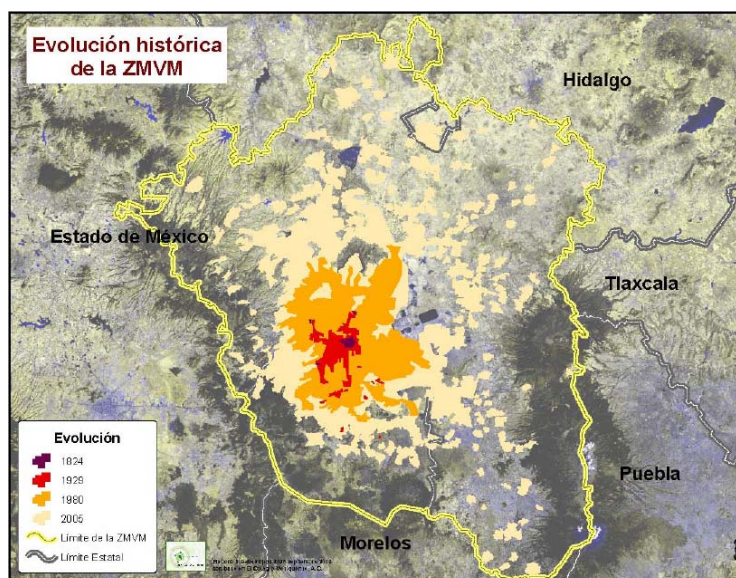
⁷ Entre dichos países “maduros”, auténtico corazón de la construcción de Europa, tan sólo ha existido una excepción por lo que hace a crecimientos contenidos en el consumo de suelo entre 1990 y 2000: Holanda. Los Países Bajos han experimentado un incremento de suelo artificializado del 22,4%, lo que ha conducido a una reducción de la densidad comparable a la experimentada por la periferia suroccidental europea.

sprawl demográfico, otras consideraciones aparte⁸, ha crecido entre 1990 y 2000. La densidad de población varió de 28,59 habitantes/km² en 1990 a 27,72 en 2000⁹. Sprawl especialmente significativo en los países de la periferia mediterráneo-occidental antes citados que vio variar la densidad en 8,35 habitantes por km² entre 1990 y 2000, frente a la caída de 0,73 hab/km² de la periferia oriental, y la casi despreciable disminución de 0,52 hab/km² del “corazón” europeo¹⁰.

No cabe duda, por tanto, que es en la periferia occidental europea donde se han producido los mayores procesos de dispersión de la urbanización en la última década.

Ese es también, aunque de forma más matizada, el caso de Latinoamérica. A pesar de disponer de un nivel de renta claramente menor al de los países desarrollados, los países latinoamericanos también se han visto afectados por el modelo de vida americano, caracterizado por la baja densidad y el consumo creciente de suelo. En América Latina (Borsdord 2003, Janoschka 2002) cabe distinguir los procesos de crecimiento experimentados hasta bien entrados los años 70 (caracterizados por las altas densidades, la polarización social, las migraciones internas y la proliferación de barrios marginales) de las nuevas formas de urbanización, privatizadas, fragmentadas y dispersas que han caracterizado las últimas décadas. En este sentido el modelo de sprawl parece haber hecho también irrupción en Latinoamérica, reproduciéndose de forma más o menos generalizada el “sueño americano” de la vivienda unifamiliar y la movilidad en transporte privado.

Figura 8. Desparramamiento urbano de la Ciudad de México



Fuente: SIG, Metrópoli 2025.

Fuente: SIG, Metrópoli 2025

⁸ Cabe recordar de nuevo que el sprawl no puede ser medido tan sólo en términos de densidad demográfica (Marmolejo & Stallbohm, 2008). La densidad de lugares de trabajo ocupa, también, un lugar relevante.

⁹ Entre los países que han experimentado una mayor dispersión de la urbanización destacan Portugal (-14,8), España (-9,5), Irlanda (-5,4) y Holanda (-5,3).

¹⁰ Algunos países de ese “corazón” han experimentado, incluso, incrementos de densidad, como por ejemplo el Reino Unido, Austria o Luxemburgo.

Volviendo a las áreas urbanas de más de 500.000 habitantes estudiadas por *Demographia* (tabla 1 anterior), se observa que en México el consumo de suelo alcanza 169 m² por habitante, cifra que aunque muy distante de sus vecinos del norte, USA y Canadá (800 m²/hab.), es superior a la media mundial si se excluyen las áreas más desarrolladas (161 m²/hab.). México, como Brasil (199 m²/hab.) o Argentina (216 m²/hab.), manifiestan niveles de consumo de suelo per cápita abiertamente más acusados que el resto de países Latinoamericanos (158 m²/hab.).

Pero, más allá de la densidad o del consumo de suelo, es evidente que en la periferia de influencia de los USA y, muy especialmente en México, la generalización entre las clases medias y altas del modelo de vida “americano” es un hecho. Los “clusters” cerrados, como los que aparecen en la Figura 9, caracterizan los nuevos tipos de desarrollo urbano. “Cotos” en los que la dispersión de la edificación, la fragmentación del territorio, la privatización del espacio público e, incluso, de los servicios básicos (seguridad, recogida de residuos, suministro de energía, etc.), y la dependencia casi absoluta del automóvil, configuran un modelo de ciudad alejada de los paradigmas de la sostenibilidad ambiental.

En la periferia latinoamericana de los USA, el sprawl no se caracteriza tanto por las bajas densidades dada la estructura existente de los núcleos familiares¹¹, el tipo de fraccionamientos (caracterizado por la existencia de parcelas de pequeña dimensión) y el relativo déficit de espacios e infraestructuras públicas; sino en la forma dispersa y fragmentada de la urbanización. En definitiva, un modelo de desarrollo urbano alumbrado en el espejismo de la forma de vida del vecino del Norte y al que se tiende de forma incontrolada en la mayor parte de las urbes latinoamericanas.

Figura 9. Fraccionamiento en Baja California (México)



Fuente: Urban Freak: The Urbanism Discussion Community.

¹¹ Cabe considerar, en este sentido, el tamaño considerable de los núcleos familiares en América Latina, factor que oscurece la interpretación del sprawl medida en términos de consumo de suelo per cápita. En este sentido, siguiendo a Marmolejo & Stallbohm (2008), una medida más sólida de sprawl debería considerar el consumo de suelo *por hogar*, antes que por persona.

4. El sprawl en España

Ejemplo paradigmático de la extensión del proceso de sprawl en Europa es el caso de España. España, junto a Portugal e Irlanda, ha sido, como hemos visto, el país europeo con un mayor incremento en el consumo de suelo entre 1990 y 2000. Las 168.460 Ha artificializadas en este periodo constituyen el record absoluto de urbanización de la UE, por encima incluso de Alemania y Francia. Ello representa un 25,14% del suelo artificializado a principios de dicha década, mucho más que la media europea, que ha aumentado la urbanización de suelo en un 5,4%

Por Comunidades Autónomas (en adelante, CC.AA.), y siguiendo los datos de CLC, el consumo de suelo urbanizado ha sido muy dispar. Destacan en crecimientos absolutos la Comunidad de Madrid (29.789 Ha) y la Comunidad Valenciana (29.308 Ha), muy por delante de Andalucía (19.652 Ha), Castilla-León (16.635 Ha), Cataluña (13.250 Ha), Castilla-La Mancha (12.834 Ha), Murcia (10.143 Ha) y el resto de CCAA. Mientras que por provincias destacan, además de Madrid, Alicante (15.697 Ha), Murcia, Valencia (9.699 Ha) y las Islas Baleares (8.140 Ha).

Si se compara el suelo artificializado de 2000 en relación al existente en 1990, la geografía del desarrollo urbano ha afectado, principalmente, la Región de Murcia, con un incremento del 52,63% del suelo artificializado, Navarra (50,96%), la Comunidad de Madrid (49,09%), la Comunidad Valenciana (47,65%) y Baleares (42,75%), frente a Canarias (8,43), Cataluña (10,84%) o Galicia (12,66%), que han experimentado los crecimientos más contenidos.

El desarrollo de la urbanización se ha producido, si dejamos al lado las excepciones de Navarra y Madrid, en el litoral mediterráneo (con la excepción de Cataluña y Andalucía). Así destacan, como las provincias con mayor crecimiento relativo, Alicante (59,90%) y Castellón (59,83%), las dos demarcaciones junto a Murcia que han experimentado un crecimiento más elevado. En el resto de España, junto a los casos de Navarra y Madrid ya citados, son de destacar los crecimientos relativos de algunas provincias de las dos Castillas, como Soria (60,17%), León (44,56%), Salamanca (42,22%), Guadalajara (41,60%) o Valladolid (40,68%). Es de destacar, asimismo, el caso de Ourense, con un crecimiento relativo del 42,51%, muy por encima del resto de provincias de Galicia. Por su parte, las provincias con menor dinámica urbanizadora en el periodo 1990-2000 han sido Teruel (5,35%), Las Palmas (6,29%), Girona (6,84%), Almería (7,41%), Pontevedra (7,90%), A Coruña (8,88%), Guipúzcoa (9,71%) y Barcelona (10,38%).

Si consideramos la variación del consumo de suelo por habitante (indicador que nos da una imagen más precisa del sprawl), cabe destacar que en el año 2000 las CC.AA. líderes en sprawl son: Baleares (383 m² de suelo por habitante), Castilla La Mancha (341 m²/hab.), Murcia (281 m²/hab.), Aragón (252 m²/hab.), Cantabria (250 m²/hab.), Castilla León (246 m²/hab.) y la Comunidad Valenciana (235 m²/hab.). Denotando un consumo menos intenso de suelo el País Vasco (109 m² de suelo por habitante), Asturias (171 m²/hab.), Galicia (178 m²/hab.), La Rioja (182 m²/hab.) y Madrid (183 m²/hab.).

Tabla 3: Proceso de artificialización de suelo en España (1990-2000)

	Suelo Urb. 1990	Suelo Urb. 2.000	Variación 1990-2000	Increment. % Suelo Urb.	Consumo Suelo/pC 1990	Consumo Suelo/pC 2000	Variación Consumo 90-00	Inc. SU. / Inc Pob
ES SPAIN	669.993	838.453	168.460	25,14%	172,04	215,29	43,26	885,29
ES11 Galicia	43.191	48.658	5.467	12,66%	158,11	178,13	20,01	-1527,56
ES12 Asturias	15.407	18.684	3.277	21,27%	140,84	170,80	29,96	-1059,18
ES13 Cantabria	11.804	13.216	1.412	11,96%	223,85	250,62	26,78	1809,10
ES21 País Vasco	20.291	22.937	2.646	13,04%	96,44	109,01	12,58	-1233,34
ES22 Navarra	6.562	9.906	3.344	50,96%	126,37	190,77	64,40	914,86
ES23 La Rioja	4.068	4.805	737	18,12%	154,42	182,40	27,98	555,47
ES24 Aragón	25.223	29.960	4.737	18,78%	212,17	252,02	39,85	3076,37
ES30 Madrid	60.677	90.466	29.789	49,09%	122,64	182,85	60,21	626,04
ES41 Castilla y León	45.981	62.616	16.635	36,18%	180,61	245,95	65,34	-1859,66
ES42 Castilla-La Mancha	43.739	56.573	12.834	29,34%	263,73	341,12	77,39	1257,37
ES43 Extremadura	18.847	23.241	4.394	23,31%	177,49	218,87	41,38	- 13120,3 3
ES51 Cataluña	122.238	135.488	13.250	10,84%	201,73	223,60	21,87	467,18
ES52 C. Valenciana	61.512	90.820	29.308	47,65%	159,47	235,45	75,98	959,21
ES53 Illes Balears	19.039	27.179	8.140	42,75%	268,48	383,27	114,79	614,20
ES61 Andalucía	119.573	139.225	19.652	16,44%	172,28	200,60	28,31	471,23
ES62 Murcia	19.273	29.416	10.143	52,63%	184,32	281,33	97,01	667,11
ES70 Canarias	31.306	33.945	2.639	8,43%	209,58	227,24	17,67	131,49

Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, los datos de la Tabla 3 no muestran las auténticas tendencias de la evolución de la urbanización, al partir de situaciones de origen (en 1990) muy diferenciadas. En este sentido, y sin ninguna duda, es la variación del consumo de suelo per cápita el indicador más preciso de sprawl. La CC.AA. de las Islas Baleares ha sido, en este sentido, y a pesar del gran incremento demográfico experimentado, la autonomía líder en consumo de suelo: entre 1990 y 2000 aumentó en 115 m² por habitante, un 165% más que la media española (43 m² por habitante). Siguiendo como CC.AA. líderes en sprawl se encuentran: Murcia (97 m²/hab.), Castilla la Mancha (77 m²/hab.), Comunidad Valenciana (76 m²/hab.), Castilla León (65 m²/hab.), Navarra (64 m²/hab.) y Madrid (60 m²/hab.).

El análisis de los datos obtenidos por CLC ratifican que el litoral mediterráneo (Baleares – Región de Murcia – Comunidad Valenciana), como lo vemos en la figura 10, unido a los territorios donde la liberalización del mercado de suelo ha sido política dominante (Comunidad de Madrid y sus aledaños, Castilla La Mancha y Castilla León junto a Navarra), han sido los territorios donde se ha producido una mayor dispersión de la urbanización, así como un desarrollo urbano menos sostenible. Un modelo de crecimiento abiertamente opuesto al experimentado por otras regiones españolas, como el País Vasco, Canarias, Galicia o Cataluña, donde el sprawl ha sido mucho más contenido.

Figura 10. Urbanización en la Costa Mediterránea



Fuente: Marina d'Or, Ciudad de Vacaciones.

La utilización de las modernas tecnologías de *remote sensing*, permiten un diagnóstico más detallado de los procesos de urbanización y consumo de suelo. El Centro de Política de Suelo y Valoraciones (en adelante, CPSV) de la Universidad Politécnica de Cataluña (en adelante, UPC), ha estudiado el desarrollo urbano producido por un conjunto de áreas urbanas españolas entre 1956 y 2006¹². Concretamente las áreas de Barcelona, Madrid, las costas alicantina y murciana, así como la ciudad de Córdoba. En esas cinco áreas se ha duplicado la población en el periodo analizado, pero lo más relevante es que el suelo consumido por la urbanización ha tenido un crecimiento mucho más acusado: un 258%. En total se han urbanizado 673 km², de los que 320 km² han correspondido al área de Madrid, 126 km² a la Costa Alicantina, 98 km² a la Costa Murciana, 72 km² al ámbito conurbado de Barcelona y 57 km² al municipio de Córdoba.

Por otro lado, el consumo de suelo por cada 1.000 habitantes ha pasado en esos cinco "paisajes" urbanos de 6,31 Ha en 1956 a 9,19 Ha en 1990 y a 11,04 Ha en 2006. Ello ha representado, si se considera tan sólo los incrementos del uso del suelo en relación a los saldos de población, que entre 1956 y 1990 por cada 1.000 nuevos habitantes se produjo un consumo de suelo de 12,48 Ha (frente a las 6,31 Ha de partida), ratio de consumo de suelo que creció entre 1990 y 2006 hasta situarse en 35,37 Ha por cada 1.000 habitantes adicionales.

Es decir, en los últimos 15 años se ha producido un incremento relativo de consumo del suelo (por persona y año) tres veces más acusado que lo acaecido en los primeros 35 años analizados. El *sprawl*, por tanto, es una patología de la España contemporánea.

Por áreas urbanas destaca, como exponente máximo del modelo que podríamos denominar de *ciudad compacta*, la *aglomeración de Barcelona*, cuyo consumo de suelo por habitante se ha mantenido en el conjunto de los últimos 50 años en un nivel de acusada moderación¹³. Así, se

¹² Se trata de un trabajo, realizado para el Ministerio de Vivienda del Gobierno de España, que aborda el análisis del proceso de urbanización en el período comprendido entre 1956 y 2006 de veinte "paisajes" urbanos representativos de la geografía urbana de todo el país, y de los que cinco de ellos se presentaron ante la opinión pública española en el Exposición 5 x 50, que tuvo lugar en abril de 2007 en Madrid (Aguado, Roca & Leal, 2008). Junto a los datos disponibles de CORINE (1990 y 2000) se agregó la información obtenida de georeferenciar las fotografías del vuelo americano de 1956, así como el análisis de las imágenes de SPOT V relativas a 2006, obteniéndose de este modo una radiografía precisa del proceso de urbanización de los espacios urbanos analizados a lo largo de los últimos 50 años.

¹³ Diagnóstico aparte merece el resto del área metropolitana. Entre 1975 y 1992 se habrían urbanizado del orden de 25.000 Ha en dicho ámbito, duplicándose el suelo artificializado. "Centro" y "Periferia" metropolitana no se comportaron de forma análoga en lo que corresponde a los procesos de urbanización. Dicho proceso de *sprawl*, no obstante, se habría reducido de forma significativa a partir de esa fecha, extendiéndose de este modo el crecimiento compacto a coronas cada vez más periféricas.

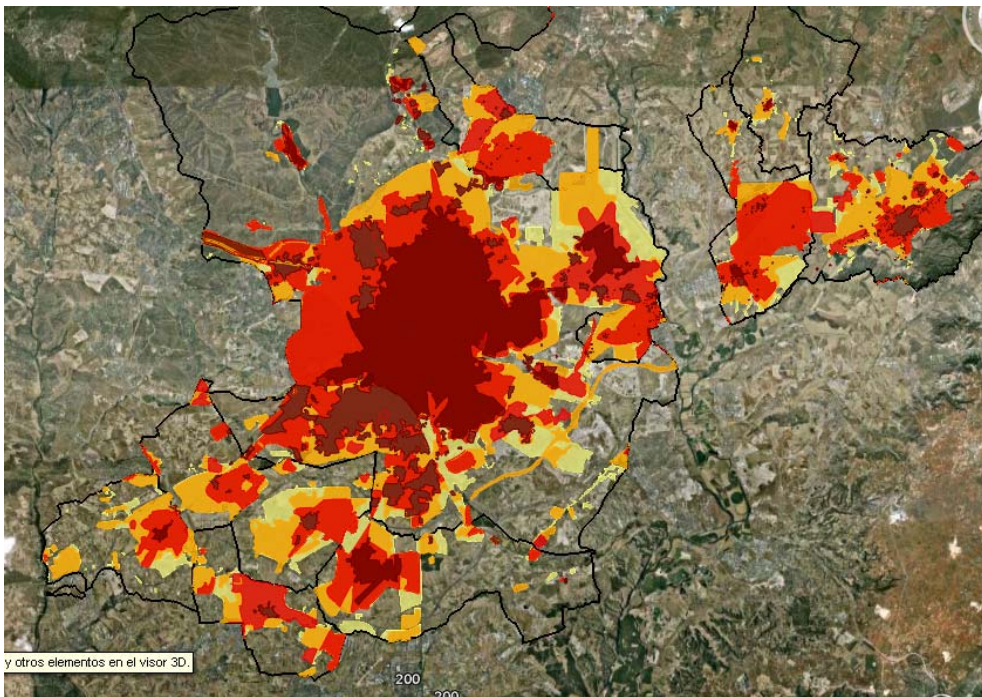
ha pasado de un consumo de 4,84 Ha por 1.000 habitantes a 6,11 Ha en 2006 y cuya ocupación de suelo puede verse en la figura 11. Incremento más moderado que el experimentado por la aglomeración madrileña, como lo muestra la figura 12, incremento a 10,15 Ha en 2006 frente 7,27 Ha en 1956.

Figura 11. Evolución de la urbanización en Barcelona (1956-2006)



Fuente: CPSV.

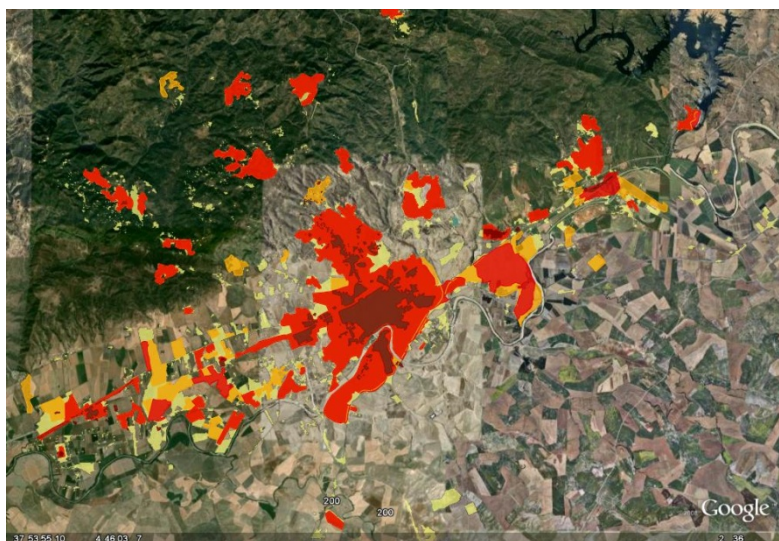
Figura 12. Evolución de la urbanización en Madrid (1956-1990-2000-2006)



Fuente: CPSV.

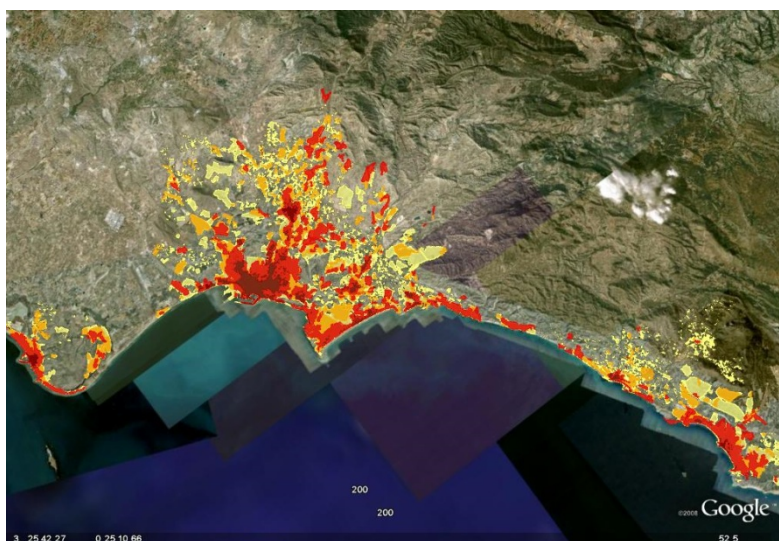
De forma opuesta a Barcelona destaca, en la figura 13, el elevado sprawl de Córdoba (20,31 Ha frente a 4,92 Ha), la Costa de Alicante, en la figura 14, (21,61 Ha frente a 9,30 Ha) y, sobre todo, Murcia (34,16 Ha frente a 9,16 Ha) evolución que apreciamos en la figura 14. La dispersión urbana se extiende ante todo por el litoral mediterráneo, pero no es monopolio exclusivo del mismo como demuestra el elevado grado de sprawl de una ciudad intermedia como Córdoba.

Figura 13. Evolución de la urbanización en Córdoba (1956-1990-2000-2006)



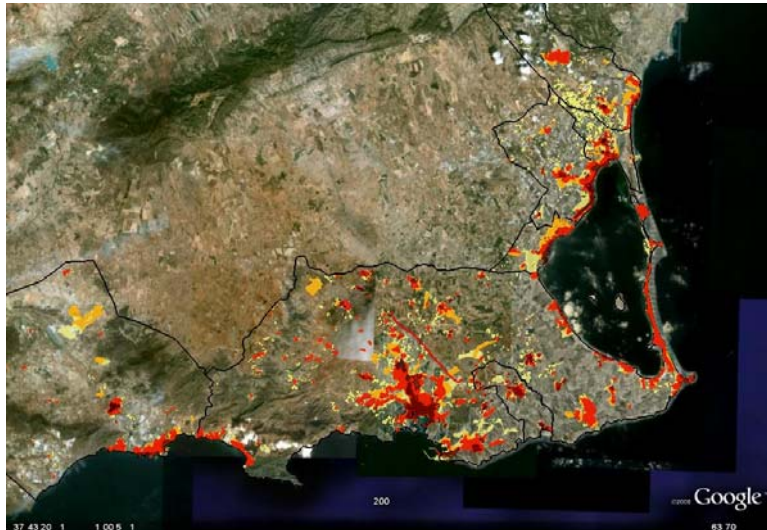
Fuente: CPSV.

Figura 14. Evolución de la urbanización en la Costa Alicantina



Fuente: CPSV.

Figura 15. Evolución de la urbanización en la Costa Murciana (1956-1990-2000-2006)



Fuente: CPSV.

El análisis del proceso de urbanización en España producido entre 1956 y 2006 sugiere, por tanto, la coexistencia de *dos modelos de urbanización* contrapuestos.

El *mantenimiento de la ciudad compacta*, como nos muestra el ejemplo de Barcelona, donde se pone el acento en la revitalización del espacio edificado, antes que en el consumo masivo de nuevo suelo objeto de urbanización, tal es el caso, entre otros, del reciclaje de suelo que se hizo en la zona de la villa olímpica (figura 16). Y el modelo de la *ciudad dispersa*, con los ejemplos paradigmáticos de la costa mediterránea, en el que las bajas densidades y la utilización extensiva del suelo aparecen vinculadas a un desarrollo inmobiliario de corte especulativo.

Se procede a analizar ambos modelos de forma más concreta:

- En la Región Metropolitana de Barcelona (en adelante, RMB), el suelo urbanizado creció entre 1990 y 2000 5.875 Ha, un 9,9%. Dado que la población aumentó tan sólo un 2,9%, una primera aproximación sugeriría que el sprawl también ha contaminado las áreas más compactas en esa década. Sin embargo, si se observa el crecimiento de los hogares (Marmolejo & Stallbomh, 2008), que son los auténticamente demandantes de suelo urbanizado, la conclusión anterior no es tan evidente: las viviendas principales¹⁴ aumentaron en 246.847 unidades entre 1990 y 2000, un 18,1%, más que el incremento de suelo urbanizado. A su vez, los lugares de trabajo, también demandantes de espacio urbano, crecieron un 16,8%, también más que el suelo artificializado. Por tanto, en el periodo 1990-2000, el suelo por hogar-empleo descendió de 201,5 m² a 188,6 m². ¡El sprawl se vio frenado en Barcelona en la década estudiada!

¹⁴ La vivienda principal es aquella ocupada por un hogar de forma permanente, a diferencia de las viviendas secundarias, que tan sólo tienen una ocupación estacional, o las vacías, que constituyen el parque de vacantes.

- Escogiendo la provincia de Castellón¹⁵ como ejemplo de ciudad dispersa, el suelo urbanizado creció esa década en 4.976,12 Ha, un 61,80% del existente en 1990. Por su parte, la población se incrementó un 8,60%, los hogares un 23,52% y los empleos un 35,58%. Y el consumo de suelo por unidad demandante de espacio hogar-empleo pasó de 267,58 m² en 1990 a 333,47 m² en 2000. Como puede observarse, el crecimiento de empleos y hogares no compensó el incremento de suelo urbanizado, pudiendo afirmar que se produjo un proceso real de sprawl en la década estudiada. ¡Castellón consume más del doble de suelo por hogar-empleo que Barcelona!

Figura 16. **Barcelona (1956-2006). Reciclaje de suelo**



Fuente: CPSV.

¹⁵ Castellón provincia agrupa 135 municipios, con una superficie de 6.616 km² y una población de 594.915 habitantes (2008), frente a los 164 municipios, con una superficie administrativa de unos 3.000 km² y una población de 4,5 millones de habitantes en la actualidad, que reúne la Región Metropolitana de Barcelona.

Ambos modelos, por tanto, presentan comportamientos claramente diferenciados. Mientras en el primero se están produciendo procesos dirigidos a la permanencia de la compacidad como uno de los elementos rectores de la política urbana, en el segundo el objetivo declarado de máximo desarrollo condiciona una forma de urbanización progresivamente insostenible, en la que los consumos materiales y energéticos unidos al despilfarro del activo suelo, aparecen como rasgos más distintivos. Esta dualidad de tendencias, hacia el mantenimiento de la compacidad y hacia la progresiva dispersión de la urbanización, caracteriza el proceso de urbanización en la España contemporánea.

5. El sprawl en México

En el caso de México, al igual que en España, es en la segunda mitad del siglo pasado que las ciudades han experimentado un proceso acelerado de crecimiento, pasando de 12 zonas metropolitanas en 1960 a un total de 56 zonas metropolitanas en el 2005, como lo vemos en la tabla 4. Zonas que concentran el 56% de la población nacional, el 78,6% de la población urbana nacional y el 75% del producto interno bruto (SEDESOL, CONAPO e INEGI, 2008).

Tabla 4. Indicadores de Metropolización 1960-2005

Indicador	1960	1980	1990	2000	2005
Zonas Metropolitanas	12	26	37	55	56
Delegaciones y municipios metropolitanos	64	131	155	309	345
Entidades federativas	14	20	26	29	29
Población total (millones)	9,0	26,1	31,5	51,5	57,9
Porcentaje de la población nacional	25,6	39,1	38,8	52,8	56,0
Porcentaje de la población urbana	66,3	71,1	67,5	77,3	78,6

Fuente: Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2005; SEDESOL, CONAPO e INEGI, 2008.

Centrando nuestro análisis de sprawl en las Zonas Metropolitanas (en adelante, ZM) con más de un millón de habitantes en el 2000, tenemos nueve zonas: Valle de México, Guadalajara, Monterrey, Puebla-Tlaxcala, Toluca, Tijuana, León, Juárez y La Laguna. Estas nueve zonas concentran el 35,4% de la población total nacional y las tasas de crecimiento en los distintos periodos han estado por encima de la media nacional, como lo vemos en la tabla 5.

Tabla 5. Indicadores de las Zonas Metropolitanas de México (1990-2005)

Rango	Zonas metropolitanas	Población				Tasa de crecimiento medio anual (%)		
		1990	1995	2000	2005	1990-1995	1995-2000	2000-2005
Total Nacional		81.249.645	91.158.290	97.483.412	103.263.388	2,1	1,6	1
Total zonas metropolitanas	56	42.554.959	49.119.422	53.293.293	57.878.905	2,6	1,9	1,5
1.000.000 o más hab.	9	27.489.970	31.414.813	34.009.175	36.601.562	2,4	1,9	1,3
500.000 a 999.999 hab.	18	9.110.635	10.888.247	12.022.172	13.456.460	3,2	2,3	2
Menos de 500.000 hab.	29	5.954.354	6.816.362	7.261.946	7.820.883	2,4	1,5	1,3
Resto del país		38.694.686	42.038.868	44.190.119	45.384.483	1,5	1,2	0,5

Fuente: SEDESOL, CONAPO e INEGI con base en los Censos Generales de Población y Vivienda de 1990 y 2000, y los Conteos de Población y Vivienda de 1995 y 2005.

En crecimiento absoluto, en el período 2000-2005, en la tabla 6 podemos observar que la zona de mayor desarrollo urbano ha sido Puebla-Tlaxcala (17.448,61 Ha), seguida de la ZM del Valle de México (10.997 Ha).

Es relevante destacar, sin embargo, que tanto en el caso de la Zona de Puebla-Tlaxcala, como en la ZM del Valle de México, además del proceso de sprawl se ha producido una acusada "metropolitanización". En el caso de Puebla-Tlaxcala, en el periodo de estudio, se han sumado 15 municipios ya existentes a la ZM. Por su parte, la ZM del Valle de México, ha sumado a su superficie 24 municipios del Estado de México.

Monterrey ha presentado un desarrollo de su mancha urbana de 7.611,62 Ha en este mismo periodo y Guadalajara de 4.830,89 Ha. Es de resaltar también el crecimiento de la ZM de Tijuana (3.887,66 Ha). De las nueve metrópolis, las que han consumido menos suelo son Toluca (2.633,25 Ha), La Laguna (2.988,37 Ha), León (3.075,78 Ha) y Juárez (3.134,55 Ha).

Tabla 6: Población y consumo de suelo en las ZM (2000-2005)

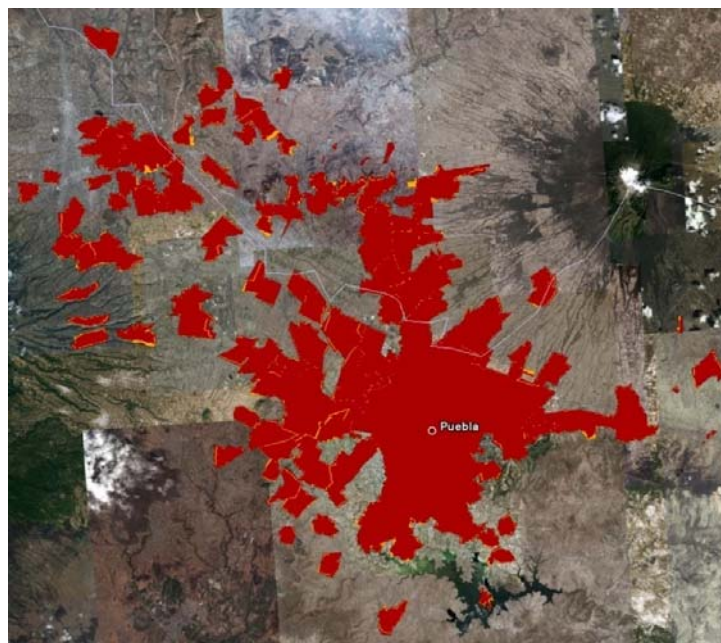
Zona Metropolitana	Población 2000	Población 2005	Diferencia Población	Suelo Urbano 2000	Suelo Urbano 2005	Diferencia S.Urbano	Variación 2000-05
ZM De la Laguna	1.007.291	1.110.890	103.599	21.226,99	24.215,36	2.988,37	14,08%
ZM Guadalajara	3.699.136	4.095.853	396.717	50.067,80	54.898,69	4.830,89	9,65%
ZM Juarez	1.218.817	1.313.338	94.521	27.334,53	30.469,08	3.134,55	11,47%
ZM Leon	1.269.179	1.425.210	156.031	16.113,27	19.189,05	3.075,78	19,09%
ZM Monterrey	3.299.302	3.738.077	438.775	63.654,65	71.266,27	7.611,62	11,96%
ZM Puebla-Tlaxcala	1.885.321	2.470.206	584.885	49.834,05	67.282,66	17.448,61	35,01%
ZM Tijuana	1.274.240	1.575.026	300.786	26.879,79	30.767,44	3.887,66	14,46%
ZM Toluca	1.451.801	1.633.052	181.251	33.989,83	36.623,07	2.633,25	7,75%
ZM Valle de Mexico	18.396.677	19.239.910	843.233	211.616,51	222.613,51	10.997,00	5,20%

Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de INEGI y CONAPO.

En términos relativos, los resultados varían. La ZM con mayor crecimiento urbano es de nueva cuenta, Puebla-Tlaxcala (35,01%), figura 17. Seguida por León (19,09%), Tijuana (14,46%) y La Laguna (14,08%), y que podemos observar su consumo de suelo periférico en las figuras 18, 19 y 20. En un segundo grupo de desarrollo urbano acelerado se encuentran Monterrey (11,96%), Juárez (11,47%) y Guadalajara (9,65%). Las figuras 21, 22 y 23 presentan la expansión de este segundo grupo el mismo periodo. Por último, las regiones que han presentado un menor proceso de metropolización son Toluca (7,75%) y la Valle de México (5,20%).

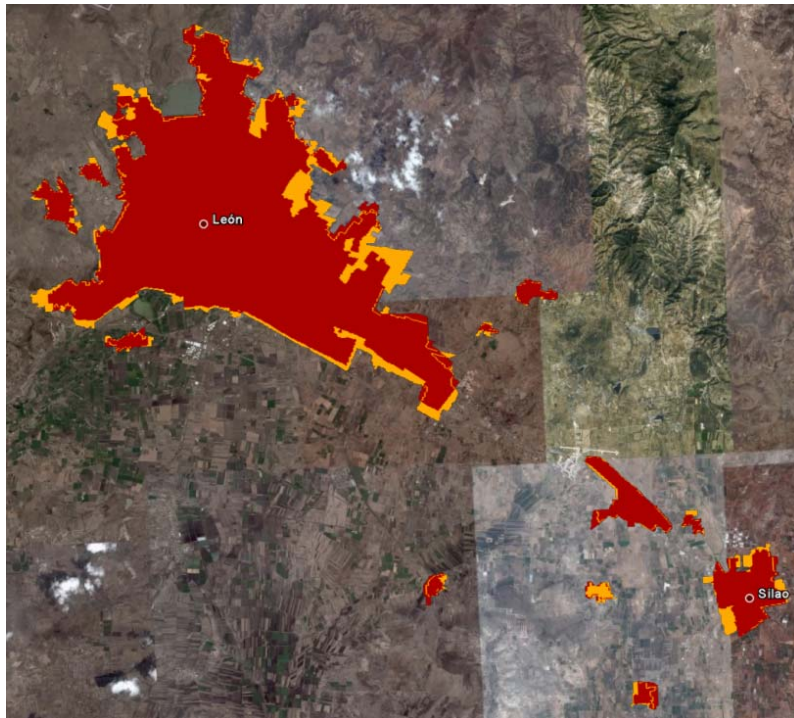
Esto se explica por las diferentes etapas de transformación por las que atraviesan las ciudades y sus municipios. De un lado tenemos a ciudades con crecimiento poblacional global acelerado, provocando altas demandas de suelo urbanizable para vivienda, así como nuevos centros de equipamiento urbano, comercio y servicios. Tal es el caso de la ZM de Juárez. Por otra parte tenemos el caso de la ZM Puebla-Tlaxcala, dónde los mayores crecimientos también se dieron en la periferia, entre los que destacan los municipios de Juárez (14,6%) y San Andrés Cholula (6,5%), pero que las cifras de consumo de suelo se deben principalmente a la incorporación de municipios existentes que no formaban parte de la metrópolis en el 2000. Esto explica el, aparentemente, alto consumo de suelo en un periodo de tiempo tan corto.

Figura 17. Crecimiento urbano de la ZM Puebla-Tlaxcala (2000-2005)



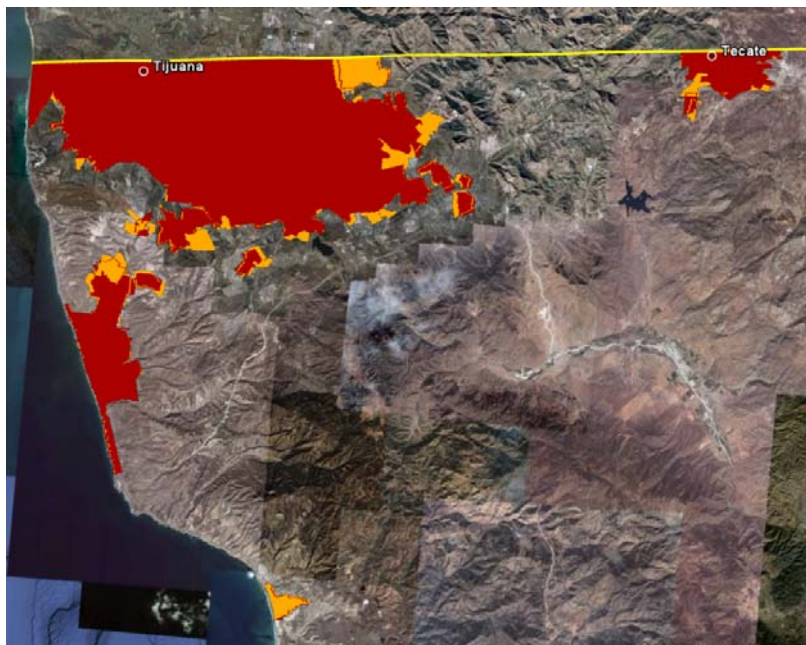
Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de INEGI y CONAPO.

Figura 18. Crecimiento urbano en la ZM León (2000-2005)



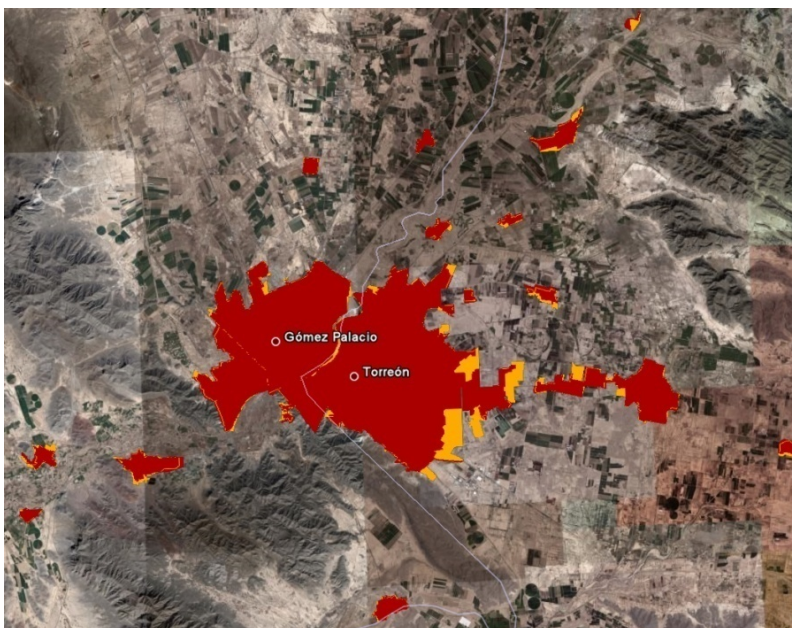
Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de INEGI y CONAPO.

Figura 19. Crecimiento urbano de la ZM Tijuana (2000-2005)



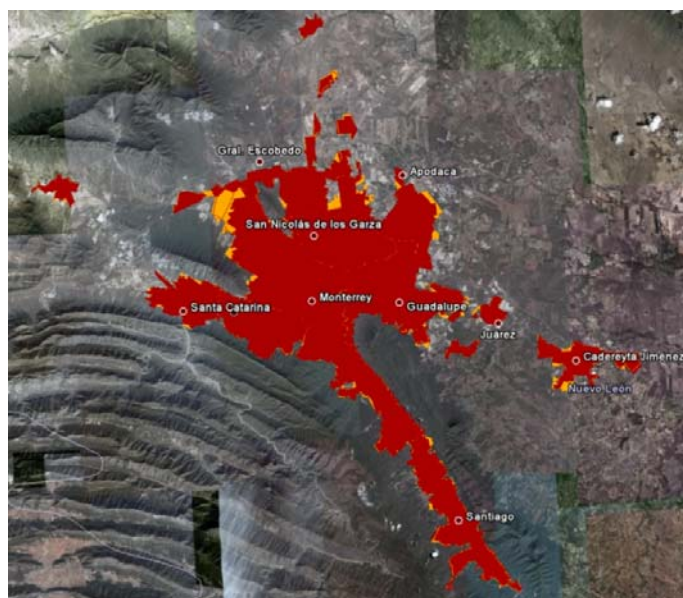
Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de INEGI y CONAPO.

Figura 20. Crecimiento urbano de la ZM De la Laguna (2000-2005)



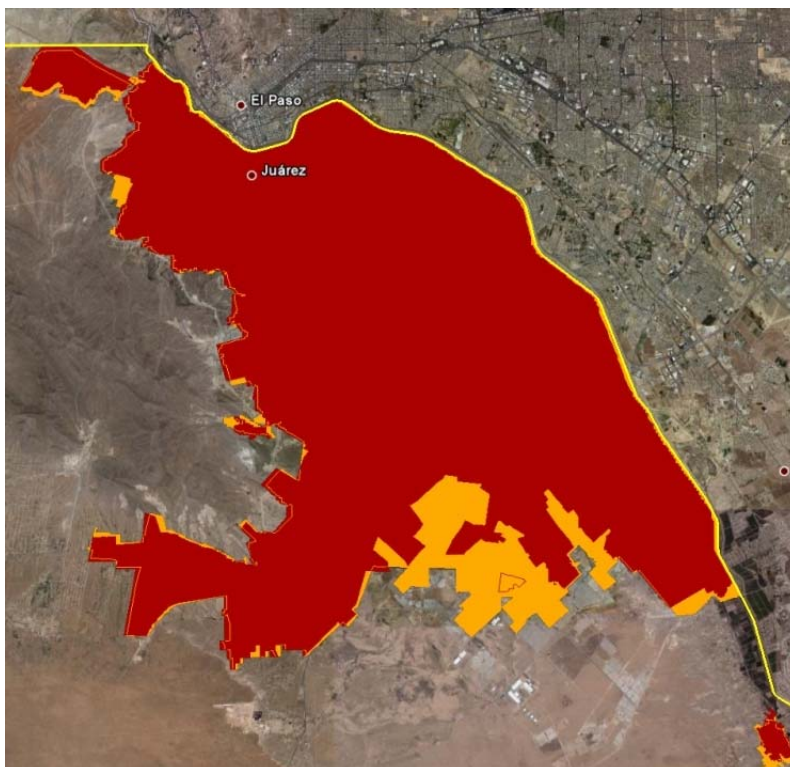
Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de INEGI y CONAPO.

Figura 21. Crecimiento urbano de la ZM Monterrey (2000-2005)



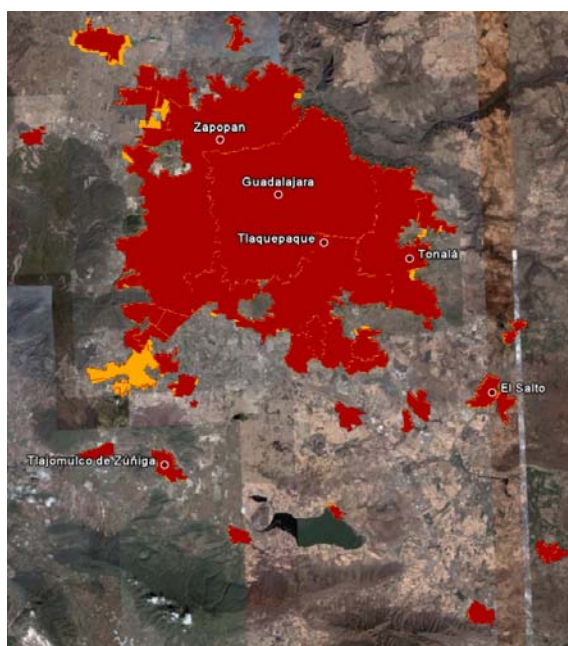
Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de INEGI y CONAPO.

Figura 22. Crecimiento urbano de la ZM Juárez (2000-2005)



Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de INEGI y CONAPO.

Figura 23. Crecimiento urbano de la ZM Guadalajara (2000-2005)

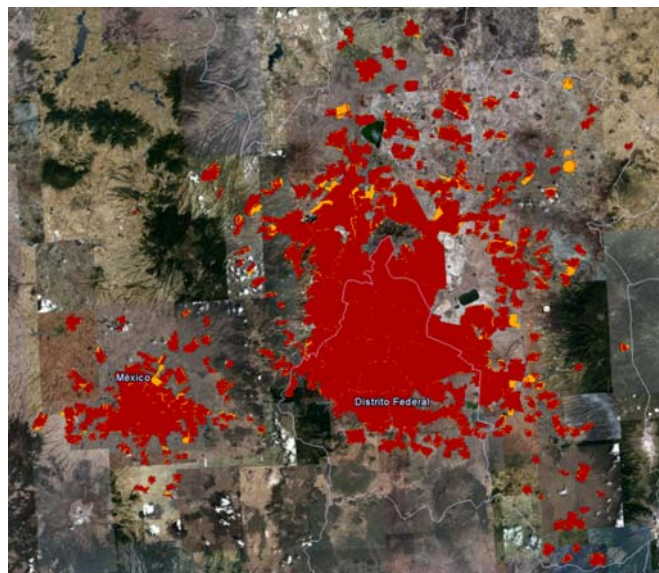


Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de INEGI y CONAPO.

Asimismo, sobresalen las tres grandes metrópolis del país en fase de descentralización acusada. En el caso de Guadalajara, con tasas de crecimiento altas en Tlajomulco de Zúñiga (10,8%) y El Salto (5,2%) y con tasas de crecimiento negativas en el municipio central de Guadalajara, perdiendo en números absolutos 45.000 habitantes. En el caso de la ZM de Monterrey se da un crecimiento poblacional alto en los municipios de García (10,7%), Apodaca (7,1%) y Salinas Victoria (6,9%), y una pérdida de población en San Nicolás de los Garza de 20.000 habitantes.

Por último, el caso de la ZM del Valle de México, en la figura 24, ganó población en los municipios periféricos de Chicoloapan (14,8%), Tecámac (8,2%), Huehuetoca (8,1%), Cuautitlán (6,8%), Ixtapaluca (6,7%) y Tezoyuca (5,4%). Sin embargo, los municipios y delegaciones centrales en términos absolutos han presentado las mayores pérdidas de habitantes, en las que resaltan Nezahualcóyotl (85.000 hab.), Gustavo A. Madero (42.000 hab.), Tlalnepantla (38.000 hab.), Naucalpan (37.000 hab.), Iztacalco y Azcapotzalco (16.000 hab.), Venustiano Carranza (15.000 hab.) y Coyoacán (12.000 hab.).

Figura 24. Crecimiento urbano de las ZM Valle de México y Toluca (2000-2005)



Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de INEGI y CONAPO.

Este fenómeno de urbanización ha llevado a que solamente estas tres zonas metropolitanas de Guadalajara, Monterrey y Valle de México, concentren más de una cuarta parte del total de los habitantes de México.

Como ya se ha mencionado, el proceso de sprawl se disparó en las últimas décadas del siglo pasado y México no fue la excepción. Igualmente, es de destacar el impulso que ha tenido el sector financiero de vivienda en este inicio de siglo. En este sentido, el Instituto de Fomento Nacional para la Vivienda de los Trabajadores (mayor fuente financiera del sector) otorgó en el periodo 2000-2007 un 136% más que en los 27 años anteriores de existencia del Instituto. Lo que se tradujo en 2.593.321 créditos para vivienda. No obstante, el crecimiento de este sector

se ha orientado a desarrollos unifamiliares en su mayoría o multifamiliares de baja y media densidad, privilegiando siempre el uso del automóvil privado.

El proceso de sprawl más acusado en el periodo 2000-2005 lo ha presentado Juárez, con un consumo de 33,16 Ha adicionales por cada mil habitantes, seguido de Puebla-Tlaxcala con 29,83 Ha y La Laguna con 28,85 Ha. Dentro de las regiones más contenidas en consumo de suelo se encuentran Guadalajara con 12,18 Ha por cada mil habitantes, Tijuana con 12,93 Ha y la ZM del Valle México, con 13,04 Ha.

Si analizamos las densidades medias urbanas¹⁶ de las nueve regiones metropolitanas, mostradas en la tabla 7, puede observarse una clara tendencia al sprawl, ya que todas disminuyeron en cinco años su densidad a excepción del área metropolitana de Tijuana, cuya densidad subió ligeramente de 83,9 hab./Ha en el 2000 a 85,8 hab./Ha en el 2005. De nuevo, se confirma el mayor protagonismo del sprawl en Ciudad Juárez (caída de 14,2 hab./Ha), seguida de León (13,3 hab./Ha) y Puebla-Tlaxcala (11,4 hab./Ha). El proceso de dispersión, en cambio, fue más moderado en las grandes metrópolis del país: ZM de México, Guadalajara y Monterrey.

Tabla 7. Densidades medias urbanas (2000-2005)

Zona Metropolitana	DMU_00	DMU_05
ZM De la Laguna	87,8	83,3
ZM Guadalajara	137,6	133,2
ZM Juárez	91,1	76,9
ZM León	142,2	128,9
ZM Monterrey	120,1	116,6
ZM Puebla-Tlaxcala	93,9	82,5
ZM Tijuana	83,9	85,8
ZM Toluca	67,1	66,8
ZM Valle de México	170,7	166,0

Fuente: SEDESOL, CONAPO e INEGI, 2004 y 2008.

El sprawl en México está presente, por tanto, en la práctica totalidad de las áreas metropolitanas estudiadas y se ha generado no sólo por la alta movilidad obtenida con la generalización del uso del coche, sino también por otras cuestiones socioeconómicas.

Entre ellas se encuentra, la preferencia de los desarrolladores a la localización de las nuevas urbanizaciones de baja y mediana densidad en las periferias de la ciudad, debido principalmente a los costos del suelo. Es más rentable aparentemente comprar suelo a bajo costo, que se encuentra calificado como reserva urbana o suelo urbanizable e incluso suelo fuera de los límites de la ciudad marcados por los planes y programas urbanos y urbanizar este suelo, trayendo consigo altas demandas de infraestructuras viales y de servicios que será difícil absorber por los gobiernos, retrasando la consolidación de la ciudad así como la dotación de equipamiento urbano como es recreación, educación, deporte o salud.

¹⁶ La densidad media urbana que se presenta es la calculada por SEDESOL, CONAPO e INEGI (2004 y 2008). A estos efectos "La densidad media urbana de cada municipio se calculó a partir de la densidad bruta de cada una de sus áreas geoestadísticas básicas (AGEB) urbanas ponderada por el tamaño de su población. Esta forma de calcular la densidad da mejor cuenta del grado en que se concentra espacialmente la población urbana de un municipio, de aquella que se hubiera obtenido al considerar la superficie total del mismo, o bien al sumar la superficie de todas sus AGEB urbanas, ya que gran parte del territorio de la mayoría de los municipios del país no está urbanizado. Además de que existen AGEB urbanas de una gran extensión territorial pero con muy pocos habitantes, y donde sólo una parte de su superficie está urbanizada, sobre todo en la periferia de las ciudades."

Este modelo de ciudad, también generado por la influencia que tiene sobre México el “estilo de vida americano”, lleva a una ciudad progresivamente insostenible, ya que la dispersión genera problemas ambientales, sociales y económicos. Ejemplo de esto son los altos consumos energéticos, además de la disminución del tiempo-ocio en detrimento de la calidad de vida y las grandes demandas urbanas de servicios e infraestructuras.

Otro grave problema generado por este modelo de ciudad difusa es el transporte colectivo, ya que requiere de una gran inversión, que no tienen los gobiernos, para llegar a todas las zonas de la ciudad, por lo que los habitantes deben resolver su problema de movilidad con el uso del automóvil privado.

Asimismo, este tipo de modelo de ciudad dispersa provoca en muchos casos falta de identidad e inseguridad, por lo que se encierra en sí misma, fragmentando el territorio y generando una clara pérdida de los espacios colectivos. Tal es el caso, en todas las Áreas Metropolitanas Mexicanas, de los “desarrollos cerrados”, que van dirigidos sobre todo a la población con ingresos medianos y altos. Promueven la privatización del espacio público en busca de seguridad y calidad del espacio público (parque de barrio y juegos infantiles), excluyendo al resto de los ciudadanos y dejando de mirar hacia las vialidades externas principales, dando como resultado una ciudad que “no hace ciudad”.

La información analizada hasta el momento muestra la tendencia hacia el modelo de la ciudad dispersa de las metrópolis mexicanas. Un modelo de ciudad fragmentada, con usos de suelos claramente diferenciados, dando a los sistemas viales un rol, casi supremo, en la estructura urbana y olvidándose cada vez más del peatón, de la calidad del espacio público y de las referencias urbanas.

6. España y México, ¿dos modelos contrapuestos?

España y México (la Nueva España en lenguaje colonial) ocupan el 8º y 9º lugar en el ranking de las economías mundiales. Ambas se encuentran en la inmediata periferia de esos colosos del Primer Mundo que son los Estados Unidos, en América, y el eje Franco-Alemán, en Europa. Hay rasgos, por tanto, que las asemejan. Pero también elementos que las diferencian. La renta per cápita, pero también la geografía y la historia de ambos países los hacen específicamente diferentes.

Respecto del proceso de sprawl o dispersión, ambos países muestran tendencias similares. Contrario a la hipótesis del nivel de renta, México parece denotar un mayor sprawl. No obstante, la dinámica parece ser un aumento de este proceso mucho mayor en España y no tanto en México.

España, hasta ahora caracterizada por una urbanización de tipo compacto, ha denotado tendencias preocupantes hacia el sprawl en los últimos decenios. Entre 1990 y 2000 fue el país europeo con mayor consumo de suelo. Pero, a escala de mayor detalle, se producen dos fenómenos contrapuestos: el “modelo” Barcelona o Bilbao, donde se hace presente la regeneración y no sólo el crecimiento extensivo, frente al “modelo” de la Costa Mediterránea, de gran dispersión de la urbanización.

El diagnóstico 2000-2005 de México sugiere una dinámica menor en el proceso de sprawl. Por densidad de población (o consumo de suelo per cápita), las zonas metropolitanas mexicanas

parecen más densas que las provincias "metropolitanas españolas"¹⁷. Especialmente las ZM de Valle de México, León y Guadalajara (ver tabla 8 y figura 25).

Pero si se tiene en cuenta los "demandantes reales", el consumo de suelo por vivienda y (en menor medida) empleo, parece ser que existe un mayor sprawl en México. Como se puede observar en la figura 26, en México hay, al igual que en España, mayor consumo de suelo por vivienda que por empleo. Sin embargo, la tendencia hacia la dispersión de la urbanización parece producirse en mayor medida, especialmente en lo que corresponde a la vivienda.

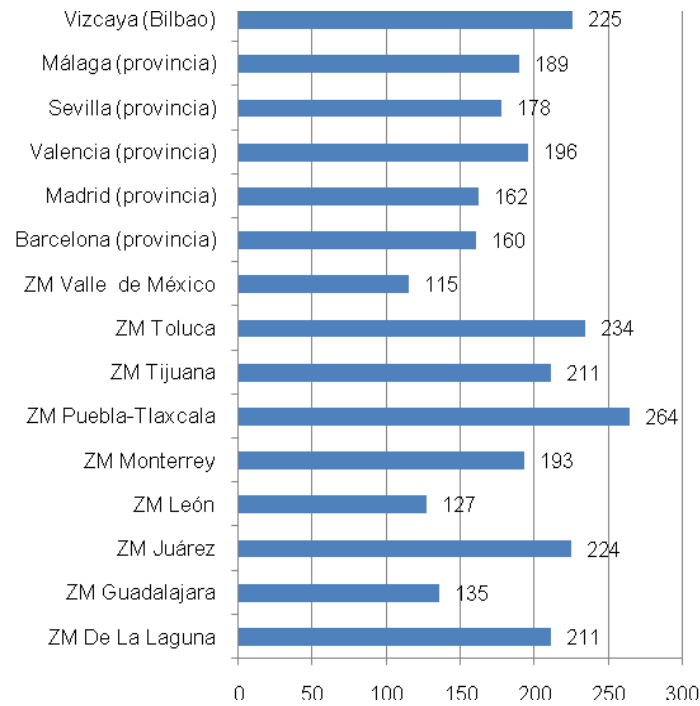
Tabla 8. Población y Suelo Urbano (2000)

	Área Metropolitana	Población_00	Suelo_Urbano_00	m2/hab
México	ZM De La Laguna	1.007.291	21.227	210,73
	ZM Guadalajara	3.699.136	50.068	135,35
	ZM Juárez	1.218.817	27.335	224,27
	ZM León	1.269.179	16.113	126,96
	ZM Monterrey	3.299.302	63.655	192,93
	ZM Puebla-Tlaxcala	1.885.321	49.834	264,33
	ZM Tijuana	1.274.240	26.880	210,95
	ZM Toluca	1.451.801	33.990	234,12
	ZM Valle de México	18.396.677	211.617	115,03
España	Barcelona (provincia)	4.804.606	76.952	160,16
	Madrid (provincia)	5.372.433	86.860	161,68
	Valencia (provincia)	2.227.170	43.575	195,65
	Sevilla (provincia)	1.747.441	31.023	177,53
	Málaga (provincia)	1.302.240	24.633	189,16
	Vizcaya (Bilbao)	857.565	19.313	225,21

Fuente: Elaboración propia.

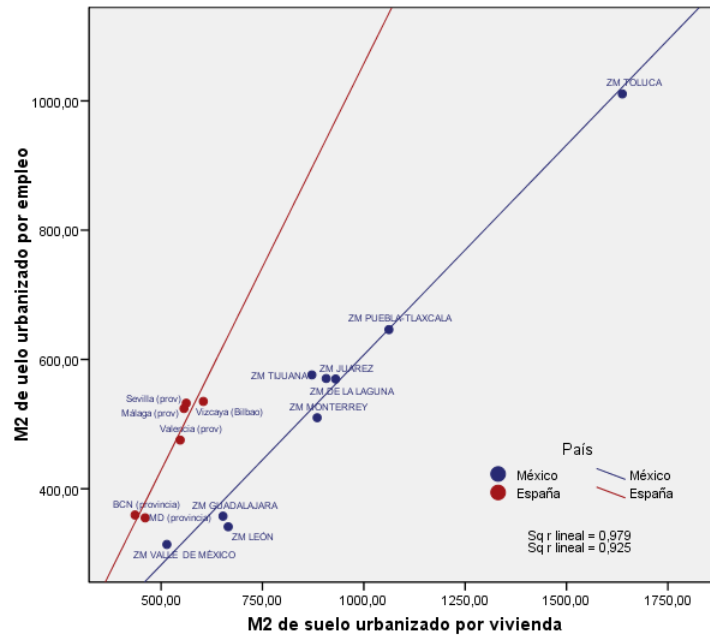
¹⁷ Debe advertirse que las áreas metropolitanas (mexicanas) y las provincias "metropolitanas" (españolas) no son ámbitos espaciales completamente equivalentes, puesto que las provincias incluyen en algunos casos extensas áreas de carácter rural.

Figura 25. Consumo de suelo en el 2000 (m²/hab.)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 26. Consumo de suelo por vivienda y empleo (2000)



Fuente: Elaboración propia.

México y España, periferias del primer mundo, muestran un claro proceso hacia el sprawl. El consumo creciente de suelo impregna, también, las dinámicas urbanas de ambos países, sugiriendo que la dispersión de la urbanización continúa extendiéndose como si de una metástasis cancerosa se tratase. Sin embargo, también parecen divisarse luces en esta perspectiva sombría. Cada vez parecen irse abriendo más camino las políticas hacia la mayor sostenibilidad y “urbanidad”. Los ejemplos de Barcelona o Bilbao permiten vislumbrar que otro urbanismo es posible. Muestran que es necesario evaluar la conveniencia de diseñar las metrópolis de forma más compacta, más densa y sostenible, con el fin de crear desarrollos que realmente “hagan ciudad” y mejorar, de esta manera, la calidad de vida de sus habitantes.

En este sentido la regeneración, el reciclaje del suelo urbano y el desarrollo compacto e integrado pueden ser el camino a seguir.

Bibliografía

AGUADO, D., ROCA, J. y LEAL, J. *5 x 50. Cinco paisajes urbanos por cincuenta años*. Madrid, Ministerio de la Vivienda (Catálogo de la Exposición), 2008.

AL HADDAD, Bahaadine, ROCA, Josep y GARCIA, Joaquim *Satellite Imagery and LIDAR Data for Efficiency! Describing Structures and Densities in Residential Urban Land Use Classification*. Em: ISPRS Congress (XXI, 2008, Beijing, China). Beijing, ISPRS, 2008, p. 35-40.

ASCHER, F. *Metápolis ou l'avenir des villes*. Paris, Odile Jacob, 1995.

ARELLANO, Blanca y ROCA, Josep *Algunas consideraciones sobre el sprawl en España y México*. En: Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual (5ª, 2009, Barcelona, España). Libro de proceedings en edición.

ARELLANO, Blanca y ROCA, Josep *Some Considerations about Urban Sprawl in Spain and Mexico*. En: City Futures in a Globalising World: An international conference on globalism and urban change. (II, 2009, Madrid, España). Madrid, EURA, 2009, <http://www.cityfutures2009.com/papers.html>

ARELLANO, Blanca, ROCA, Josep, QUERALTÓ, Pau y AL HADDAD, Bahaadine *Some Considerations about the Urban Sprawl Process in USA, Mexico and Spain*. En: European Congress of the Regional Science Association International (49th, 2009, Lodz, Polonia). Lodz, ERSA, 2009, p. 669.

BAUER, G. y ROUX, J.M. *La rurbanization, ou la ville éparpillée*. París, Ed. du Seuil, 1976.

BERG, L Van den *Urban Europa. A study of Urban Growth and Decline*. Pargamon, Oxford, 1982.

BERRY, B *The Counterurbanization Process: Urban American since 1970* en su Urbanization and Counterurbanization, Beverly Hills, Sage, 1976.

BORSODORF, Axel *Cómo modelar el desarrollo y la dinámica de la ciudad latinoamericana*. En: Revista Eure, 29(86): Vol. 29, núm. 086 pág. 37-49, 2003.

COUCH, C. y KARECHA, J. *Controlling urban sprawl: Some experiences from Liverpool*. En: Cities, 23(5): 353–363, 2006.

DEMATTEIS, Giuseppe *Suburbanización y periurbanización. Ciudades anglosajonas y ciudades latinas*. En: La ciudad dispersa. Suburbanización y nuevas periferias. Barcelona, Centro de Cultura Contemporánea de Barcelona, 1998.

DEMOGRAPHIA *Demographia. World Urban Areas*, 2007. <http://www.demographia.com/>

DEZERT, B.; MATTON, A.; STEINBERG, J., *Periurbanisation en France*, París: SEDES, 1991.

EWING, R., PENDALL, R. y CHEN, D. *Measuring Sprawl and Its Impact*, Washington, D.C., Smart Growth America, 2002.

FULTON, W., PENDALL, R., NGUYEN, M. y HARRISON, A. *Who Sprawls Most? How Growth Patterns Differ Across the U.S*. Washington, D.C., Center on Urban & Metropolitan Policy, The Brookings Institution, Survey Series, 2001.

GALSTER, George, HANSON, Royce y RATCLIFFE, Michael R. *Wrestling sprawl to the ground: Defining and measuring an elusive concept*. En: Housing Policy Debate, 12(4): p. 681-717, 2001.

INDOVINA, F. et al. *La città diffusa*. Venezia, Daest, 1990.

JANOSCHKA, Michael *El nuevo modelo de la ciudad latinoamericana: fragmentación y privatización*. En: Eure, 28(85): p. 11-29, 2002.

MARMOLEJO, Carlos y STALLBOHM, Mariana *¿Hacia un cambio de paradigma urbanístico en la Región Metropolitana de Barcelona?* En: Scripta Nova, vol. XII, 270(65): Sin paginar, 2008.

MONCLÚS, Javier *Estrategias urbanísticas y crecimiento suburbano en las ciudades españolas: el caso de Barcelona*. En: La ciudad dispersa. Suburbanización y nuevas periferias. Barcelona, Centro de Cultura Contemporánea de Barcelona, 1998.

ROCA, Josep, AL HADDAD, Bahaadine y BURNS, Malcolm *Texture Analysis for Correcting and Detecting Classification Structures in Urban Land Uses. Metropolitan area case study Spain*. En: ISPRS Congress: Urban Remote Sensing Joint Event, 2007, Paris, Francia. <http://tlc.unipv.it/urban-remote-sensing-2007/index.html>

SALINGAROS, Nikos. *La ciudad compacta sustituye a la dispersión*. En: INDOVINA, Francesco. La ciudad de baja densidad. Lógicas, gestión y contención Barcelona, Diputació de Barcelona, 2007.

SCHNEIDER, Annemarie y WOODCOCK, Curtis *Compact, Dispersed, Fragmented, Extensive? A Comparison of Urban Growth in Twenty-five Global Cities using Remotely Sensed Data, Pattern Metrics and Census Information*. En: Urban Studies, Vol. 45, 3(659): 659-692, 2008.

SEDESOL, CONAPO e INEGI *Delimitación de las Zonas Metropolitanas de México*. México, 2004. <http://www.inegi.org.mx>

SEDESOL, CONAPO e INEGI (2008): *Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2005*. Mexico, 2008. <http://www.inegi.org.mx>

TSAI, Yu Hsin. *Quantifying Urban Form: Compactness versus 'Sprawl'*. En: Urban Studies, 42(1): 141-161, 2005.

Arellano, Blanca; Roca, Josep; Queralto, Pau

Conference Paper

The urban sprawl: an overview of USA, Mexico and Spain.

50th Congress of the European Regional Science Association: "Sustainable Regional Growth and Development in the Creative Knowledge Economy", 19-23 August 2010, Jönköping, Sweden

Provided in Cooperation with:

European Regional Science Association (ERSA)

Suggested Citation: Arellano, Blanca; Roca, Josep; Queralto, Pau (2010) : The urban sprawl: an overview of USA, Mexico and Spain., 50th Congress of the European Regional Science Association: "Sustainable Regional Growth and Development in the Creative Knowledge Economy", 19-23 August 2010, Jönköping, Sweden, European Regional Science Association (ERSA), Louvain-la-Neuve

This Version is available at:

<http://hdl.handle.net/10419/119004>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

THE URBAN SPRAWL: AN OVERVIEW OF USA, MEXICO AND SPAIN

Arq. Blanca Esmaragda Arellano Ramos.¹

Government of Baja California State

Jefa del Depto. de Vivienda y Reserva Territorial.

Calz. Independencia 994, 4º. Piso Centro Cívico C.P. 21000 Mexicali, B.C. México.

esmaragda.arellano@gmail.com

+52 686 558 1000 ext. 1479

+52 686 558 1965

Secretaria de Infraestructura y Desarrollo Urbano del Estado.

Calz. Independencia 994, 4º. Piso Centro Cívico C.P. 21000 Mexicali, B.C. México.

barellano@baja.gob.mx

+52 686 558 1000 ext. 1405

+52 686 558 1965

Dr. Josep Roca Cladera.

Director del Centro de investigación de Política de Suelo y Valoraciones.

josep.roca@upc.edu

Departamento de Construcciones Arquitectónicas I.

Universidad Politécnica de Cataluña.

Avda. Diagonal 649, 4ª planta 08028, Barcelona, España.

cpsv.info@upc.edu

+34 93 401 63 96

+34 93 333 09 60

Pau Queraltó i Ros

Investigador del Centro de Política de Suelo y Valoraciones.

pau.queralto@upc.edu

Departamento de Construcciones Arquitectónicas I.

Universidad Politécnica de Cataluña.

Avda. Diagonal 649, 4ª planta 08028, Barcelona, España.

cpsv.info@upc.edu

+34 93 401 63 96

+34 93 333 09 60

Key words: urban sprawl, diffuse city, sustainable city, land consumption.

¹The presentation, developed in contribution by investigators of the Government of Baja California and Universitat Politècnica de Catalunya (UPC, Centre of Land Policy and Valuations), is referred in some of the works carried out within the Urban and Architectonic Management and Valuations doctorate program of the above mentioned UPC.

We thank specially Malcolm C. Burns, Yraida Romano, Bahaadinne Alhaddad and Nicola Colannino for their collaboration from the Centre of Land Policy and Valuations (CPSV) of the Universidad Politécnica de Cataluña (UPC).

Abstract:

It is a fact that the urban sprawl, known as the process of gradual spread out of urbanization has become a worldwide phenomenon. The growing consumption of land, as a result of the extension of highway networks, open up vast space of territory, which seems to have become an unstoppable cancer, and affects virtually all the contemporary metropolis.

The expansion of the cities had its origin in the model of suburban life, which began with the generalized use of the automobile. A lifestyle based on the "american dream", one single family-home, one (or more) car (s)." But it has been since late 70's of the last century, when it has had a more dramatic development, as a consequence of the crisis of metropolitan areas linked to what, it is called Post-Fordism economy and some authors have characterized as counter-urbanization (Berry) desurbanization (Berg), edge-cities (Garreau) metapolis (Asher) or diffuse city (Indovina). Despite the diversity of urban development, the increasing consumption of land, the excessive use of land as a scarce resource, it is a constant in the urbanization process in the early twenty-first century.

The object of our contribution is to make an overview about urban sprawl in USA, Mexico and Spain. The use of technologies related to satellite imagery (remote sensing) allow the characterization of the phenomenon of consumption, pathological or not, of land. And this analysis suggests some hypothesis about the plurality of the contemporary urbanization processes. Roughly two models stand out: On one hand, urban development based on low densities, where the unsustainable consumption of land is presented as a paradigm of economic development and, on the other hand, an urban development with a compact city model, where recycling land, and not just increasing the consumption of land, is one of the key objectives of urban policies. The work presented here, suggests that in the second model seems to appear a change in the paradigm towards a more efficient and sustainable use of the territory.

1. - Introduction

The second half of the twentieth century was undoubtedly the time with a faster urban growth worldwide. The urban population has grown from 750 million in 1950 to 2860 million in 2000, and now represents over 50% of the world population. Spain and Mexico have been no exception. The urban transformation generated in both countries is a phenomenon of great magnitude. In the mid-twentieth century, both Spain and Mexico were basically countries with an agricultural profile. Over 50% of the two countries population worked in agriculture. At the beginning of the twenty-first century, however, less than 20% (10% in Spain) of the employed population is engaged in agricultural activities. Industry but above all, services represent the majority of jobs.

Following the great ecologist Ramón Margalef, there has been a real inversion in the topology of the landscape. Highway networks, which only a few decades before were isolated elements throughout the countryside, are now present throughout the territory, setting a new "landscape", in which the rural become "islands" throughout the highly urbanized land, and this change has occurred in the course of one generation. Women and men born in 1950 have been witness of the extent of the changes, that from the 70's have been characterized not only by the progressive development, but by the continue increase in the per capita consumption of land: this process has been called urban sprawl⁴.

It is true that the urban sprawl, the process of gradual spread out of urbanization has become a worldwide phenomenon, especially in the developed world and its environs. The growing consumption of land, as a result of the extension of highway networks in urban areas, seems to have become an unstoppable cancer and affects virtually all the contemporary metropolis worldwide.

The expansion of the cities was originated in the model of suburban life, which began with the generalized use of the car. A lifestyle based on the "American Dream: one single family-home, and one (or more) car (s)", that means mobility and homeownership. However, it is not until the late 70's when it has a more dramatic development, as a consequence of the crisis of metropolitan areas linked to what is called Post-Fordism economy.

Some authors have characterized it as counter-urbanization (Berry) desurbanization (Berg), edge-cities (Garreau) metapolis (Asher) or diffuse city (Indovina). Despite the diversity of urban development, the increasing consumption of land, the excessive use of land as a scarce resource, it is a constant in the urbanization process in the early twenty-first century.

Our contribution is to make some reflections about the urban sprawl process in Mexico and Spain. The use of technologies related to satellite imagery (remote sensing) allows the characterization of the phenomenon of consumption, pathological or not, of land. And this analysis suggests some hypothesis about the plurality of contemporary of urbanization processes. Roughly, two models stand out: one based urban development at low densities, where the unsustainable consumption of land is presented as a paradigm of economic development and, in another hand, an urban development with a compact city model, where recycling land, and not just increasing the consumption of land, is one of the key objectives of urban policy. The work presented here suggests that, in recent years, a change in the paradigm towards a more efficient and sustainable use of the territory appears.

2. - The origins of urban sprawl.

The low density and diffuse forms of urbanization have their origin in the improvement of urban transport systems that emerged throughout the nineteenth century. The appearance of subways was especially a

key element that led to the gradual separation of residential and work, causing the incipient process of suburbanization that took place during the last third of the nineteenth century.

As it is well known, the generalized use of the car as a way of private transportation in the early decades of the twentieth century reinforced the trend towards the dispersion of the population, generating new forms of suburban development and the construction of the ideal of "mobility and homeownership", which soon spread from the United States to the world.

According with Dematteis (1997), the urban development between the XIX and XX centuries, brought to the western world, the coexistence of two models of expansion:

- In the traditional Mediterranean until the nineteenth century, the city is not beyond the medieval walls. It is not until the industrial age when the countryside is colonized by high-density suburbs.
- In northern Europe, the city expands with the "Civita", the urban landscape replaces the previous rural and recreates them in some of its elements, the garden city emerged as one of the paradigms of urban development of late nineteenth and early twentieth century.

It was up to the last decades of the last century, when the process of urban sprawl had reached high levels, getting practically the entire planet. The crisis of the so-called "Fordist-Economy", based on the predominance of the industry and its concentration, to an economic system characterized by the dominance of the services and the gradual dispersion of the industrial production processes, has generated new patterns of urbanization characterized not only by the dispersion of residential activities, but also by the progressive suburbanization in the outskirts of the city of economic activity and employment.

The "counter urbanization", reported by Berry (1976), has made presence not only in countries with a longer history of suburban growth, but also in cities characterized by a compact model, as the Latin Mediterranean. In this sense, the majority of authors have recognized the worldwide generalization of the urban sprawl process.

The territorial model has a significant evolution in the recent decades, becoming from an urban continuum model with medium and high densities, to a diffuse and dispersed city, driven by technological innovation processes, separation of functions and finding proximity to nature. This redefinition of the territorial model was based on the new highways and communication networks, and has as a result a dispersed and unsustainable city, thus, a city with high consumption of land.

Table num. 1: Population Density of urban areas over 500,000 inhabitants (2007).

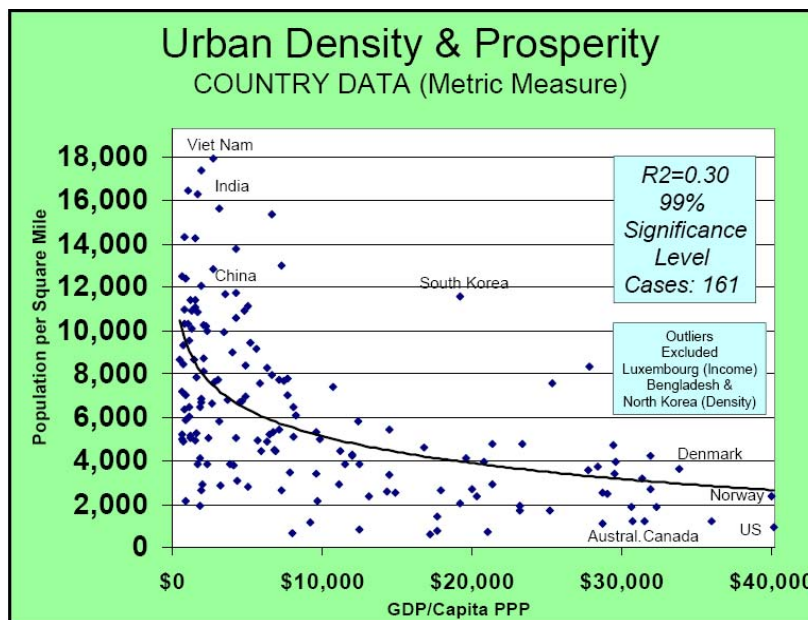
Area	Cases	Population (Millions)	Average population per Square Mile of Urban areas	Average population per Square kilometer of urban areas	Density Compared to United States Urban Density
HIGH INCOME WORLD					
Western Europe	61	101.5	7,700	3,000	2.75
Western Europe: Outside UK	51	82.4	7,200	2,750	2.57
Western Europe: UK	10	19.1	10,600	4,100	3.79
United States	65	142.1	2,800	1,100	1.00
Canada	8	14.0	3,900	1,500	1.39
Western Hemisphere Except Canada & US	1	2.2	2,500	950	0.89
Australia	5	10.4	3,700	1,450	1.32
New Zealand	1	1.1	5,500	2,100	1.96
Japan	23	79.1	10,700	4,100	3.82
China (Hong Kong & Macao)	1	6.5	76,200	29,400	27.21
China: Taiwan	6	14.9	17,900	6,900	6.39
Asia: Outside China & Japan	21	53.2	17,200	6,650	6.14
Total/average	192	424.9	7,800	3,000	2.79
MIDDLE AND LOW INCOME WORLD					
Europe Except Russia	29	41.6	10,900	4,200	3.89
China	100	153.4	17,400	6,750	6.21
India	69	134.5	40,600	15,700	14.50
Russia	38	46.6	12,900	5,000	4.61
Asia except China, India & Russia	97	191.7	20,900	8,050	7.46
Africa	81	134.3	21,300	8,200	7.61
South & Central America	101	195.3	16,500	6,350	5.89
Total/Average	515	897.3	20,900	8,050	7.46
Urban Areas Total: Threshold Population	707	1,322.3	17,400	6,700	6.21
WORLD URBAN POPULATION (2002)		2,985.0			
Share of World Urban Population in Threshold Urban Areas		44.3%			
Urban Areas Below Threshold	595	131.9	8,000	2,050	2.86
TOTAL: ALL LISTED URBAN AREAS	1,302	1,454.2	8,700	3,350	3.11
Share of world Urban Population		48,7%			

Source: Demographia World Urban Areas (2007)

Table N° 1 suggests a clear differentiation of the consumption of land patterns, depending on socio-economic status of the population. Countries with high and middle income tend to sprawl more than low-income countries. For example, if we limit ourselves to urban areas over 500,000 inhabitants, the urban density in the USA (1,100 inhabitants per km²), Australia (950 inhabitants/km²), Canada (1,500 inhabitants/km²) or Western Europe density (3,000 inhabitants/km²) is lower than the density of cities in Russia (5,000 inhabitants/km²), rest of the Americas (6,350 inhabitants/km²), Africa (8,200 inhabitants/km²), China (6,750 inhabitants / km²), India (15,700 inhabitants/km²) or the rest of Asia (8,050 inhabitants/km²).

Growing consumption of land, therefore, while being a worldwide phenomenon is concentrated in the developed world and its environs. The graphic 1 displays how the countries with high income, with few exceptions, are the geographic areas characterized by higher consumption of land.

Graphic num. 1: Density & Prosperity



Source: Demographia World Urban Areas (2007)

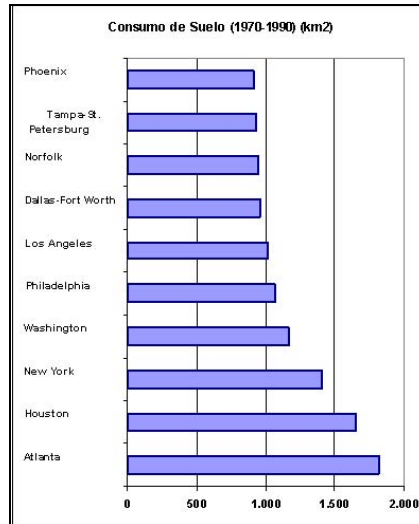
The new metropolises of the developed world, of which Atlanta is only the most noticeable example, show the infinite development of the built-up spaces, the vouch for the car as almost the only form of transportation, as well as the exponential growth of the energy consumption that the dispersed urbanization entails. The environmental unsustainability is an inseparable consequence of the model of sprawl. As a result, the agencies and institutions responsible for the regulation of the urban and territorial planning, intend to generate alternatives that imply to return to the order of the sustainable compactness. The debate on the limits of the urban sprawl has carried to alternative approaches like the proposal of the compact as new paradigm, the "smart growth" or the "new urbanism" in which the control of the indiscriminate process of consumption of ground appears as one of the fundamental objectives of the new urban politics.

3.- The Sprawl in the USA

In the USA land consumption has gone from 161 square miles per 1,000 inhabitants in 1950 to 243 in 1970, and 293 in 1990 in the metropolitan areas (SMA) of more than one million inhabitants.

It has represented an increment of 384 square miles per each new 1,000 inhabitants between 1950 and 1970; figure that has increased to 527 in the period 1970-1990. The land consumption has been accentuated, therefore with the post-fordism, arriving at its paroxysm between 1970 and 1990. Graphic number 2 shows us the metropolitan areas with greater growth between 1970 and 1990.

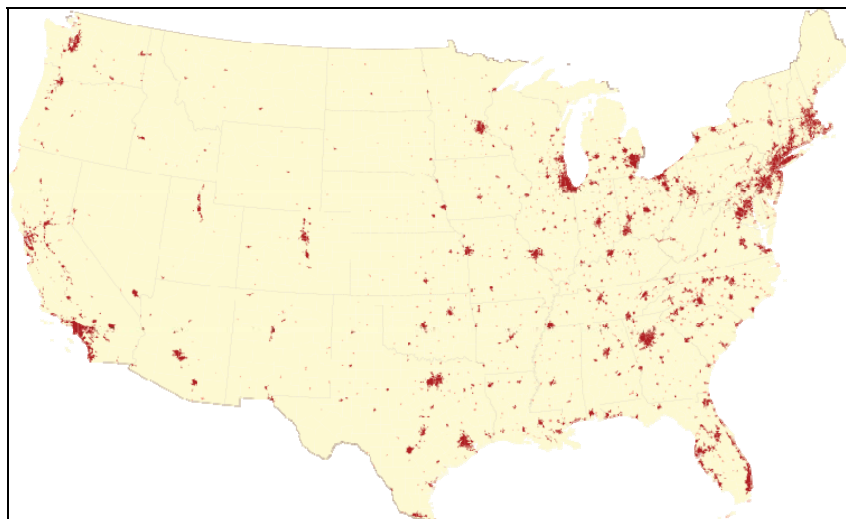
Graphic num. 2: Top ten metropolitan areas SMA in consumption of land (1970-1990)



Source: Bureau of Census USA

Figure number 1 shows us the urbanized areas in the continental U.S.A., where one can see a bigger concentration in the West side, especially in the northwest coast.

Figure num. 1: Map of the U.S.A. with Sprawl in 2000



Source: Transferred from en.wikipedia; transferred to Commons by User:Sfan00_IMG using CommonsHelper.

The study has been focused on the sprawl analysis of the 12 urbanized areas which in 2000 had populations in excess of 3 million inhabitants.

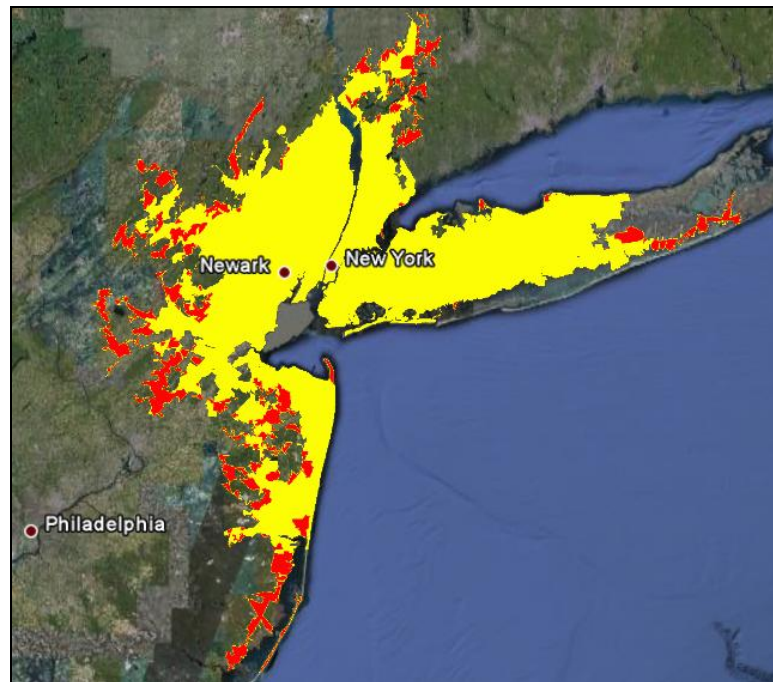
Table num. 1: Urbanized areas with more than 3 million population in 2000

Urbanized Areas	Pop. 2000
New York-Newark, NY-NJ-CT	17,799,861
Los Angeles-Long Beach-Santa Ana, CA	12,492,983
Chicago, IL-IN	8,307,904
Philadelphia, PA-NJ-DE-MD	5,149,079
Miami, FL	4,919,036
Dallas-Fort Worth-Arlington, TX	4,145,659
Boston, MA-NH-RI	4,032,484
Washington, DC-VA-MD	3,933,920
Detroit, MI	3,903,377
Houston, TX	3,822,509
San Francisco-Oakland, CA	3,782,562
Atlanta, GA	3,499,840

Source: Elaborated from information of the U.S. Census Bureau

The aforementioned urbanized areas (UA) are analyzed by comparing the land consumption in 1990 and 2000. The yellow tone of Figures 2-13 indicates the urbanized areas in 1990 with the red tone indicating the urbanized land in 2000. For each of the areas land consumption is expressed as a measure of area per 1,000 inhabitants.

Figure num. 2: Urban growth of the UA of New York-Newark, NY-NJ-CT



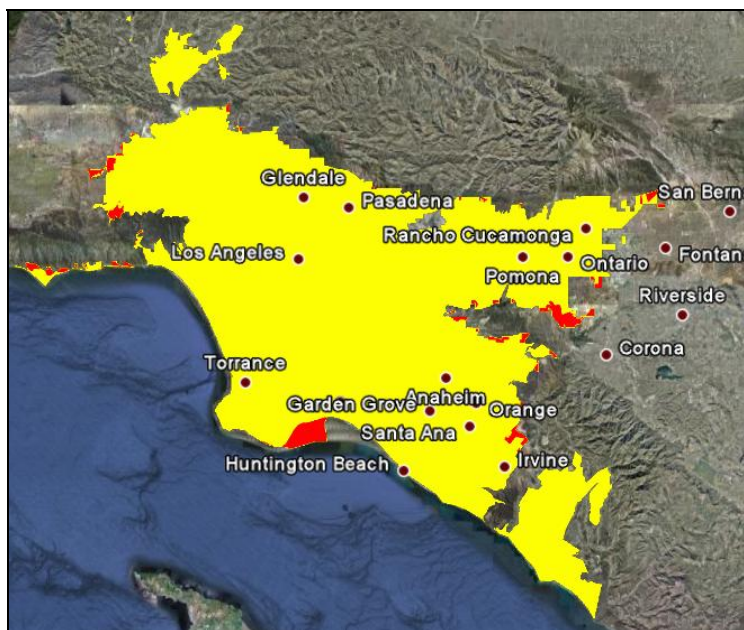
Source: Elaborated from information of the U.S. Census Bureau, Geography Division, Cartographic Products Management Branch, 2001.

According to the information from the U.S. Census Bureau these are the values for New York-Newark, NY-NJ-CT urbanized area:

Year	Population	Km ²	Dens km ²	Ha/1,000hab	m ² /hab
1990	16,044,493	7,302.98	2,196.98	45.52	455.17
2000	17,799,861	8,683.20	2,049.92	48.78	487.82

The urbanized area of New York--Newark, NY-NJ-CT has a land consumption of 487.82 m² per 1,000 inhabitants in 2000.

Figure num. 3: Urban growth of the UA of Los Angeles-Long Beach-Santa Ana, CA



Source: Elaborated from information of the U.S. Census Bureau, Geography Division, Cartographic Products Management Branch, 2001.

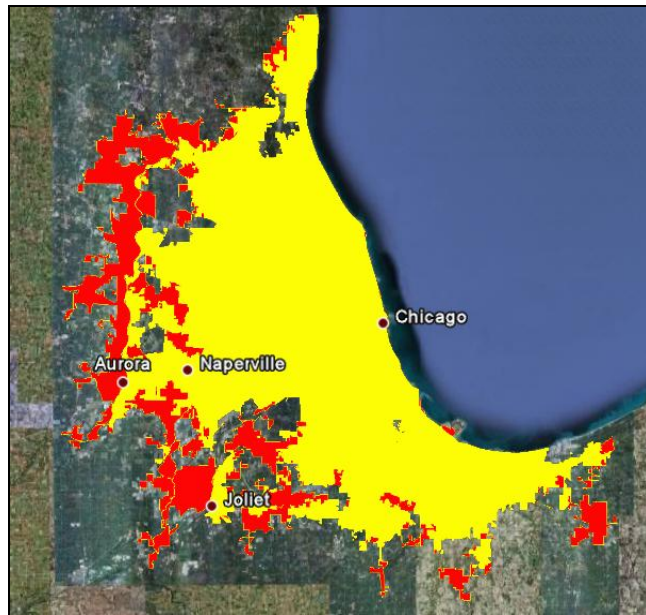
According to the information from the U.S. Census Bureau these are the values for Los Angeles-Long Beach-Santa Ana, CA urbanized area:

Year	Population	Km ²	Dens km ²	Ha/1,000hab	m ² /hab
1990	11,402,955	4708,79	2.421,63	41,29	412,94
2000	12,492,983*	5.204,05	2.400,63	41,66	416,56

The urbanized area of Los Angeles-Long Beach-Santa Ana, CA has a land consumption of 416.56 m² per 1,000 inhabitants in 2000.

UA	Pop. 2000	Km2
Los Angeles--Long Beach--Santa Ana, CA	11,789,487	4,708.79
Mission Viejo, CA	533,015	354.53
Santa Clarita, CA	170,481	140.72
TOTAL Los Angeles in 2,000	12,492,983	5,204.05

Figure num. 4: Urban growth of the UA of Chicago, IL-IN



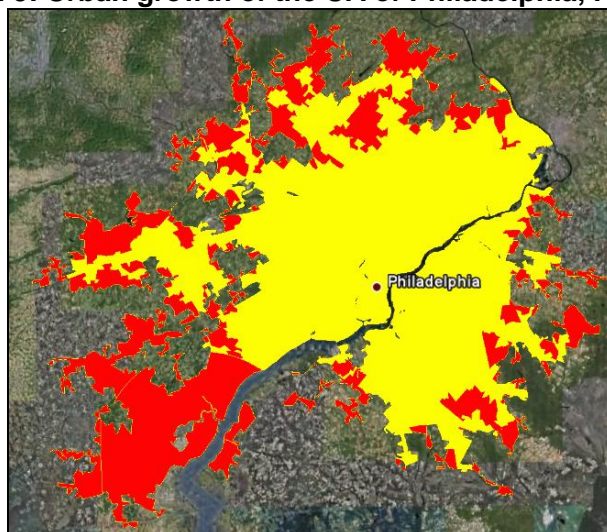
Source: Elaborated from information of the U.S. Census Bureau, Geography Division, Cartographic Products Management Branch, 2001.

According to the information from the U.S. Census Bureau these are the values for Chicago, IL-IN urbanized area:

Year	Population	Km ²	Dens km ²	Ha/1,000hab	m ² /hab
1990	6,792,211	4,180.08	1,624.90	61.54	615.42
2000	8,307,904	5,498.10	1,511.05	66.18	661.79

The urbanized area of Chicago, IL-IN has a land consumption of 661.79 m² per 1,000 inhabitants in 2000.

Figure num. 5: Urban growth of the UA of Philadelphia, PA-NJ-DE-MD



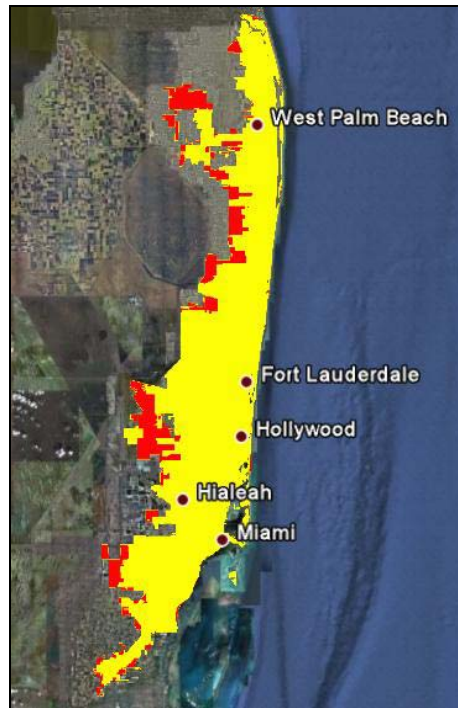
Source: Elaborated from information of the U.S. Census Bureau, Geography Division, Cartographic Products Management Branch, 2001

According to the information from the U.S. Census Bureau these are the values for Philadelphia, PA-NJ-DE-MD urbanized area:

Year	Population	Km ²	Dens km ²	Ha/1,000hab	m ² /hab
1990	4.222.000	2.890,57	1.460,61	68,46	684,64
2000	5.149.079	4.660,70	1.104,79	90,52	905,15

The urbanized area of Philadelphia, PA-NJ-DE-MD has a land consumption of 416.56 m² per 1,000 inhabitants in 2000.

Figure num. 6: Urban growth of the UA of Miami, FL



Source: Elaborated from information of the U.S. Census Bureau, Geography Division, Cartographic Products Management Branch, 2001

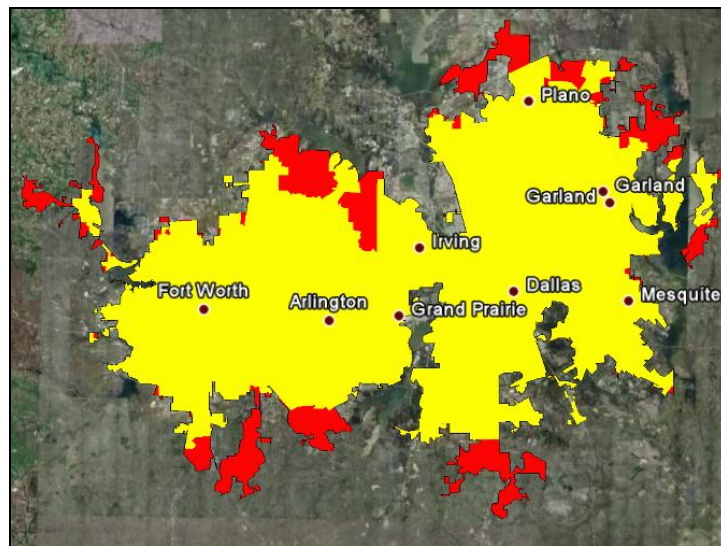
According to the information from the U.S. Census Bureau these are the values for Miami, FL urbanized area:

Year	Population	Km ²	Dens km ²	Ha/1,000hab	m ² /hab
1990	3,152,798*	1,748.46	1,803.19	55.46	554.57
2000	4,919,036	2,890.67	1,701.67	58.76	587.65

The urbanized area of Miami, FL has a land consumption of 587.65 m² per 1,000 inhabitants in 2000.

UA	Pop. 1990	Km2
Miami--Hialeah	1,914,689	887.87
Fort Lauderdale--Pompano Beach--Hollywood, FL	1,238,109	860.59
TOTAL Miami, FL	3,152,798	1,748.46

Figure num. 7: Urban growth of the UA of Dallas-Fort Worth-Arlington, TX



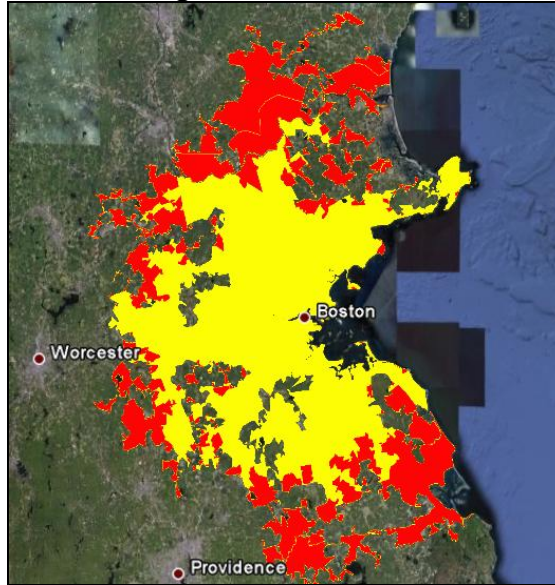
Source: Elaborated from information of the U.S. Census Bureau, Geography Division, Cartographic Products Management Branch, 2001

According to the information from the U.S. Census Bureau these are the values for Dallas, TX urbanized area:

Year	Population	Km ²	Dens km ²	Ha/1,000hab	m ² /hab
1990	3,198,199	3,156.11	1,013.34	98.68	986.84
2000	4,145,659	3,644.50	1,137.51	87.91	879.11

The urbanized area of Dallas-Fort Worth-Arlington, TX has a land consumption of 879.11 m² per 1,000 inhabitants in 2000.

Figure num. 8: Urban growth of the UA of Boston, MA-NH-RI



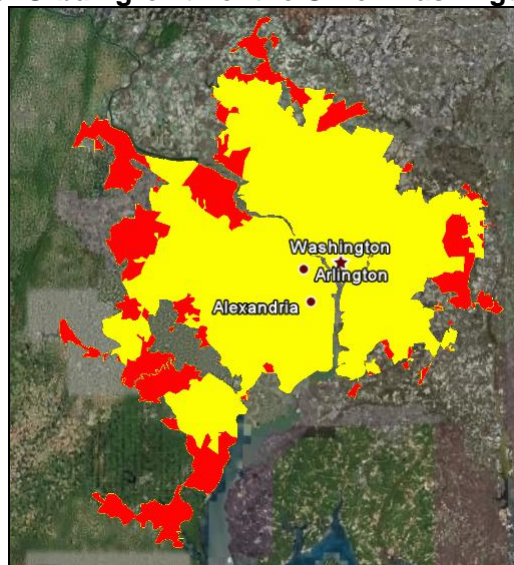
Source: Elaborated from information of the U.S. Census Bureau, Geography Division, Cartographic Products Management Branch, 2001

According to the information from the U.S. Census Bureau these are the values for Boston, MA--NH—RI urbanized area:

Year	Population	Km ²	Dens km ²	Ha/1,000hab	m ² /hab
1990	2,774,717	2,378.78	1,166.45	85.73	857.31
2000	4,032,484	4,496.67	896.77	111.51	1,115.11

The urbanized area of Boston, MA-NH-RI has a land consumption of 1,115.12 m² per 1,000 inhabitants in 2000.

Figure num. 9: Urban growth of the UA of Washington, DC-VA-MD



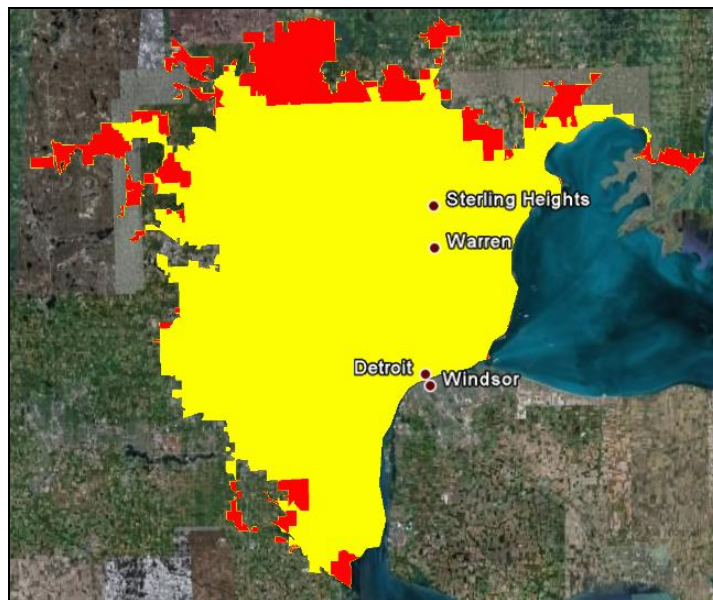
Source: Elaborated from information of the U.S. Census Bureau, Geography Division, Cartographic Products Management Branch, 2001

According to the information from the U.S. Census Bureau these are the values for Washington, DC--VA--MD urbanized area:

Year	Population	Km ²	Dens km ²	Ha/1,000hab	m ² /hab
1990	3,363,047	2,293.84	1,466.12	68.21	682.07
2000	3,933,920	2,996.01	1,313.05	76.16	761.58

The urbanized area of Washington, DC-VA-MD has a land consumption of 761.58 m² per 1,000 inhabitants in 2000.

Figure num. 10: Urban growth of the UA of Detroit. MI



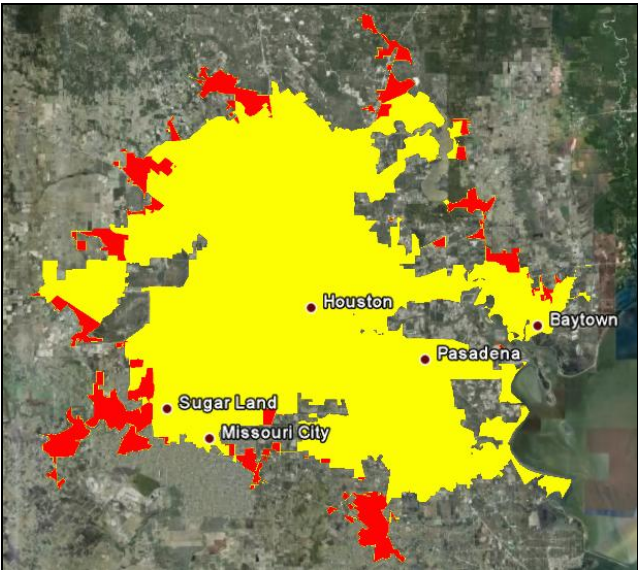
Source: Elaborated from information of the U.S. Census Bureau, Geography Division, Cartographic Products Management Branch, 2001

According to the information from the U.S. Census Bureau these are the values for Detroit, MI urbanized area:

Year	Population	Km ²	Dens km ²	Ha/1,000hab	m ² /hab
1990	3,697,424	2,897.50	1,276.07	78.37	783.74
2000	3,903,377	3,267.14	1,194.74	83.70	837.00

The urbanized area of Detroit, MI has a land consumption of 837.00 m² per 1,000 inhabitants in 2000.

Figure num. 11: Urban growth of the UA of Houston. TX



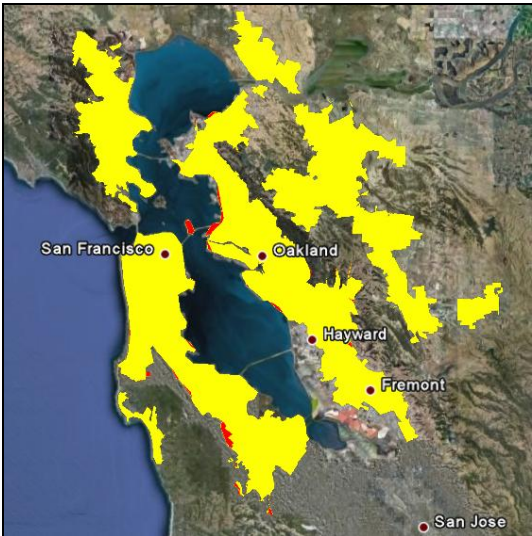
Source: Elaborated from information of the U.S. Census Bureau, Geography Division, Cartographic Products Management Branch, 2001

According to the information from the U.S. Census Bureau these are the values for Houston, TX urbanized area:

Year	Population	Km ²	Dens km ²	Ha/1,000hab	m ² /hab
1990	2,902,449	2,948.55	984.36	101.59	1,015.88
2000	3,822,509	3,354.72	1,139.44	87.76	877.62

The urbanized area of Houston, TX has a land consumption of 877.62 m² per 1,000 inhabitants in 2000.

Figure num. 12: Urban growth of the UA of San Francisco-Oakland. CA



Source: Elaborated from information of the U.S. Census Bureau, Geography Division, Cartographic Products Management Branch, 2001

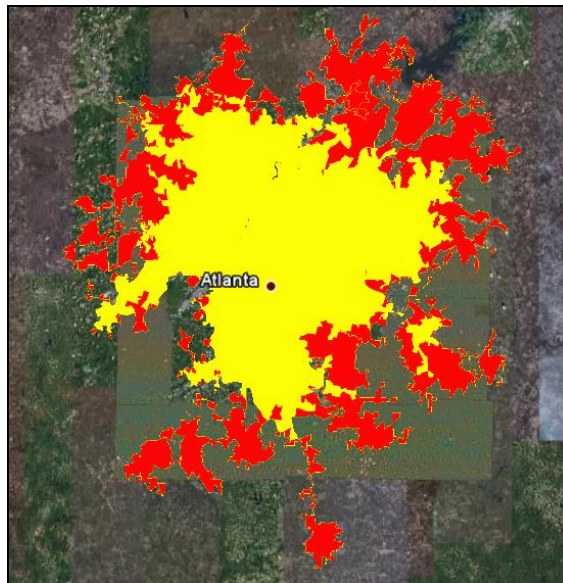
According to the information from the U.S. Census Bureau these are the values for San Francisco--Oakland, CA urbanized area:

Year	Population	Km ²	Dens km ²	Ha/1,000hab	m ² /hab
1990	3,629,864	1,896.97	1,913.51	52.26	522.60
2000	3,782,652*	1,735.45	2,179.59	45.88	458.80

The urbanized area of San Francisco--Oakland, CA has a land consumption of 458.80 m² per 1,000 inhabitants in 2000.

UA	Pop.2000	Km2
San Francisco--Oakland, CA	2.995.769	1107,75
Concord, CA	552.624	457,02
Livermore, CA	75.202	54,06
Half Moon Bay, CA	No data	28,68
Vallejo, CA	158.967	87,94
Total San Francisco--Oakland en el 2000	3.782.562	1.735,45

Figure num. 13: Urban growth of the UA of Atlanta. GA



Source: Elaborated from information of the U.S. Census Bureau, Geography Division, Cartographic Products Management Branch, 2001

According to the information from the U.S. Census Bureau these are the values for Atlanta, GA urbanized area:

Year	Population	Km ²	Dens km ²	Ha/1,000hab	m ² /hab
1990	2,157,344	2,925.55	737.41	135.61	1,356.09
2000	3,499,840	5,083.06	688.53	145.24	1,452.37

The urbanized area of Atlanta, GA has a land consumption of 1,452.38 m² per 1,000 inhabitants in 2000.

4. - The Urban Sprawl in Spain

In Spain there has been an intense increase in the land occupation in the recent decades, due to the highly dynamic process produced by the artificial land uses.

Based on data provided by the CORINE Land Cover project we can say that the artificial land use has increased in Spain between the years 1990 and 2000, 168,460 ha. This represents a 25.14% of the artificial land at the beginning of this decade.

Comparing with other European countries (see table numer 2), Spain is the most dynamic country in urban expansion, ahead of Germany (158,843 ha), France (122,880 ha) and Italy (82,633 ha). In relative terms, is the third country with the most pronounced urban growth in the studied decade, after Portugal (38.64%) and Ireland (30.67%).

Table num. 2: Artificial land use process in Europe (1991-2000)

	Urbanized land 1990	Urbanized land 2.000	Variation 1990-2000	Increment Urbanized land	Population Density 1990	Population Density 2000	Variation Density 90-00	Inc. Pob. / Inc SU
AUSTRIA	340.169	350.581	10.412	3,06%	22,90	23,21	0,31	33,39
BELGIUM	607.568	624.433	16.865	2,78%	16,40	16,38	-0,02	15,73
BULGARIA	542.247	545.315	3.068	0,57%	16,12	14,57	-1,55	-259,85
CZECH Rep.	475.904	480.882	4.978	1,05%	21,66	21,23	-0,43	-19,46
GERMANY	2.738.368	2.897.211	158.843	5,80%	29,18	28,44	-0,74	15,63
DENMARK	298.682	311.548	12.866	4,31%	17,25	17,19	-0,07	15,64
ESTONIA	89.562	91.537	1.975	2,21%	17,32	14,88	-2,43	-95,37
SPAIN	669.993	838.453	168.460	25,14%	58,13	48,59	-9,53	10,67
FRANCE	2.538.988	2.661.868	122.880	4,84%	22,47	22,35	-0,12	19,93
GIBRALTAR	294	313	19	6,46%	91,63	88,33	-3,30	37,32
GREECE	254.733	289.934	35.201	13,82%	40,22	37,98	-2,24	21,78
CROATIA	162.433	166.841	4.408	2,71%	28,00	26,96	-1,04	-11,38
HUNGARY	521.543	529.419	7.876	1,51%	19,84	19,25	-0,59	-19,96
IRELAND	104.435	136.468	32.033	30,67%	33,72	28,30	-5,42	10,62
ITALY	1.348.146	1.430.779	82.633	6,13%	42,14	40,44	-1,70	12,65
LITHUANIA	213.320	213.978	658	0,31%	17,35	16,28	-1,07	-331,38
LUXEMBOURG	20.840	22.610	1.770	8,49%	18,54	19,51	0,97	30,94
LATVIA	85.208	85.325	117	0,14%	31,04	27,68	-3,36	-2422,93
NETHERLANDS	370.704	453.827	83.123	22,42%	40,60	35,29	-5,32	11,57
POLAND	1.026.665	1.041.477	14.812	1,44%	37,25	36,86	-0,40	9,42
PORTUGAL	172.916	239.739	66.823	38,64%	57,72	42,90	-14,82	4,55
ROMANIA	1.488.613	1.495.941	7.328	0,49%	15,57	14,73	-0,84	-155,40
SLOVENIA	54.184	54.446	262	0,48%	35,71	36,50	0,79	199,75
SLOVAKIA	276.169	276.522	353	0,13%	19,12	19,48	0,37	306,21
SAN MARINO	625	698	73	11,68%	39,14	39,41	0,27	41,73
Un. KINGDOM	1.783.646	1.817.051	33.405	1,87%	32,17	32,53	0,36	51,92

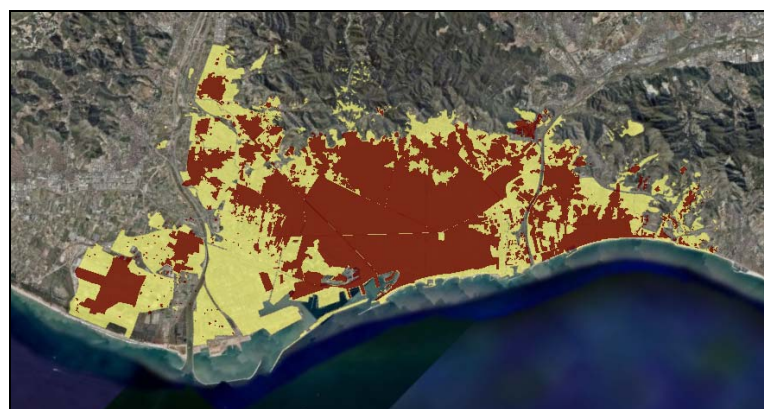
By provinces and autonomous regions, the land consumption has been different. In absolute terms, first of all is the growth in Madrid (29,789 Ha) and Valencia (29,308 ha), well ahead of Andalucia (19,652 Ha), Castilla-Leon (16,635 Ha), Catalonia (13,250 Ha), Castilla-La Mancha (12,834 Ha), Murcia (10,143 ha) and other regions. Meanwhile, by provinces, besides Madrid, Alicante has grown (15,697 Ha), Murcia, Valencia (9,699 ha) and the Balearic Islands (8,140 ha).

In relative terms, the geography of urban growth has affected mainly the region of Murcia (52.63%), Navarre (50.96%), Madrid (49.09%), Valencia (47, 65%) and Balearic Islands (42.75%), compared to Canary Islands (8.43), Catalonia (10.84%) and Galicia (12.66%), which have experienced a content smart growth.

The expansion of urbanization has occurred, if we leave aside the exceptions of Navarre and Madrid, on the Mediterranean coast (with the exception of Catalonia and Andalucia). So out as the provinces with the highest relative growth Alicante (59.90%), Castellon (59.83%), and two districts near Murcia which have grown higher. In the rest of Spain with the cases of Navarre and Madrid already mentioned, there is to highlight the relative growth in some provinces of the two Castillas, like Soria (60.17%), Leon (44.56%), Salamanca (42.22%), Guadalajara (41.60%) and Valladolid (40.68%). It is also noteworthy Ourense, with a relative growth of 42.51%, well above the other provinces of Galicia. The Provinces with less dynamic urban growth in the decade 1990-2000 have been Teruel (5.35%), Palmas (6.29%), Girona (6.84%), Almeria (7.41%), Pontevedra (7.90%), Coruña (8.88%), Guipuzcoa (9.71%) and Barcelona (10.38%).

In particular, Centre of Land Policy and Valuations of the UPC has studied urban growth produced by a group of Spanish urban areas between 1956 and 2006, specifically the urban areas of Barcelona, Madrid, Cordoba, Murcia and the coast of Alicante. In these five areas the population has doubled in the period studied, but more important is that the land consumed by urbanization has grown much more pronounced: a 258%. A total of 673 km² urbanized, of which 320 have been developed in the Madrid area, 126 in the coast of Alicante, 98 in the coast of Murcia, 72 at the Barcelona metropolitan area and 57 km² in the municipality of Cordoba. The consumption of land per 1,000 inhabitants has increased in these five urban "landscapes" from 6.31 ha in 1956 to 9.19 in 1990 and 11.04 in 2006. This has represented a consumption of 12.48 Ha. per 1,000 new residents of land, if we consider only the increase of land use in relation to the balance of population, between 1956 and 1990, and just 6.31ha. up until 1956. This ratio of land consumption increased between 1990 and 2006, reaching 35.37 Ha. per 1,000 new inhabitants.

Figure num. 14: Barcelona urban growth evolution (1956-2006)

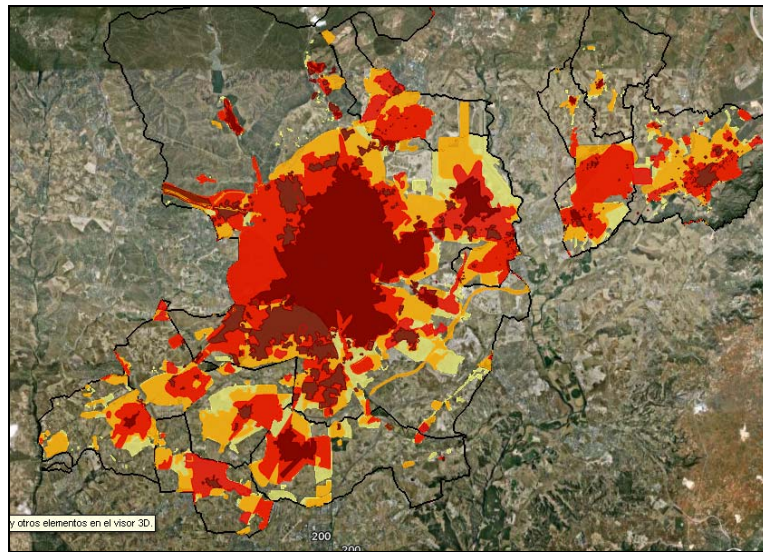


Source:CPSV

I.e. in the last 15 years there has been a relative increase in land consumption (per person per year), three times higher than in the first 35 years studied. The sprawl is, therefore, a pathological condition in contemporary Spain.

For urban areas, the greater exponent of the model which might be called compact city, is the metropolitan area of Barcelona, whose per capita consumption of land has been maintained throughout the past 50 years into moderate level. This has gone from a consumption of 4.84 ha. per 1,000 inhabitants to 6.11 in 2006. More moderate than the increases experienced by the agglomeration of Madrid (10.15 in 2006 versus 7.27 in 1956).

Figure num. 15: Madrid urban growth evolution (1956-1990-2000-2006)



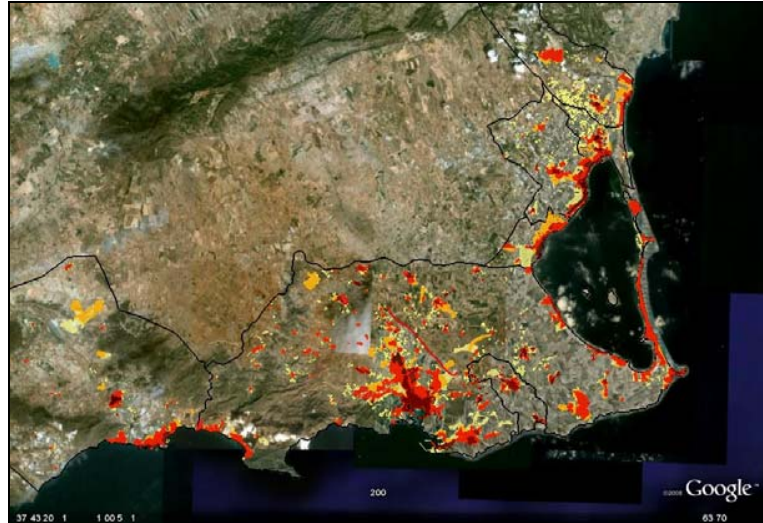
Source: CPSV

Figure num. 16: Coast of Alicante urban growth evolution (1956-1990-2000-2006)



Source: CPSV

Figure num. 17: Coast of Murcia urban growth evolution (1956-1990-2000-2006)



Source: CPSV

Figure num. 18: Cordoba urban growth evolution (1956-1990-2000-2006)



Source: CPSV

In the opposite direction to Barcelona, there is the large sprawl of Cordoba (20.31 versus 4.92), Costa de Alicante (21.61 versus 9.30) and, above all, Murcia (34.16 vs. 9, 16). The urban sprawl spreads primarily by the Mediterranean coast, but is not exclusive monopoly of it, as evidenced by the high sprawl in an intermediate city as Cordoba.

The analysis of the urbanization process occurred in Spain between 1956 and 2006 suggests, therefore, the coexistence of two opposing models of urbanization. On one hand, the maintenance of the compact city, as shown in the example of Barcelona, where the emphasis is on the revitalization of the built up area rather than mass consumption of new land for urbanization. On the other hand, the model of the city

dispersed the paradigmatic examples of the Mediterranean coast, where low density and extensive land use are linked to a speculative real estate development.

Consider two models more precisely:

- In the metropolitan area of Barcelona (RMB), an example of compact city, the urbanized land increased between 1990 and 2000, 5875 ha., (9.9%). As the population increased by just 2.9%, a first approximation would suggest that sprawl has also polluted the most compact in this decade. But if you look at the growth of households, who are the truly applicants for urbanized land, the above conclusion is not so obvious: the main housing units increased by 246,847 between 90 and 00, 18.1% more than the increase in urbanized land. In turn, the workplaces, also applicants of urban space, grew by 16.8%, also more than the artificial land. Therefore, in the period 1990-2000, land-use per household fell from 201.5 m² to 188.6 m². The sprawl was lower in the decade studied in Barcelona.
- Choosing the Alicante province as an example of a dispersed city, the urbanized land grew by 18,198 ha. in this decade, a 64.7% of the existing in 1990. The population increased by 13.1%, household 30.9% and 52.8% of jobs. And the consumption of land per applicant household- employment rose from 360.2 m² in 1990 to 418.7 m² in 2000. As shown, the growth of jobs and homes did not offset the increase in urbanized land, so we can say there was a real process of sprawl in the studied decade. Alicante consumes more than double urban land per household in Barcelona.

Both models, therefore, have distinct behaviors. While in the first model the processes are occurring in order to maintain the compactness as one of the guiding elements of urban policy, in the second, the established goal of maximum development towards an unsustainable urbanization, in which consumption of natural resources as land and energy appears as distinctive features. This dual trend towards maintaining the compactness and to the dispersion of urbanization, characterizes the urbanization process in Spain now.

5. - The Urban Sprawl in Mexico.

In the case of Mexico, as in Spain, is in the second half of last century that cities experienced higher growth, so from 12 metropolitan areas in 1960 (Unikel, 1978) to a total of 56 in 2005, which account for 56% of the national population, 78.6% of the national urban population and 75% of gross domestic product (SEDESOL, CONAPO and INEGI, 2008).

Table num. 3: Metropolitan Areas Indicators in Mexico (1960-2005)

Indicator	1960	1980	1990	2000	2005
Metropolitan areas	12	26	37	55	
Delegations and metropolitan Municipalities	64	131	155	309	345
Federative entities	14	20	26	29	29
Total population (million)	9.0	26.1	31.5	51.5	57.9
Percentage of national population	25.6	39.1	38.8	52.8	56.0
Percentage of urban population	66.3	71.1	67.5	77.3	78.6

Source: *Delimitation of the metropolitan areas in Mexico 2005. SEDESOL, CONAPO and INEGI, 2008.*

Our analysis is focused in the urban sprawl in the nine metropolitan areas over one million inhabitants in 2000: Valle de Mexico, Guadalajara, Monterrey, Puebla-Tlaxcala, Toluca, Tijuana, Leon, Juarez and La Laguna. These nine metropolitan areas concentrated a 35.4% of the total national population.

Table num. 4: Population Growth in MA (1990-2005)

Rango	Zonas metropolitanas	Población				Tasa de crecimiento medio anual (%)		
		1990	1995	2000	2005	1990-1995	1995-2000	2000-2005
Total nacional		81 240 646	91 150 290	97 403 412	103 262 088	2.1	1.6	1.0
Total zonas metropolitanas	56	42 651 959	49 119 722	53 292 296	57 878 905	2.5	1.9	1.5
1 000 000 o más hab.	3	27 480 970	31 414 613	34 089 175	36 631 562	2.4	1.9	1.3
500 000 a 999 999 hab.	10	5 110 630	10 000 247	12 022 172	13 450 460	3.2	2.0	2.0
Menos de 500 000 hab.	29	5 054 354	6 016 862	7 261 946	7 020 883	2.4	1.5	1.3
Resto del país		38 691 686	42 038 568	44 190 119	45 381 183	1.5	1.2	0.5

Source: *Delimitation of the metropolitan areas in Mexico 2005. SEDESOL, CONAPO and INEGI, 2008.*

In absolute growth in the five years from 2000 to 2005, the greatest increase in consumption of urban land has been the metropolitan area of Puebla-Tlaxcala (17,448.61 ha.), followed by the metropolitan area Valle de Mexico (10,997 ha.).

It is relevant, that especially in the case of Puebla-Tlaxcala, and the Metropolitan Area of Mexico City, in addition to the sprawl, these areas have had a "metropolitanización". That means, metropolitan area Puebla-Tlaxcala has joined 15 municipalities in the studied time and ZM Valle de Mexico has added to its surface 24 municipalities of Estado de Mexico.

Monterrey has filed a consumption of land of 7,611.62 ha in the same time and Guadalajara 4,830.89 ha. It also highlighted the growth in the Tijuana area (3,887.66 ha). The cities with less consumption of land of the nine MA's were Toluca (2633.25), La Laguna (2988.37 has.), Leon (3075.78) and Juarez (3134.55).

Figures num. 19&20: Leon and De la Laguna urban growth (2000-2005)

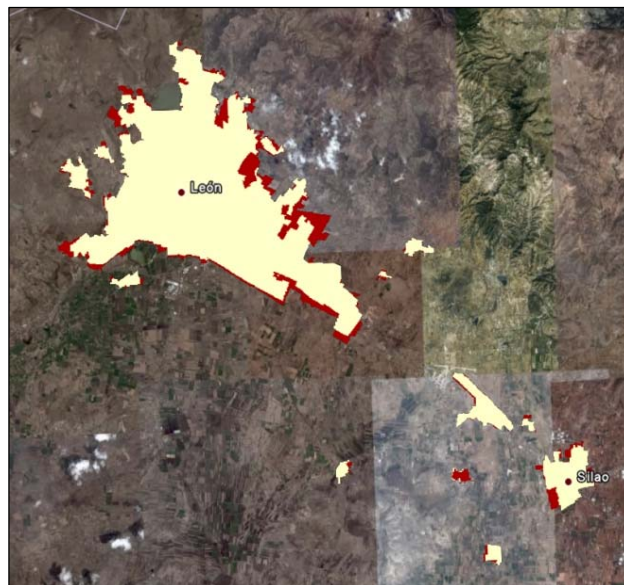
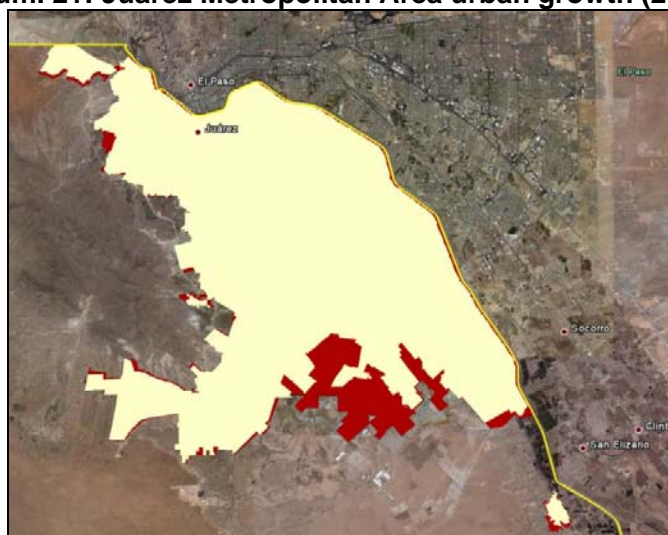


Table num. 5: Population & Land Consumption in MA (2000-2005)

Metropolitan Area	POB_00	POB_05	DIF. POB	SUE_URB_00	SUE_URB_05	DIF. SU	Increase
ZM De la Laguna	1,007,291	1,110,890	103,599	21,226.99	24,215.36	2,988.37	14.08%
ZM Guadalajara	3,699,136	4,095,853	396,717	50,067.80	54,898.69	4,830.89	9.65%
ZM Juarez	1,218,817	1,313,338	94,521	27,334.53	30,469.08	3,134.55	11.47%
ZM Leon	1,269,179	1,425,210	156,031	16,113.27	19,189.05	3,075.78	19.09%
ZM Monterrey	3,299,302	3,738,077	438,775	63,654.65	71,266.27	7,611.62	11.96%
ZM Puebla-Tlaxcala	1,885,321	2,470,206	584,885	49,834.05	67,282.66	17,448.61	35.01%
ZM Tijuana	1,274,240	1,575,026	300,786	26,879.79	30,767.44	3,887.66	14.46%
ZM Toluca	1,451,801	1,633,052	181,251	33,989.83	36,623.07	2,633.25	7.75%
ZM Valle de Mexico	18,396,677	19,239,910	843,233	211,616.51	222,613.51	10,997.00	5.20%

In relative terms, the results vary. The metropolitan area with higher urban growth is again, Puebla-Tlaxcala (35.01%), followed by Leon (19.09%), Tijuana (14.46%) and La Laguna (14.08%). In a second group of high growth were the metropolitan areas of Monterrey (11.96%), Juarez (11.47%) and Guadalajara (9.65%). Finally the regions that have lower urbanization are Toluca (7.75%) and the metropolitan area Valle de Mexico (5.20%).

Figure num. 21: Juarez Metropolitan Area urban growth (2000-2005)



This is explained by the different stages of transformation during the “life” of the cities and their municipalities. On one side we have cities with high global population growth, resulting in high demands for land for housing and new urban centers for trade and services. Such is the case of metropolitan areas of Juarez. On the other side Puebla-Tlaxcala, where the highest growth occurred in the periphery,

like in Juarez (14.6%) and San Andres Cholula (6.5%), but the urban growth of this metropolitan area is due too and over all, to the incorporation of 15 municipalities that were not part of the metropolis in 2000. That does explain the high consumption of land in this short period of time.

Figure num. 22: Puebla-Tlaxcala Metropolitan Area urban growth (2000-2005)

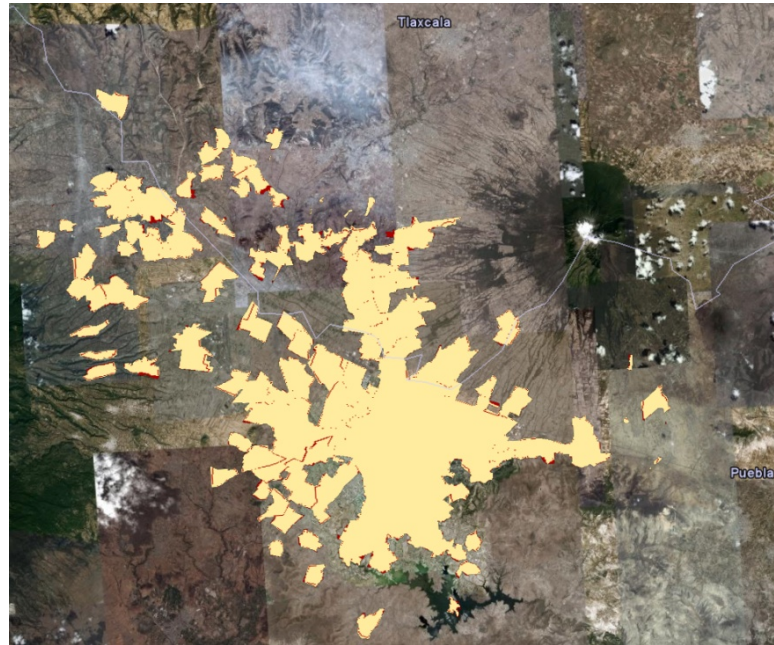


Figure num. 23: Guadalajara Metropolitan Area urban growth (2000-2005)

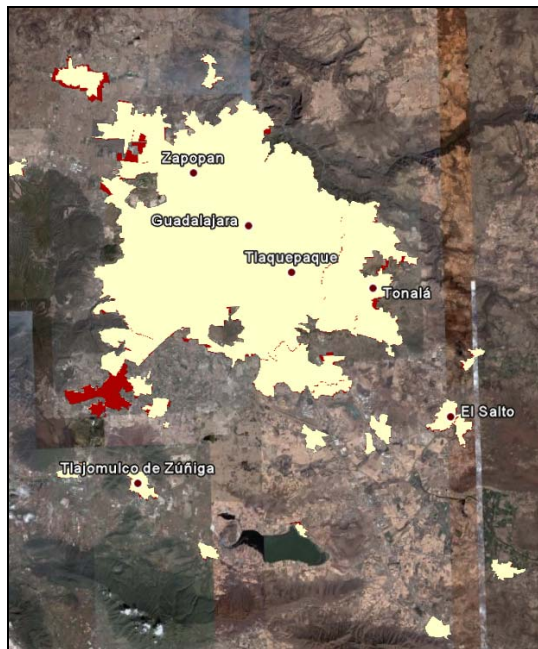
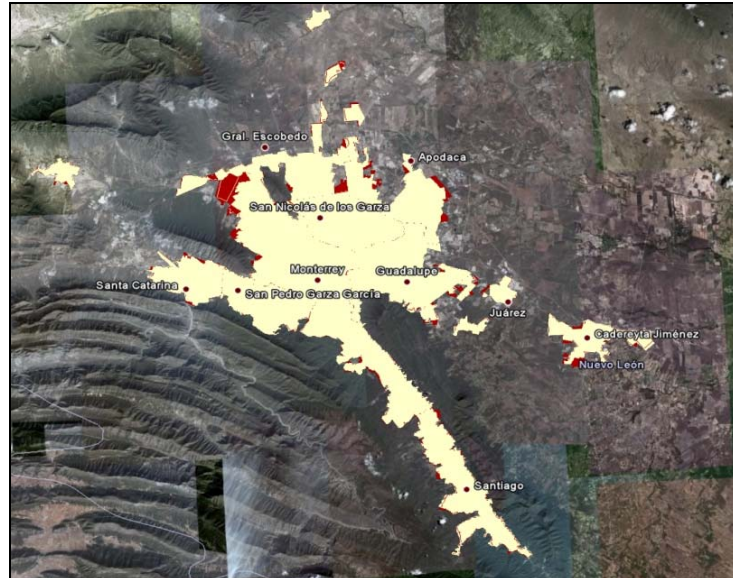


Figure num. 24: Monterrey Metropolitan Area urban growth (2000-2005)



Also, the three largest metropolis of the country are in Absolute Relative Phase of Decentralization. In the case of Guadalajara, with high growth rates in Tlajomulco de Zuñiga (10.8%) and El Salto (5.2%) and negative growth rates in the central city of Guadalajara, losing in absolute numbers, 45 thousand inhabitants.

The case of the ZM Monterrey with high population growth in Garcia (10.7%), Apodaca (7.1%) and Salinas Victoria (6.9%) and loss of population in the San Nicolas de Garza (20 thousand inhabitants).

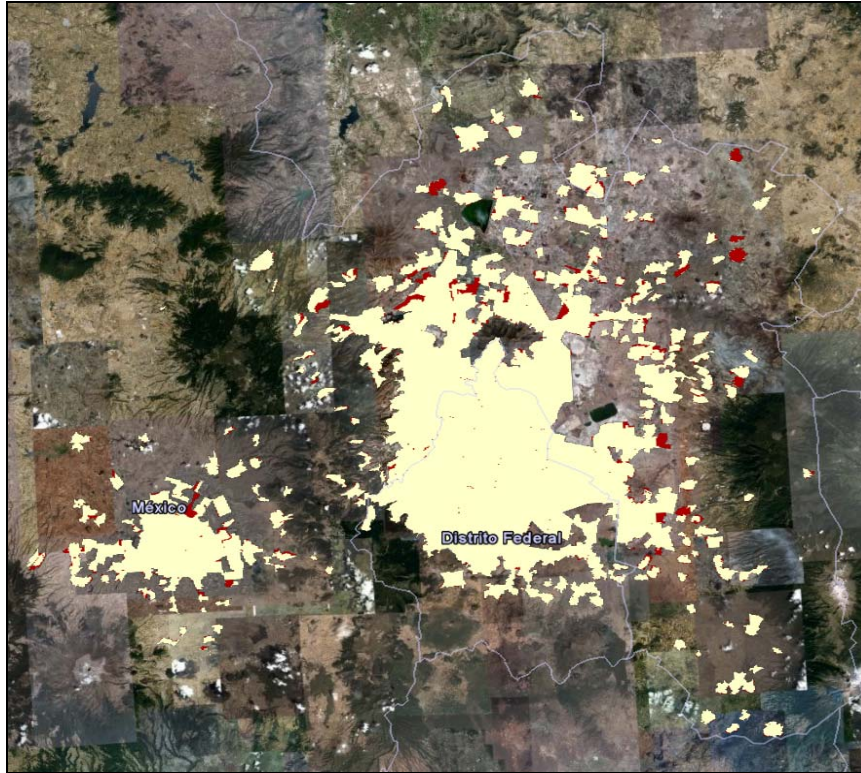
Finally, the case of the Metropolitan Zone Valle de Mexico, won population in Chicoloapan (14.8%), Tecamac (8.2%), Huehuetoca (8.1%), Cuautitlán (6.8%), Ixtapaluca (6.7%) and Tezoyuca (5.4 %). The central municipalities and delegations, in absolute terms, have the greatest losses, in which Nezahualcóyotl highlights (with a loss of 85 thousand inhabitants), Gustavo A. Madero (42 mil), Tlalnepantla (38 mil), Naucalpan (37 thousand), Iztacalco (16 thousand), Azcapotzalco (16 thousand) Venustiano Carranza (15 thousand) and Coyoacán (12 thousand).

This phenomenon of urbanization has resulted in at least three metropolitan areas which concentrated over one quarter of the total inhabitants of Mexico.

As already mentioned, the urban sprawl has increase in the last decades of the last century, and Mexico was no exception. It is also important to mention, the momentum of the housing finance sector in the beginning of this century. In this sense, the INFONAVIT (main source for financing housing) granted in the period 2000 to 2007 136% more than in the previous 27 years of existence of the Institute. This resulted in 2'593,321 housing credits.

However, the growth of this sector has been directed to developments of single-family homes, and low and medium density of vertical and horizontal buildings, and always auto-oriented developments.

Figure num. 25: Toluca and Valle de Mexico (DF) Metropolitan Areas (2000-2005)



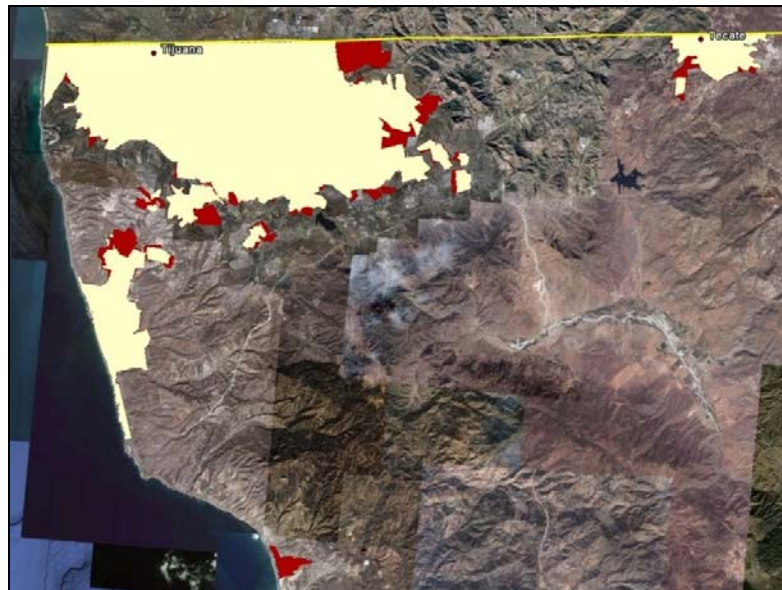
The metropolitan area who sprawls more in the period 2000-2005 is Juarez, with a consumption of 33.16 hectares for every thousand inhabitants. And the opposite, the MA who sprawls less is Guadalajara with 12.17 hectares per thousand inhabitants and Tijuana with 12.92.

If we analyze the average of urban densities of the nine metropolitan areas, the tendency to sprawl can , again, be observed. All the MA's have declined in density in this five years, with the exception of Tijuana, whose density has increased slightly from 83.9 inhabitants/ha in 2000 to 85.8 inhabitants/ha in 2005.

Table num. 6: Urban Density in MA (2000-2005)

Metropolitan Area	DMU_00	DMU_05
ZM De la Laguna	87.8	83.3
ZM Guadalajara	137.6	133.2
ZM Juarez	91.1	76.9
ZM Leon	142.2	128.9
ZM Monterrey	120.1	116.6
ZM Puebla-Tlaxcala	93.9	82.5
ZM Tijuana	83.9	85.8
ZM Toluca	67.1	66.8
ZM Valle de Mexico	170.7	166

Figure num. 26: Tijuana Urban Growth (2000-2005)



The sprawl in Mexico is present in all metropolitan areas studied, as a result not only of the high mobility obtained with the generalized use of the car, but also by socio-economic issues.

Among them, there is the preference of developers to locate new housing of low and medium density in the suburbs of the city. This is due mainly to the costs of land. It seems more profitable to buy land at low cost, which is classified as land for future growth or land even outside the city limits, and develop this land bringing high demands of roads, transportation and services, that will be difficult to absorb by governments, thus, delaying the consolidation of the city and the development of urban services such as recreation, education, sports or health.

This city model, also generated by the influence of the "American way of life" in Mexico, leads to an unsustainable city, as the dispersion generates environmental, social and economic impacts. Example of this, the high energy and land consumption, the decrease in leisure-time, that redounds in a lower quality of life, and a high demand for urban services and infrastructure.

Another big problem generated by the diffuse city is the public transport, as it requires a large investment to reach all areas of the city, so people must solve their problem of mobility with the use of private cars.

Also, the dispersed city leads in many cases to lack of identity and insecurity, which results in the fragmentation of the city. Such is the case of the "gated communities" in all Mexican metropolitan areas, which are built for people with middle and high income and promotes the privatization of public space, in search of safety and quality of public space (neighborhood park and playground basically), excluding the rest of the citizens and without "looking out" and building a city that makes no city.

However, the urban policy in Mexico in the last years is about making cities with sustainable development and to increment the urban densities.

5. Spain and Mexico, two opposite models?

Spain and Mexico (New Spain in the colonial language) took the 8th and 9th place in the ranking of world economies. There are traits, therefore, that make them similar, but also elements that differentiate them. The per capita income, as the geography and history of both countries make them different.

But talking about the urban sprawl is not very different. Contrary to the hypothesis of income level, Mexico seems to sprawl more. However the trend seems to be to increase greatly in Spain rather than in Mexico.

Spain, until now characterized by a compact urbanization, has denoted worrisome trends toward sprawl in recent decades. Between the 90's and 2000 was the European country with the highest consumption of land.

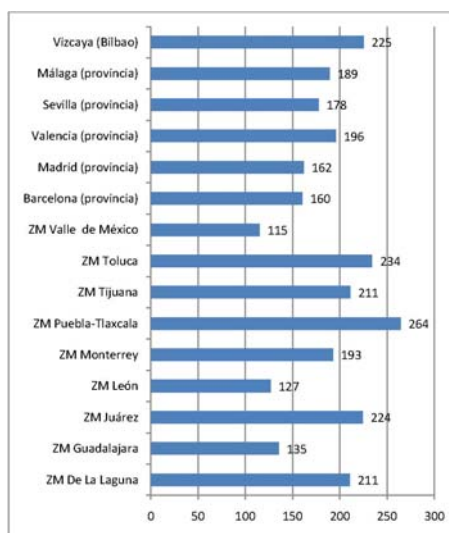
At detail, we can find that there are two contradictory phenomena: the Barcelona and Bilbao "model", in which we find the regeneration of the existing urban land and a non-extensive growth, compared to the Mediterranean coast "model", characterized by the high dispersion of urbanization.

Diagnosis of Mexico in the years 2000 to 2005 suggests a process of fewer sprawls than in Spain. On the density of population (or per capita consumption of land), the Mexican AM seem denser than Spanish Metropolitan Provinces. Especially in the metropolitan areas of Valle de Mexico, Leon and Guadalajara (see graphic number 3).

Table num. 7: Population and Urban Land in Mexico and Spain (2000)

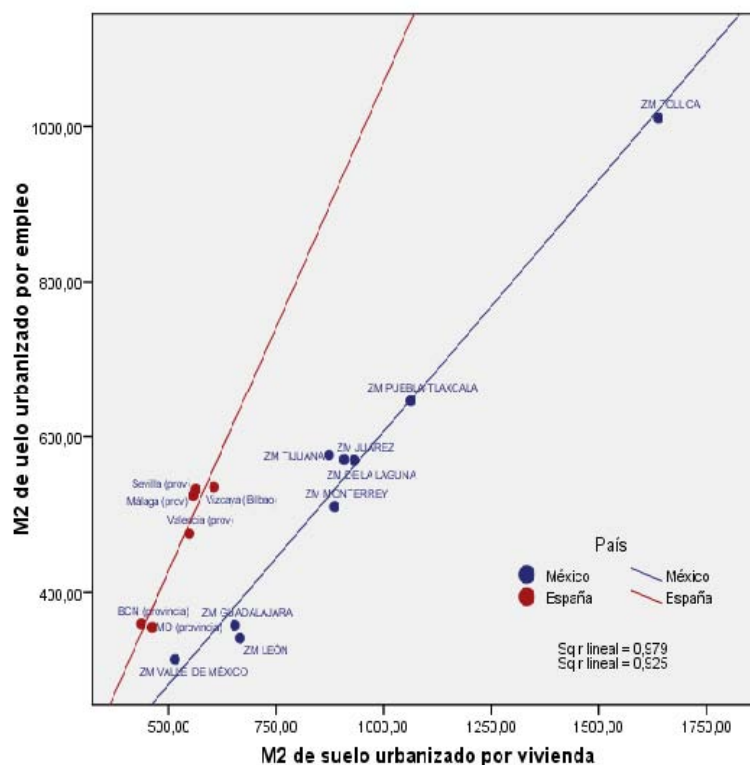
Metropolitan Area		Pob_00	Sue_Urb_00
México	ZM De La Laguna	1007291	21226.99
	ZM Guadalajara	3699136	50067.80
	ZM Juárez	1218817	27334.53
	ZM León	1269179	16113.27
	ZM Monterrey	3299302	63654.65
	ZM Puebla-laxcala	1885321	49834.05
	TZM Tijuana	1274240	26879.79
	ZM Toluca	1451801	33989.83
	ZM Valle de Mexico	18396677	211616.51
Spain	Barcelona (province)	4804606	76952.13
	Madrid (province)	5372433	86860.43
	Valencia (province)	2227170	43574.87
	Sevilla (province)	1747441	31022.83
	Málaga (province)	1302240	24633.04
	Vizcaya (Bilbao)	857565	19313.34

Graphic num. 4: Land Consumption (square meters per inhabitant) in Spain and Mexico (2000)



On another hand, if we look to the "real plaintiffs": the consumption of land for housing and employment (lesser extent) suggests that there is more sprawl in Mexico. As we can see in graphic number 5, in Mexico there is a greater sprawl of housing and jobs than in Spain.

Graphic num. 5: Urban Land per home and employment in Spain and Mexico (2000)



Finally, we can say that it is necessary to assess the convenience of designing a compact, denser and sustainable city in order to create cities that make city and, thus, improve the quality of life.

Even though there is too much to study and analyze about the urban sprawl process in both countries, we can say that the regeneration, land recycling, compact and integrated developments, may be the way forward.

Bibliography

- DEMATTEIS, Giuseppe. *Suburbanización y periurbanización. Ciudades anglosajonas y ciudades latinas*. Dentro de *La ciudad dispersa*. Suburbanización y nuevas periferias. Barcelona: Centro de Cultura Contemporánea de Barcelona, 1998.
- EWING, R., PENDALL, R. & CHEN, D. *Measuring Sprawl and Its Impact*, Smart Growth America, 2002.
- MONCLÚS, Javier. *Estrategias urbanísticas y crecimiento suburbano en las ciudades españolas: el caso de Barcelona*. Dentro de *La ciudad dispersa*. Suburbanización y nuevas periferias. Barcelona: Centro de Cultura Contemporánea de Barcelona, 1998.
- SALINGAROS, Nikos. *La ciudad compacta sustituye a la dispersión*. Dentro de *La ciudad de baja densidad. Lógicas, gestión y contención*. Por Francesco Indovina. Diputació de Barcelona, España: 2007.
- COUCH y Karecha. *Controlling urban sprawl: some experiences from Liverpool*. Published in *Cities*, [Volumen 23, No. 5](#), 353-363. Inglaterra, Octubre 2006.
- GALSTER, George, Royce Hanson y Michael R. Ratcliffe. *Wrestling sprawl to the ground: Defining and measuring an elusive concept*. *Housing Policy Debate*, Volumen 12, Number 4. Fannie Mae Foundation, USA, 2001.
- INDOVINA, Francesco. *Algunas consideraciones sobre la ciudad difusa*. Dentro de *Doc. Anál. Geogr.* Número 33. Venecia Italia, 1998.
- MARMOLEJO, Carlos y Mariana Stallbohm. *Paisajes en transición, la reconfiguración espacial del uso del suelo en la RMB: ¿Hacia un cambio de paradigma urbanístico?*. Barcelona, España, 2008.
- SCHNEIDER, Annemarie y Curtis Woodcock, *Compact, Dispersed, Fragmented, Extensive? A Comparison of Urban Growth in Twenty-five Global Cities using Remotely Sensed Data, Pattern Metrics and Census Information*. Published in *Urban Studies*, Vol. 45, No. 3, 659, Inglaterra, march 2008.
- SEDESOL, CONAPO e INEGI, *Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2005*; INEGI, Edición 2008.
- TSAI, Yu Hsin. *Quantifying Urban Form: Compactness versus 'Sprawl'*. Published in *Urban Studies*. Vol. 42, No. 1, 141–161, England, January 2005.

URBAN DETECTION, DELIMITATION AND MORPHOLOGY: COMPARATIVE ANALYSIS OF SELECTIVE “MEGACITIES”

CPSV, Centre of Land Policy and Valuations, Polytechnic University of Catalonia (UPC), Av. Diagonal 649, 08028

Commission VII, WG VII/6

KEY WORDS: Urban Sprawl, Mega-Cities, Artificialized Land, Land Use, Landsat

ABSTRACT:

Over the last 50 years, the world has faced an impressive growth of urban population. The walled city, close to the outside, an “island” for economic activities and population density within the rural land, has led to the spread of urban life and urban networks in almost all the territory. There was, as said Margalef (1999), “a topological inversion of the landscape”. The “urban” has gone from being an island in the ocean of rural land vastness, to represent the totality of the space in which are inserted natural and rural “systems”. New phenomena such as the fall of the fordism model of production, the spread of urbanization known as urban sprawl, and the change of scale of the metropolis, covering increasingly large regions, called “megalopolis” (Gottmann, 1961), have characterized the century. However there are no rigorous databases capable of measuring and evaluating the phenomenon of megacities and in general the process of urbanization in the contemporary world. The aim of this paper is to detect, identify and analyze the morphology of the megacities through remote sensing instruments as well as various indicators of landscape. To understand the structure of these heterogeneous landscapes called megacities, land consumption and spatial complexity needs to be quantified accurately. Remote sensing might be helpful in evaluating how the different land covers shape urban megaregions. The morphological landscape analysis allows establishing the analogies and the differences between patterns of cities and studying the symmetry, growth direction, linearity, complexity and compactness of the urban form. The main objective of this paper is to develop a new methodology to detect urbanized land of some megacities around the world (Tokyo, Mexico, Chicago, New York, London, Moscow, Sao Paulo and Shanghai) using Landsat 7 images.

1. INTRODUCTION

1.1 Overview and motivations

The second half of the twentieth century was undoubtedly the time when there has been a faster urban growth worldwide. The urban population has grown from 750 million in 1950 to 2860 million in 2000, and now represents over 50% of world population. The expansion of the cities had its origin in the model of suburban life began with the generalized use of the car. A lifestyle based on the “American Dream: one single family-home, and one (or more) car (s)”, that means mobility and homeownership. However it has been since the late 70s when it has had a more dramatic development, as a consequence of the crisis of metropolitan areas linked to what is called Post-Fordism economy and some authors have characterized as counter-urbanization (Berry) desurbanization (Berg), edge-cities (Garreau) metapolis (Asher) or diffuse city (Indovina). Despite the diversity of urban development, the increasing consumption of land, the excessive use of land as a scarce resource, it is a constant in the urbanization process in the early twenty-first century.

In this sense, the urban sprawl, the process of gradual spread out of urbanization has become a worldwide phenomenon, especially in the developed world and its environs. The growing consumption of land, as a result of the extension of highway networks in urban areas, seems to have become unstoppable and affects virtually all the contemporary metropolis worldwide. The literature has discussed deeply the concept of sprawl. Some of these concepts are: Sprawl is the spreading out of a city and its suburbs over more and more rural land at the periphery of an

urban area. This involves the conversion of open space (rural land) into built-up, developed land over time; “Our method of defining sprawl is to characterize it simply in terms of land resources consumed to accommodate new urbanization. If land is being consumed at a faster rate than population growth, then a metropolitan area can be characterized as “sprawling.” If population is growing more rapidly than land is being consumed for urbanization, then a metropolitan area can be characterized as “densifying.”” (Fulton et al. 2001); or “The literature on urban sprawl confuses causes, consequences, and conditions. This article presents a conceptual definition of sprawl based on eight distinct dimensions of land use patterns: density, continuity, concentration, clustering, centrality, nuclearity, mixed uses, and proximity. Sprawl is defined as a condition of land use that is represented by low values on one or more of these dimensions.” (Galster et. al., 2001). However there is no consensus in defining urban sprawl, because of its complexity and multidimensional character.

Thereby, the research uses the remote sensing to identify, to analyse and to measure the urban sprawl in the selected megacities, using the LandSat7 imagery, with the aim to compare the different morphologies and to understand the urbanization process of the metropolitan areas, and then proceed to get indicators that explain this global phenomenon objectively and accurately.

1.2 General objectives

The overall objective of the paper is to develop an efficient technique of remote sensing for monitoring the contemporary process of urban sprawl. More specifically, it seeks to develop a

fast and suitable system to detect and accurately measure the artificialized land of the great mega-cities through the use of low-resolution satellite images (Landsat 7).

1.3 Specific objectives

The specific objectives can be summarized as follows:

- The first aim of this paper is to delimitate the study area of the selected cities. A “window” of 45,000 square kilometres of each megacity will be studied in a detailed level.
- The second aim of this paper is the classification and interpretation of archived satellite images for the identification of land covers. Rural and artificialized land (including roads and urban green) will be classified. Urban texture analysis plays an important role in image segmentation and object recognition for improving objects extraction and classification.
- Another goal of the paper is to delimitate, measure and understand the urban continuum inside and outside the administrative boundaries. The morphological analysis of conurbation will serve to identify the core city from the surrounding countryside and to compare the different structures of the studied megacities.
- Comparison between the different models of urbanization. This stage is directed towards analyzing from a morphological perspective the process of spatial occupation of the megacities. Landscape indicators will be used to define the pattern of urbanization of each megacity. Urban sprawl, monocentrism vs. polycentrism, fragmentation and others aspects of the urban structure will be studied to compare the selected megacities.

Finally, our aim in this paper is to generate an indicator to present geometric properties and intrinsic morphology of urban settlements based on their characteristics and fundamental forms, and to develop a strategic urban model that guides sustainable development of selective “Megacities”, using innovative technologies such as Remote Sensing, Geographic Information Systems (GIS) and WEBGIS.

2. METHODOLOGY

2.1 Analysed data

Data sources are based on satellite images from Landsat 7 ETM+ and the GLS (Global Land Survey) 2000 Collection brought together, which provides multispectral images of 30 meters, plus a 15 m panchromatic image, in Geotif format.

2.2 Land Use Classification Efficiency According to Per-Pixel Based Approaches

The complexity of image classification techniques can range from the use of a simple threshold value for a simple spectral band to complex statistically based decision rules that operate on multivariate data. Classification approaches can be implemented to classify the total scene content into a limited number of major classes or can also be implemented to distinguish one or more specific classes of terrain (such as water bodies, artificialized land or other types). Pixel-based approaches have been developed and are widely used in remote sensing image processing and classification. Supervised

classifications, such as Maximum Likelihood, Minimum Distance, Mahalanobis Distance, and Parallelepiped Classification, have been used.

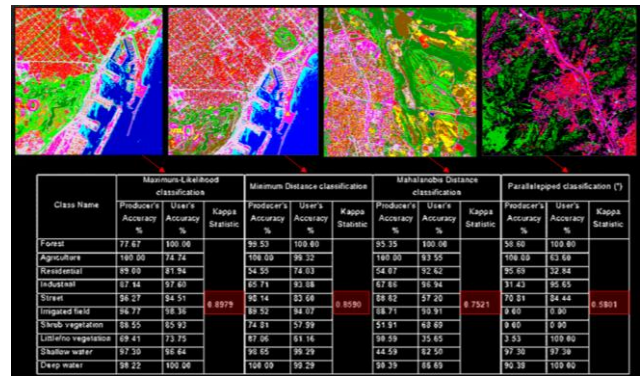


Figure 1. Per pixel classification approaches

A number of issues have to be taken into consideration when selecting a suitable classifier:

- Different training strategies may produce different classifications results. The training size, the image resolution, and the degree of autocorrelation inherited in each class influenced the performance of different training strategies.
- The size of the training set is important in influencing supervised classification results when the single-pixel training strategy is applied. The number of pixels required to extract training statistics vary for different classes with different spatial structures. For spectrally homogeneous classes, a small number of training pixels may be sufficient. But for spatially heterogeneous classes, a relative large number of pixels are likely to be required in order to extract representative statistics.
- Single-pixel may be implemented to avoid autocorrelation effects, but not always lead to more accurate classification results than other training approaches involving contiguous pixel selection. For spectrally homogeneous classes, the single-pixel training approach may be preferred. But for spatially heterogeneous classes, small-block training has the advantage of easily capturing spectral and spatial information and saves the analyst interaction time.
- Using an overlay tools as an additional process increases the classification accuracy for all classes and tends to reduce the differences of classification results caused by training strategies at all levels when the pixel-base classifier is used.

Among the most frequently used classification algorithms, the maximum likelihood method is generally preferred (Campbell 1998, Avery & Berlin, 1992). It becomes the most commonly used classifier due to its higher accuracy levels. It is generally accepted that this is the more accurate form of classification if compare to parallelepiped and minimum distance algorithms (Curran 1985). In our experience, the overlay of maximum likelihood and minimum distance classifications allow good performance in per pixel-analysis.

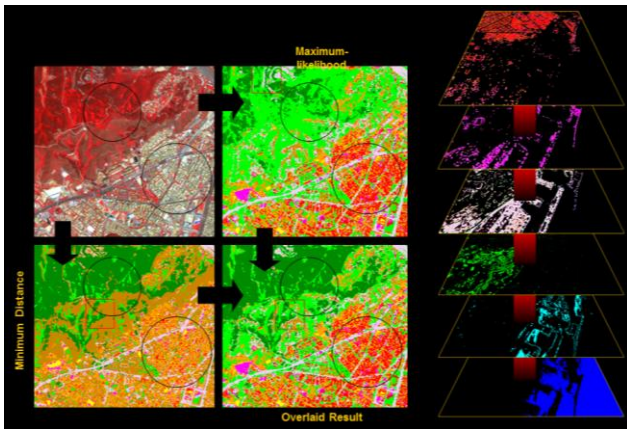


Figure 2. Overlay classifications

2.3 Texture Analysis to Improve Per-Pixel Image Classification

Nevertheless, classification errors caused by similar reflection (wave length) dramatically affect the separation between built-form and non-built-form areas. It is rare that the classification accuracy greater than 80% could be achieved by using per-pixel classification algorithms (Atkinson and Tate, 1999). In this context, texture analysis can be a good indicator of the presence of buildings and other objects and they are usually easier to detect than the often-complex multi-textured objects which cause them.

In general, texture analysis approaches are used for recognition and distinction of different spatial characteristics of spatial arrangement and frequency of tonal variation related to patterns or phenomena contained in the digital image or the sensor image. In this sense, texture image analysis is one of useful approaches for urban class extraction and separation (Wang and Hanson 2001, Herold, 2003). Zhang (1999), for example, combined multi-spectral classification and texture filtering for building detection in the urban area, and suggested that this approach increases classification accuracy.

Previous works related to texture image have been carried out into three categories: development and improvement of texture extraction algorithms, comparison between texture extraction schemes, and domain application of extracted texture images. These types of researches are similar to other cases in digital image processing, such as image classification. The main methodologies applied are those related to structural, statistical, stochastic and space-frequency models (Tuceryan & Jain 1998).

Statistical methods analyse the spatial distribution of grey values by computing local features at each point in the image and deriving a set of statistics from the distributions of the local features (Ojala & Pietikäinen 2004). Statistical methods can be classified into first-order (one pixel), second-order (two pixels) and higher-order (three or more pixels). Most frequently used texture analysis is Grey Level Co-occurrence Matrix (GLCM) based on second order statistic.

Our research group has developed extensive experience in the use of per pixel and texture analysis in classification of high resolution imagery (Alhaddad, Burns & Roca, 2007). The study of historical images for monitoring urban sprawl (Alhaddad, Roca & Burns, 2009) has led us to use GeoGraphic Imager

plugin, which allows to georeference old images, and, thus, exploit the capabilities of Photoshop software for image processing (Morgan & Coops, 2010; Yang, 2009; Gamache, 2007; Gleason, 2007; Peterson & Kelso, 2004).

This methodology, using low resolution images (as Landsat 7) to detect artificialized land of megacities can be summarized as follows:

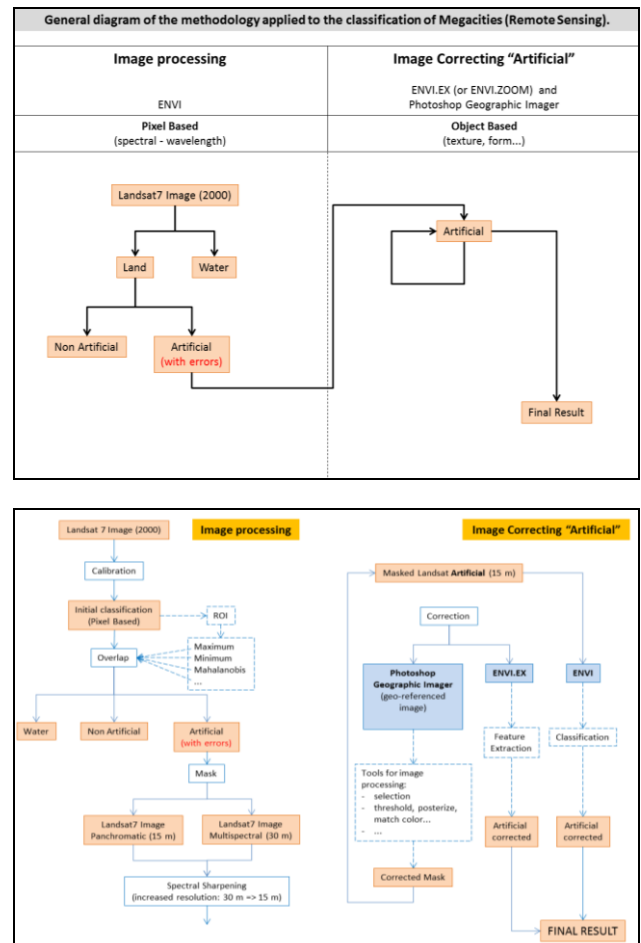


Figure 3. General Diagram of the Methodology

3. ANALYSIS OF THE RESULTS

3.1 Built-up Land of Mega-Cities

The above methodology, applied to the eight mega-cities (Tokyo, Mexico, Chicago, Moscow, New York, London, Sao Paulo and Shanghai), allows the delineation of the built up land, as shown in the fig. 4, referring to the pre-established windows of 45,000 sq. km.

The built-up area overcomes the 5,000 sq. km in New York, Tokyo and Chicago. In London, Sao Paulo and Shanghai is between 4,000 and 5,000 sq. km. Finally, Moscow and overall Mexico City has a lower built-up area, 3,000 and 2,000 sq. km respectively. The above results suggest, if they are correlated with information on population and economic structure of those metropolises, a higher level of urban sprawl in the USA and Japan than in Europe and Latin-speaking America.

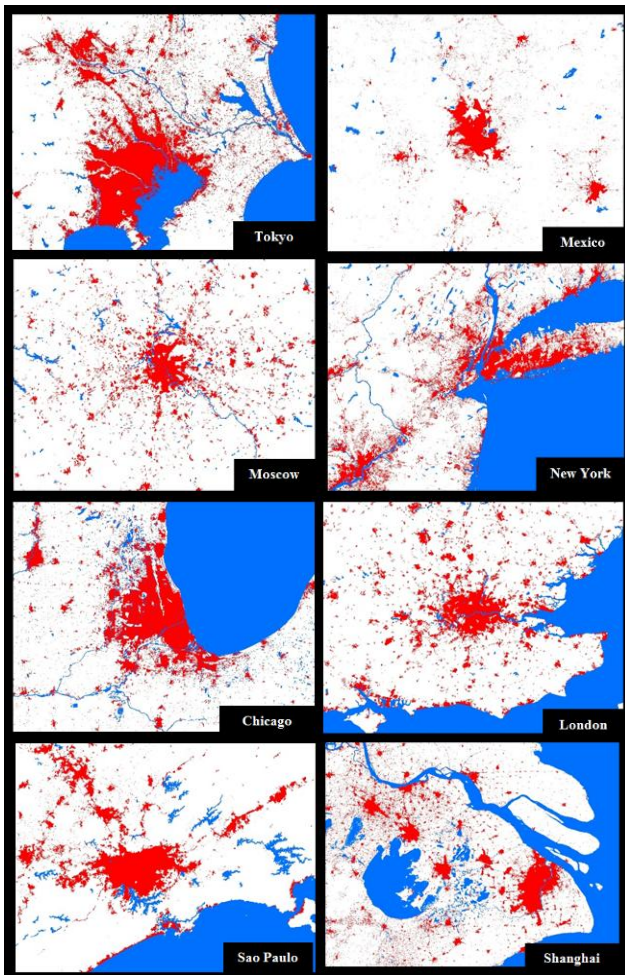


Figure 4. Mega-Cities Built up Area

The different patterns of urbanization in the selected mega-cities, especially those related with urban sprawl, in addition to the low resolution of the satellite images used (30 m pixel), cannot guarantee us optimum results regarding the detection of the built up area. It is necessary a further development to measure accurately the urban sprawl on a global scale.

3.2 From “built-up” to “artificialized” land

The development characterized with a scattered urbanization, especially when it is surrounded by urban green areas, can hardly be detected with accuracy, because of the lack of high resolution sensors. So, it is necessary to move on from the built up area to the concept of *artificialized land*, which is the land impacted by the urbanization. This concept seems to be better to understand and explain the magnitude of the process of urban sprawl in the contemporary metropolises.

For this purpose, once obtained the final dataset of built-up areas, we aim to measure the degree of physical continuity of urban settlements grouping the patches of the built up areas between buffers of 100 meters. That built-up land, grouped at 200 meters and aggregated in continuous urbanization, offers a relatively accurate image of artificialized land of the mega-cities, such as shows the accuracy analysis that has been done. It also allows the identification of the central continuum of each window, and helps to understand the structure and morphology of the studied world capitals.

Mega-Cities	Built-up Area	Aggregate (Total)	Aggregate (Central)
Chicago	5.170,86	6.562,34	4.847,75
Tokyo	5.257,05	7.481,97	4.904,78
México DF	2.042,84	4.562,39	1.296,67
London	4.433,02	6.330,16	2.383,10
New York	5.022,22	9.104,47	6.913,74
Sao Paulo	4.368,92	4.997,80	2.265,37
Moscow	3.322,68	4.265,05	1.354,79
Shanghai	4.470,51	7.287,49	1.967,79

Table 1. Land Consumption

Table 1 shows, the total of the artificialized land and the built up area for each window of the metropolises, and also the artificialized land for the central continuum of each metropolis. New York stands out with more than 9,000 sq. km of urbanized land, followed by Tokyo, Shanghai, Chicago and London, as the metropolis with highest level of land consumption. In contrast, Moscow, Mexico City and Sao Paulo have lower levels of land consumption, and thus of sprawl.

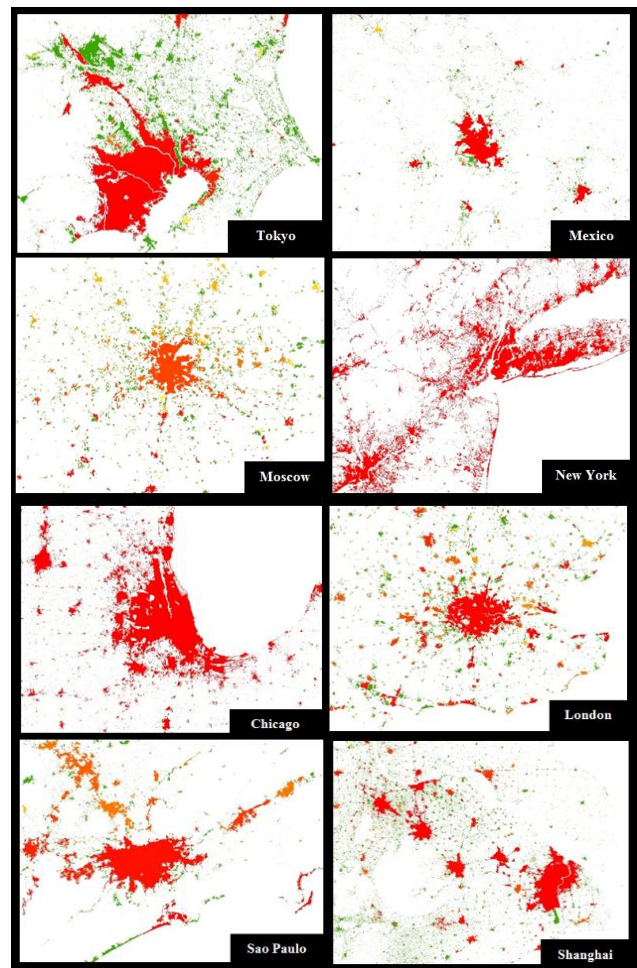


Figure 5. Central Continuum of Mega-Cities

3.1 Sprawl and Landscape Indicators

The results obtained allow studying comparatively, in addition to the degree of land consumption, the morphology of the urbanization of the world's megacities. The subdivision of the windows of 45,000 sq. km in a grid composed of cells of one sq. km, enables the construction of various landscape indicators, such as the artificialized Index (the percentage of total area occupied by urbanized land), the fractal dimension, the dominance index, the entropy or the MECI of each cell. These indicators allow us to understand the similarities and differences between landscapes of different mega-cities, and then characterize the typology of urban sprawl process.

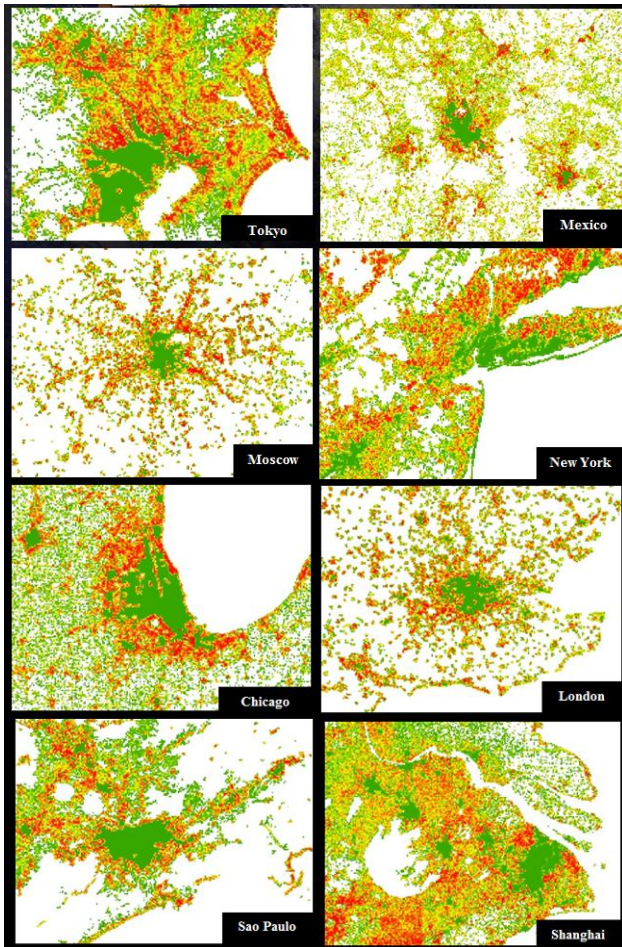


Figure 6. The Urban Entropy

The spatial distribution of the entropy of the patches of *artificialized land* in the areas studied shows how there is a greater fragmentation of urbanization in the metropolitan periphery (red color in the images, see figure 6) while in urban centers, subcenters and rural areas (green in images) the entropy or complexity is lower.

The explanatory models of the spatial distribution of entropy show a clear quadratic structure, maximum at the intermediate distances that characterize significant urban sprawl processes.

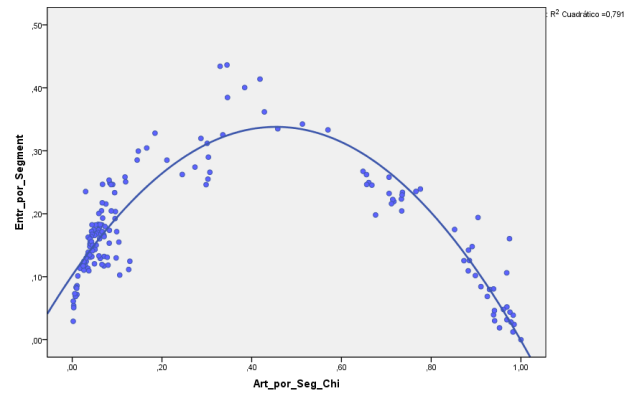


Figure 7. Spatial Distribution of the Urban Entropy of the Artificialized Land of Chicago according to the distance to CBD.

4. CONCLUSIONS

Monitoring urban sprawl using remote sensing is fundamental to understand the contemporary process of urbanization on a global scale. As a result of this research, among others, our center of research on Land Policy and Valuations is developing a platform called GLOBUS to observe the global urban sprawl (<http://www-cpsv.upc.es/GLOBUS>), and its purpose is to continue studying and analyzing the process of urban sprawl in a representative sample of most populated metropolitan areas, intermediate cities and singular small cities with the hypothesis that the process of urban sprawl is a phenomenon which is not limited to the developed world and it is a global scale process. The urban trend to sprawl brings negative effects on sustainability and social inclusion. The Global Observatory should be an extra tool to make decisions on urban plans and policies for our cities in the XXI century.

Finally, the paper present here demonstrates how useful are the methodology developed for monitoring the sprawl, starting from using Landsat 7 imagery with low resolution for doing the per-pixel classification and texture analysis. Also the methodology represents a fast and suitable system to detect and measure accurately the *artificialized land* of the mega-cities as proves the accuracy index greater than 90% in all the studied metropolises.

5. BIBLIOGRAPHY

- Alhaddad, B, Burns, M & Roca, J, 2007. Texture Analysis for Correcting and Detecting Classification Structures in Urban Land Uses. Metropolitan Area Case Study – Spain. Urban Remote Sensing Event. Paris, 2007.
- Alhaddad, B., Roca, J., Burns, M., 2009. Monitoring urban sprawl from historical aerial photographs and satellite imagery using texture analysis and mathematical morphology approaches. 49th European Congress of the Regional Science Association International - 25th to 29th of August 2009 - Lodz, Poland". 2009, p. 1-9.
- Atkinson, P.E. & Tate, N.J., 1999. Techniques for the Analysis of Spatial Data. In *Advances in Remote Sensing and GIS Analysis*, Atkinson, P.E. and N.J. Tate (Eds.). John Wiley and Sons, Chichester, pp: 1-7.62 Campbell.

Avery, T.A. & Berlin, G.L. 1992. Fundamentals of Remote Sensing and Air Photo Interpretation. Prentice Hall. Chapter 6.

Curran, P.J. 1985. Principles of Remote Sensing. Longman Group Limited, London.

Fulton, W., Pendall, R., Nguyen, M. & Harrison, A., 2001. Who Sprawls Most? How Growth Patterns Differ Across the U.S. Washington, D.C., Center on Urban & Metropolitan Policy, The Brookings Institution, Survey Series.

Galster, G., Hanson, R. & Ratcliffe, M. R., 2001. Wrestling sprawl to the ground: Defining and measuring an elusive concept. *Housing Policy Debate*, 12(4): pp. 681-717.

GLOBUS. <http://www-cpsv.upc.es/GLOBUS>.

Herold, M., Liu X. & Clarke, K.C., 2003. Spatial metrics and image texture for mapping urban land use. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69, 9, pp. 991-1001.

Morgan, J. L., Gergel, S.E., & Coops, N. C., 2010. Aerial Photography: A Rapidly Evolving Tool for Ecological Management. *BioScience*, 60(1): pp. 47–59.

Ojala, T. & Pietikäinen, M., 2004. Machine Vision and Media Processing Unit. University of Oulu, Finland.

Tuceryan, M. & Jain, A.K., 1998. The Handbook of Pattern Recognition and Computer Vision (2nd Edition), by C. H. Chen, L. F. Pau, P. S. P. Wang (eds.), pp. 207-248, World Scientific Publishing Co.

Wang, X. & Hanson, A. R., 2001. Surface texture and microstructure extraction from multiple aerial images. *Computer Vision and Image Understanding*, 83, pp. 1-37.

Yang, 2009, Detection of Seagrass Distribution Changes from 1991 to 2006 in Xincun Bay, Hainan, with Satellite Remote Sensing. *Sensors*, 9, pp. 830-844.

Zhang, Y., 1999. Optimisation of building detection in satellite images by combining multispectral classification and texture filtering. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 54 pp. 50–60

ACE 20

Electronic offprint

Separata electrónica

SPRAWL EN LAS METRÓPOLIS EUROPEAS. LAS PERIFERIAS METROPOLITANAS, ¿PRINCIPAL ESCENARIO DE LA DISPERSIÓN DE LA URBANIZACIÓN EN EUROPA?

BLANCA ARELLANO RAMOS Y JOSEP ROCA CLADERA

ACE: Architecture, City and Environment = Arquitectura, Ciudad y Entorno [en línea]. 2012, Año 7, núm. 20 Octubre P. 95-114

ISSN: [1886-4805](#)

Website access: http://www-cpsv.upc.es/ace/Articles_n20/articles_pdf/ACE_20_SE_21.pdf

UPCommons Access: <http://hdl.handle.net/2099/12674>

ACE

Architecture, City, and Environment

Arquitectura, Ciudad y Entorno

C

ACE 20

Electronic offprint

Separata electrónica

SPRAWL IN EUROPEAN CITIES. THE METROPOLITAN PERIPHERIES, THE MAIN STAGE OF THE DISPERSION OF URBANIZATION IN EUROPE?

Key words: urban sprawl, land consumption, sustainability, metropolitan areas, center / periphery.

Abstract

The European territorial political discourse has denounced the increasing artificialized land consumption that generates current processes of urban dispersion. The growing demand for land, over population and economic growth, has become one of the paradigms of territorial *development* of the *first world*. Thus, land consumption per capita in agglomerations of more than 500.000 inhabitants, by early of the past decade, reached about 350 m² of land per capita in Europe and in the more developed world, compared to only about 125 m² in the rest of the planet. The progressive tendency towards mass consumption of land is of particular concern in large cities, wherever the pressure of urbanization reaches accused levels: to take just one example, while 4,7% of European territory was urbanized in 2000, this proportion had risen to 15,6% in the surroundings of the major European urban regions. This paper seeks to assess the degree of urban sprawl and contrast the features of the different models of land occupation in the main European metropolitan areas. In this context, the work here presented starts from the hypothesis that it is in the European metropolitan peripheries where sprawl pathologies are more pronounced. For this purpose is developed an innovative methodology, based on the notion of Impervious Surface Areas, carried out by the NOAA's National Geophysical Data Center of the USA, addressed to the definition not only of their own artifacts to analyze (the areas impacted by the urbanization of major European cities), but also to differentiate their centers and peripheries.

ACE

Architecture, City, and Environment
Arquitectura, Ciudad y Entorno

C

SPRAWL EN LAS METRÓPOLIS EUROPEAS. LAS PERIFERIAS METROPOLITANAS, ¿PRINCIPAL ESCENARIO DE LA DISPERSIÓN DE LA URBANIZACIÓN EN EUROPA?

ARELLANO RAMOS, Blanca¹
ROCA CLADERA, Josep²

Remisión inicial: 3-9-2012

Remisión definitiva: 9-10-2012

Palabras clave: urban sprawl, consumo de suelo, sostenibilidad, áreas metropolitanas, centro/periferia.

Resumen

El discurso político territorial europeo ha denunciado el creciente consumo de suelo artificializado que generan los actuales procesos de dispersión urbana. La demanda creciente de suelo, por encima del crecimiento demográfico y económico, ha devenido uno de los paradigmas del *desarrollo* territorial del *primer mundo*. Así, el consumo de suelo por habitante alcanzaba en las aglomeraciones de más de 500.000 habitantes, hacia principios de la década pasada, unos 350 m² de suelo por habitante tanto en Europa como en el mundo más desarrollado, frente a tan sólo unos 125 m² en el resto del planeta. La tendencia progresiva hacia el consumo masivo de suelo es especialmente preocupante en las grandes metrópolis, allá donde la presión de la urbanización alcanza niveles más acusados: por poner un solo ejemplo, mientras un 4,7% del territorio europeo se encontraba urbanizado en el año 2000, esa proporción alcanzaba un 15,6% en los entornos de las principales regiones urbanas europeas. El presente artículo busca evaluar el grado de *urban sprawl* así como contrastar las características de los diferentes modelos de ocupación de suelo en las principales *áreas metropolitanas europeas*. En este contexto, el trabajo que aquí se presenta parte de la hipótesis de que es *en las periferias metropolitanas europeas donde las patologías del sprawl se hacen más acusadas*. A tal efecto se desarrolla una metodología innovadora, basada en la noción de *Impervious Surface Areas*, desarrollada por el NOAA's National Geophysical Data Center de los USA, dirigida a la delimitación no sólo de los propios *artefactos* a analizar (las áreas impactadas por la urbanización de las grandes metrópolis europeas), sino también a diferenciar sus centros y periferias.

¹ Blanca Arellano Ramos: Centro de Política de Suelo y Valoraciones (CPSV) de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). Email de contacto: blanca.arellano-ramos@upc.edu

² Josep Roca Cladera: Centro de Política de Suelo y Valoraciones (CPSV) de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). Email de contacto: josep.roca@upc.edu

1. Introducción

La segunda mitad del siglo XX ha sido, sin duda, el momento en que se ha producido un mayor crecimiento en los procesos de urbanización a escala planetaria. La población urbana ha crecido de 750 millones en 1950 hasta 2.860 millones en 2000, y representa ahora más del 50% de la población mundial. En palabras del gran ecólogo Ramón Margalef, desde 1950 se ha producido una auténtica *inversión en la topología del paisaje*. La urbanización, que sólo unas pocas décadas antes eran elementos aislados en medio de un entorno básicamente rural, ahora impregna la práctica totalidad del territorio, estableciendo un nuevo *paisaje*, en el que los espacios rurales se convierten en *islas* en el seno de un *océano* caracterizado por su elevado grado de urbanización, y este cambio se ha producido en el curso de una generación. Las mujeres y los hombres nacidos en 1950 han sido testigos de la magnitud de los cambios experimentados, caracterizados no sólo por el desarrollo progresivo de la urbanización, sino sobre todo por el continuado incremento en el consumo de suelo por habitante: el proceso denominado *urban sprawl*.

En este sentido, el urban sprawl, el proceso de expansión y desparramamiento de la urbanización, se ha convertido en un fenómeno mundial, especialmente en el mundo desarrollado y sus alrededores. El consumo cada vez mayor de suelo, resultado de la extensión de las redes de urbanización por la totalidad del territorio, parece haberse convertido en un fenómeno imparable que afecta prácticamente a todas la metrópolis contemporáneas. La demanda creciente de suelo, por encima del crecimiento demográfico y económico, ha devenido uno de los paradigmas del *desarrollo* territorial del *primer mundo*. Así, el consumo de suelo por habitante alcanzaba en las aglomeraciones de más de 500.000 habitantes, hacia principios de la década pasada, unos 350 m² de suelo por habitante, tanto en Europa como en el mundo más desarrollado, frente a tan sólo unos 125 m² en el resto del planeta (Arellano y Roca, 2010).

La literatura especializada ha analizado en profundidad el concepto de sprawl. A continuación algunos ejemplos:

- "Sprawl is the spreading out of a city and its suburbs over more and more rural land at the periphery of an urban area. This involves the conversion of open space (rural land) into built-up, developed land over time" (NumbersUSA, 2012).
- "Our method of defining sprawl is to characterize it simply in terms of land resources consumed to accommodate new urbanization. If land is being consumed at a faster rate than population growth, then a metropolitan area can be characterized as *sprawling*. If population is growing more rapidly than land is being consumed for urbanization, then a metropolitan area can be characterized as *densifying*." (Fulton et al., 2001).
- "The literature on urban sprawl confuses causes, consequences, and conditions. This article presents a conceptual definition of sprawl based on eight distinct dimensions of land use patterns: density, continuity, concentration, clustering, centrality, nuclearity, mixed uses, and proximity. Sprawl is defined as a condition of land use that is represented by low values on one or more of these dimensions." (Galster et al., 2001).

- "Urban sprawl is commonly used to describe physically expanding urban areas. The European Environment Agency (EEA) has described sprawl as the physical pattern of low-density expansion of large urban areas, under market conditions, mainly into the surrounding agricultural areas. Sprawl is the leading edge of urban growth and implies little planning control of land subdivision. Development is patchy, scattered and strung out, with a tendency for discontinuity. It leap-frogs over areas, leaving agricultural enclaves. Sprawling cities are the opposite of compact cities - full of empty spaces that indicate the inefficiencies in development and highlight the consequences of uncontrolled growth." (EEA, 2006).

En Europa, las ciudades han tenido, tradicionalmente, una estructura de urbanización compacta, debido especialmente a la existencia de un denso núcleo histórico formado antes de la aparición de los modernos sistemas de transporte. En comparación con las ciudades de los Estados Unidos de América (en adelante y por sus siglas en inglés, USA) los sistemas urbanos europeos siguen siendo en muchos casos relativamente compactos. Sin embargo, las ciudades europeas han experimentado fuertes tensiones dirigidas hacia la dispersión de la urbanización a partir de 1970, y bien puede afirmarse que el urban sprawl es un fenómeno que afecta en la actualidad a toda Europa.

Hacer frente al consumo de suelo es, por tanto, uno de los retos territoriales más importantes a nivel europeo e internacional. Ya en su momento, la Estrategia Territorial Europea (EC, 1999, sección 2.1.3), hizo referencia explícita al problema que representaba, desde la perspectiva de la sostenibilidad, la *progresión del crecimiento disperso de las ciudades*. De forma más específica, en 2006, un informe de la Agencia Europea de Medio Ambiente (en adelante y por sus siglas en inglés, EAA) puso de relieve, los riesgos alarmantes de la dispersión urbana e hizo una llamada para corregir dichos procesos y evitar sus consecuencias sociales, económicas y medioambientales:

"The sprawling nature of Europe's cities is critically important because of the major impacts that are evident in increased energy, land and soil consumption. These impacts threaten both the natural and rural environments, raising greenhouse gas emissions that cause climate change and elevated air and noise pollution levels which often exceed the agreed human safety limits. Thus, urban sprawl produces many adverse impacts that have direct effects on the quality of life for people living in cities." (EEA, 2006: 5-6)

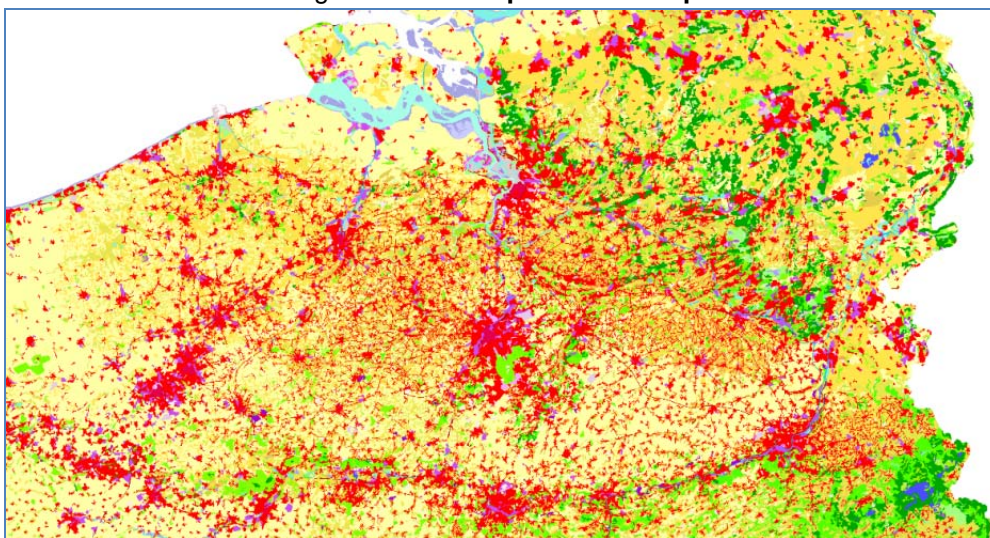
Por su parte, la Agenda Territorial de la Unión Europea (EC, 2007a) subrayó que la expansión descontrolada del territorio representaba uno de los principales desafíos territoriales, idea que desarrolló la Carta de Leipzig sobre ciudades europeas sostenibles (EC, 2007b), en la que se sostuvo las ventajas de un sistema urbano compacto como base para la utilización eficiente y sostenible de recursos, contribuyendo a la prevención de la dispersión urbana. En este sentido, la Estrategia Europa 2020 (EC, 2010) publicada en 2010 ha propuesto una visión de la economía social de mercado de Europa para el siglo XXI, basada en los tres pilares de crecimiento inteligente, crecimiento sostenible y crecimiento integrador. Finalmente, el informe *Ciudades del Mañana, Visiones, Retos y Formas de Avanzar* (EC, 2011), partiendo de una lectura del modelo europeo de desarrollo urbano bajo amenaza (declive demográfico, creciente polarización social y agotamiento de los recursos naturales), sugiere la existencia de unos retos

fundamentales para la ciudad europea de mañana, en la forma de una ciudad diversa, atractiva y coherente, verde y saludable, la creación de una economía flexible e inclusiva, en el marco de una Europa urbana policéntrica, con un desarrollo territorial equilibrado, y encaminada hacia un modelo más integral de desarrollo urbano sostenible. En este contexto se inscribe el trabajo que aquí se presenta acerca del urban sprawl en la Unión Europea.

2. Urban Sprawl en Europa

La Unión Europea observaba, como muestra la figura 1, a principios de la década pasada, un consumo medio de suelo urbanizado de unos 360 m² por habitante (CLC, 2000).

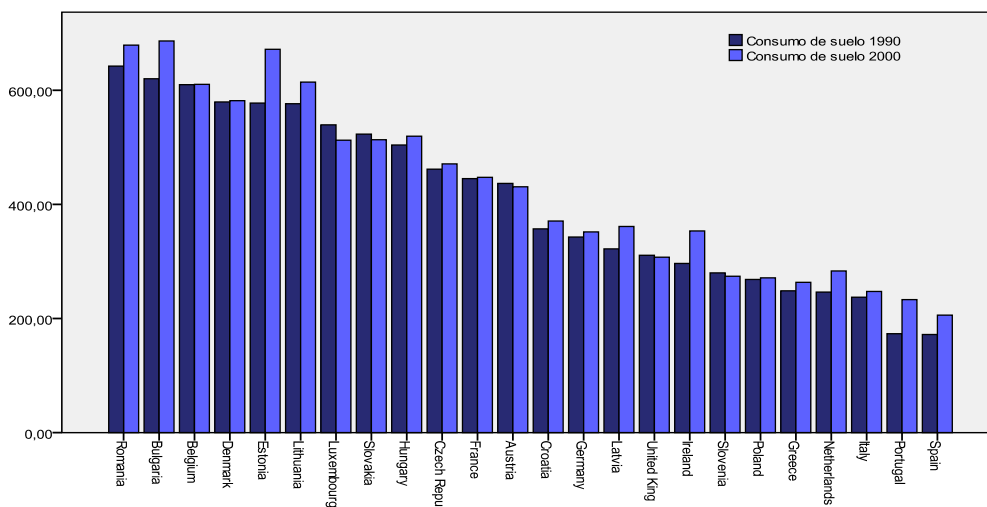
Figura 1. Urban Sprawl en Europa



Fuente: EEA (2006).

La información que suministra Corine Land Cover (en adelante, CLC) muestra que los países que presentaban a comienzos de la década 1990-2000 un mayor consumo de suelo en la Unión Europea eran (valores en m² de suelo por habitante en 1990): Rumanía (642), Bulgaria (620), Bélgica (610), Dinamarca (580), Lituania (578) y Estonia (576); muy por encima de la media europea (350) y muy alejados de los países menos depredadores de espacio como España (172), Portugal (173) o Italia (237). *Los patrones de ocupación del suelo heredados históricamente, como puede deducirse de lo anterior, son determinantes para explicar el consumo de suelo de los países europeos.* Como puede observarse en la Figura 2, los países del Este junto con algunos del centro de Europa son los que muestran un nivel de artificialización (según datos de CLC) más acusado. Frente a estos, países en los que la revolución industrial tuvo un papel pionero (como Reino Unido, Alemania, Holanda o Francia), ocupan un nivel medio de consumo de suelo por habitante, mostrando un patrón de ocupación del espacio en torno a la media de Europa. Finalmente, los países mediterráneos, como España, Italia, Portugal o Grecia, reflejan pautas de artificialización mucho más contenidas.

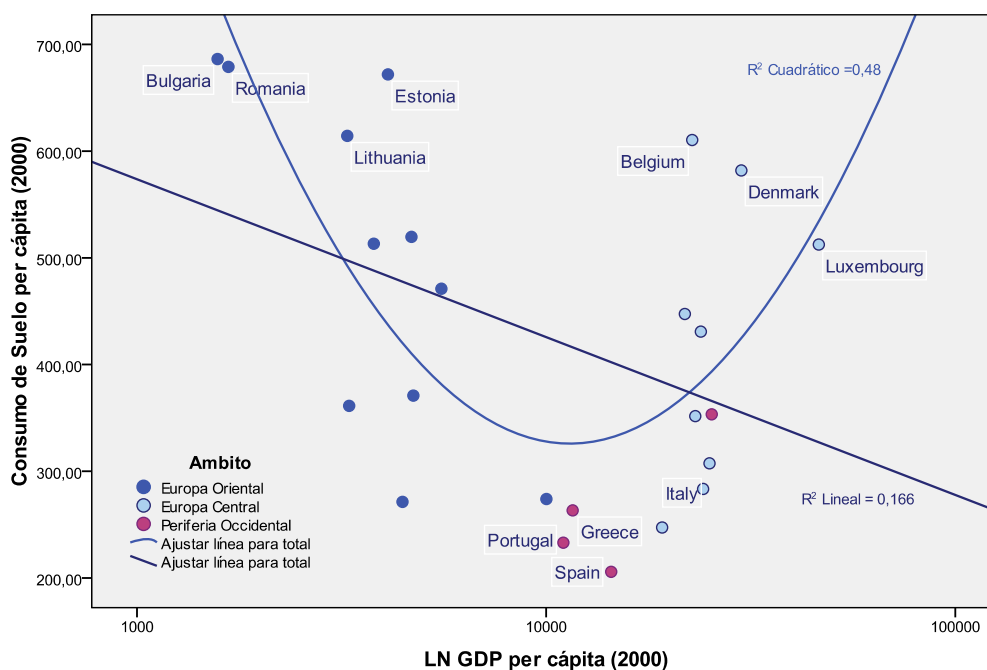
Figura 2. Consumo de Suelo en Europa en el periodo 1990-2000



Fuente: CLC y Eurostat.

A la luz de los datos anteriores y desde una perspectiva estática, no puede afirmarse de ninguna forma que en Europa el consumo de suelo per cápita venga relacionado de forma directa con el nivel de renta de la población (medido en Producto Interior Bruto por habitante), tal como ha sugerido la literatura especializada (para un análisis de esa hipótesis a escala mundial, véase Arellano y Roca, 2010).

Figura 3. Consumo de suelo vs PIB



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del CLC y la ONU.

La Figura 3 muestra que, a diferencia de lo esperado, parece existir una correlación negativa entre consumo de suelo y el logaritmo de la renta per cápita en Europa. El modelo cuadrático revela que países de renta reducida (como Bulgaria, Rumania, Estonia o Lituania) comparten consumos de suelo significativos junto a países de renta elevada (como Bélgica, Luxemburgo o Dinamarca). En cambio, las naciones de la periferia Sur mediterránea (España, Portugal, Italia o Grecia) manifiestan consumos de suelo reducidos, disfrutando niveles de renta per cápita medio-altos. La Tabla 1 muestra que, para estos mismos ámbitos geográficos, la *periferia oriental* europea es la zona con un mayor consumo de suelo (493,89 m² por habitante) mientras que su Producto Interior Bruto (en adelante, PIB) (4.287,07 € por habitante) alcanza por poco la sexta parte del PIB de la Europa Central (con un consumo de suelo de 419,19 m² por habitante). Por su parte la *periferia sur*, caracterizada por un nivel de renta medio (15.611,53 € por habitante), denota niveles de sprawl mucho menos acusados (263,9 m² de suelo per cápita)³. Dicho modelo cuadrático, por tanto, confirma la hipótesis de que es el patrón de histórico de ocupación de suelo el factor que explica, antes que el grado de riqueza de los países, el consumo de suelo en Europa.

Tabla 1. Consumo de suelo y PIB per cápita en Europa

	Ámbito		
	Periferia Oriental	Europa Central	Periferia Sur
Consumo de Suelo por habitante (2000)	493,89	419,19	263,90
PIB por habitante (2000)	4.287,07	26.278,71	15.611,53

Fuente: Elaboración propia a partir del CLC y la ONU.

Los datos anteriores sugieren, por lo tanto, que el consumo de tierra, lejos de representar el resultado mecánico del nivel de desarrollo económico, corresponde también, y de forma muy especial, a pautas de ocupación del espacio heredadas históricamente. Las formas sociales de ocupación del espacio han conducido a diferentes tipos de asentamiento humano, de carácter más o menos compacto, representando este factor el elemento todavía hoy determinante del consumo de suelo, a pesar de la tendencia de alcance mundial de generalización del Urban Sprawl en la medida que se produce el desarrollo económico de las naciones.

Lo anterior no empaña el hecho, unánimemente constatado, de que en Europa la tendencia hacia Urban Sprawl es imparable. Analizando el periodo 1990-2000, mientras que el crecimiento de la población fue del 2,19%, el consumo de suelo se incrementó en un 5,38%. Lo anterior significa que por cada habitante adicional, respecto a 1990, Europa generó 860 m² de suelo altamente artificializado, frente a los 350 m² acumulados a lo largo del tiempo (1990).

³ La afirmación anterior, relativa a que los países mediterráneos denotan niveles de sprawl mucho menos acusados que el resto de Europa debe ser entendida desde una *perspectiva estática*. Si se analiza la información suministrada por CLC relativa al periodo 1990-2000, son los países mediterráneos los que experimentan mayores cotas de incremento en el consumo de suelo. Desde una *perspectiva dinámica*, los países que han denotado un mayor incremento del consumo de suelo entre 1990 y 2000 han sido Portugal (un 38,64%), Irlanda (30,67%), España (25,14%) y Grecia (13,82%), esto es, países todos ellos del arco periférico Sur-occidental. No obstante, a pesar de este mayor crecimiento de la periferia Sur y Occidental de Europa, el patrón de uso de suelo heredado históricamente no ha experimentado en esta década cambios fundamentales, denotando aún, los países mediterráneos, un patrón relativamente denso de uso del suelo.

El Sprawl, tal como denuncia la EEA (2006), es uno de los principales fenómenos (y problemas) de nuestra era. Se trata, por tanto, de determinar dónde y en qué condiciones se está produciendo mayor dispersión urbana. El objetivo básico de este trabajo consiste, por tanto, en estudiar el fenómeno del Urban Sprawl en el *sistema urbano europeo*. De forma más específica, se pretende evaluar el *grado de sprawl de las principales regiones metropolitanas europeas* y el alcance del proceso de dispersión de la urbanización así como las características de los modelos de ocupación del suelo de las mismas. Asimismo, parte de la hipótesis de que *es en las periferias de las áreas metropolitanas donde las patologías del sprawl son más acusadas*, a diferencia de los *centros*, los cuales mantienen niveles de densidad y compacidad de la urbanización aún significantes, así como del *resto de sistema urbano* (ciudades pequeñas e intermedias), donde la dispersión de la urbanización, aun siendo importante, mantiene niveles menos acusados.

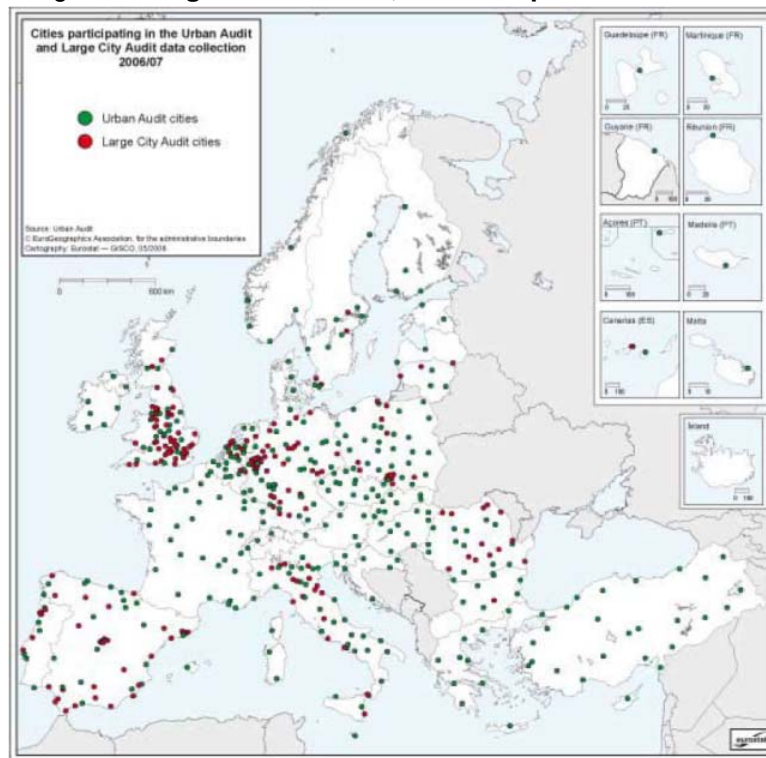
3. Metodología

La investigación se plantea tres preguntas centrales: *¿Cómo delimitar las metrópolis? ¿Cómo diferenciar los centros y las periferias de las mismas? ¿Cómo medir el urban sprawl?*

En relación a la primera de las cuestiones planteadas (*¿cómo delimitar las metrópolis?*) no existen en Europa, a diferencia de lo que sucede en USA donde el Census Bureau define con precisión las áreas metropolitanas y micropolitanas, criterios unificados para la delimitación de sistemas urbanos y metropolitanos (Roca, Moix y Arellano, 2012). Si bien es cierto que en la Unión Europea se ha venido desarrollando, desde los inicios de los proyectos NUREC y Urban Audit, un esfuerzo continuado para delimitar aglomeraciones urbanas, lo cierto es que hasta el momento Eurostat no ha sido capaz de generar un consenso equivalente al logrado en USA por medio del Census Bureau⁴.

⁴ En 2004, Eurostat sugirió una nueva redefinición de los criterios desarrollados por Urban Audit (basados en la densidad demográfica), las llamadas *Larger Urban Zones* (LUZ), a partir de criterios de carácter funcional. Las LUZ han sido definidas como un intento de permitir a "*comparison between the city and its surroundings*. The goal was to have an area from a significant share of the resident commute into the city, a concept known as the *functional urban region*. To ensure a good data availability, the Urban Audit works with administrative boundaries that approximate the functional urban region" (Eurostat, 2004). Sin embargo, la ausencia en buena parte de casos de información relativa a los flujos residencia/trabajo, factor clave para la definición de regiones urbanas funcionales, no permite asegurar que las actuales LUZ obedezcan a otros criterios que los simplemente políticos de cada país. En la actualidad Eurostat ha identificado 59 LUZ de más de 1.000.000 de habitantes en el área de estudio utilizada en este artículo.

Figura 4. Larger Urban Cities, definidas por el Urban Audit



Fuente: Eurostat (2004).

A falta de un sistema integrado para el análisis de las áreas urbanas europeas, en este trabajo se utiliza la base *Impervious Surface Areas* (en adelante, ISA), desarrollada por el NOAA's National Geophysical Data Center de USA (Elvidge et al., 2007), a fin de delimitar las *Áreas Impactadas* (en adelante, AI) por la urbanización de los 25 países europeos en relación a los cuales la Unión Europea, a través del proyecto CORINE LAND COVER, suministra información estadística rigurosa de las cubiertas y usos de suelo⁵. Por su parte, las ISA vienen definidas como “as any impenetrable material that prevents infiltration of water into the soil. Urban pavements, such as rooftops, roads, sidewalks, parking lots, driveways, and other manmade concrete surfaces are among impervious surface types that featured the urban and suburban landscape”. Las ISA, por tanto, representan un sistema eficaz para detectar áreas caracterizadas por un elevado grado de artificialización. A tal efecto, el presente trabajo desarrolla una metodología para detectar, en primera instancia, las AI europeas, a partir del análisis de los patrones de urbanización existentes en USA. La razón de acudir al sistema de asentamientos estadounidense responde a la voluntad de alcanzar un procedimiento de análisis del fenómeno urbano de alcance general, capaz de analizar el proceso de sprawl a escala planetaria.

⁵ Véase apartado 2 del presente artículo.

A fin de lograr unos resultados comparables con otras áreas geográficas a escala mundial, el objetivo de nuestro trabajo se dirige a realizar un análisis del grado de impermeabilización necesario para la definición de las AI en diferentes escenarios territoriales, para posteriormente determinar una metodología unificada de delimitación. En una primera aproximación, se ha establecido *un nivel de impermeabilización del 5%* para la determinación de las citadas áreas impactadas por la urbanización. Para su estimación se ha realizado un modelo explicativo (por medio de la técnica de la regresión logística) de las *Áreas Urbanizadas* (en adelante, AU) en USA⁶, con las ISA como única variable independiente. Los resultados de dicho modelo pueden observarse en la Tabla 2.

Tabla 2. Modelo de Regresión Logística de las Áreas Urbanizadas USA

Resumen del modelo			Tabla de clasificación					
			Observado			Pronosticado		
			UA					
			0	1	Porcentaje correcto			
Paso	-2 log de la verosimilitud	R cuadrado de Cox y Snell	Paso 1	UA	0	1127497	18077	98,4
1	457787,395 ^a	,548			1	53748	305097	85,0
			Procentaje global					95,2
Nota: La estimación ha finalizado en el número de iteración 8 porque las estimaciones de los parámetros han cambiado en menos de ,001.			Nota: El valor de corte es ,500					

Fuente: Elaboración propia.

La regresión logística desarrollada establece un *corte* en el 4,85% de impermeabilización del suelo para explicar las AU de USA. Dicho modelo permite obtener un 95,2% de *aciertos* en el pronóstico realizado.

La Figura 5 nos muestra las ISA (a partir del 5%), las AU delimitadas por el Bureau of Census y la superposición de ambas para la aglomeración de San Francisco. En la primera imagen (a la izquierda) se puede observar el grado de impermeabilización del suelo (ISA), resaltando en azul el límite del 5%; por su parte, las áreas urbanizadas (AU) se grafían en la segunda imagen; finalmente, la tercera imagen muestra la superposición de la ISA al 5% de artificialización (línea azul) y las AU delimitadas por la Oficina del Censo. Como se puede observar, existe un elevado grado de coincidencia entre la ISA al 5% y las áreas urbanizadas, tal como vienen definidas en el censo USA.

⁶ El Census Bureau delimita las áreas metropolitanas y micropolitanas (definidas en base a la división administrativa de los *counties*) en función a la existencia de un *Área Urbanizada* (AU) central con un determinado umbral de población. A tal fin procede a un riguroso trabajo de identificación de tales AU, que aquí se toma de referencia para la obtención de las *áreas impactadas* (AI) por la urbanización.

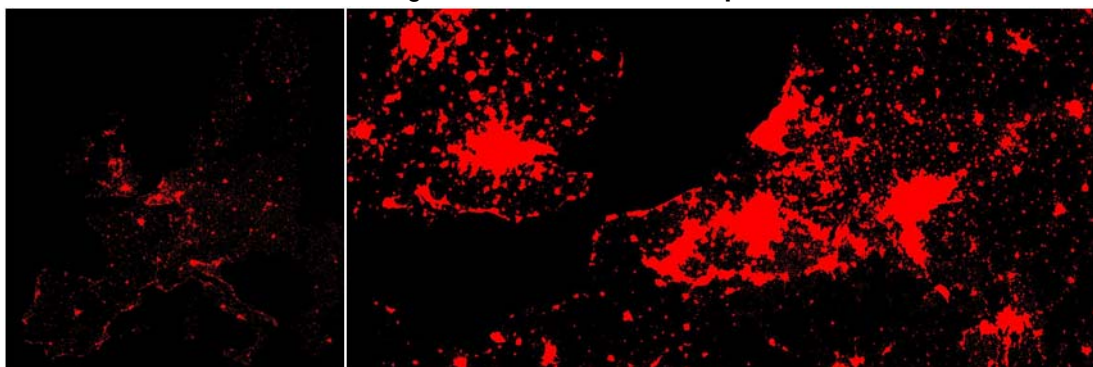
Figura 5. Superposición de las UA y las ISA en el área de San Francisco



Fuente: Elaboración propia a partir de ISA y Census Bureau.

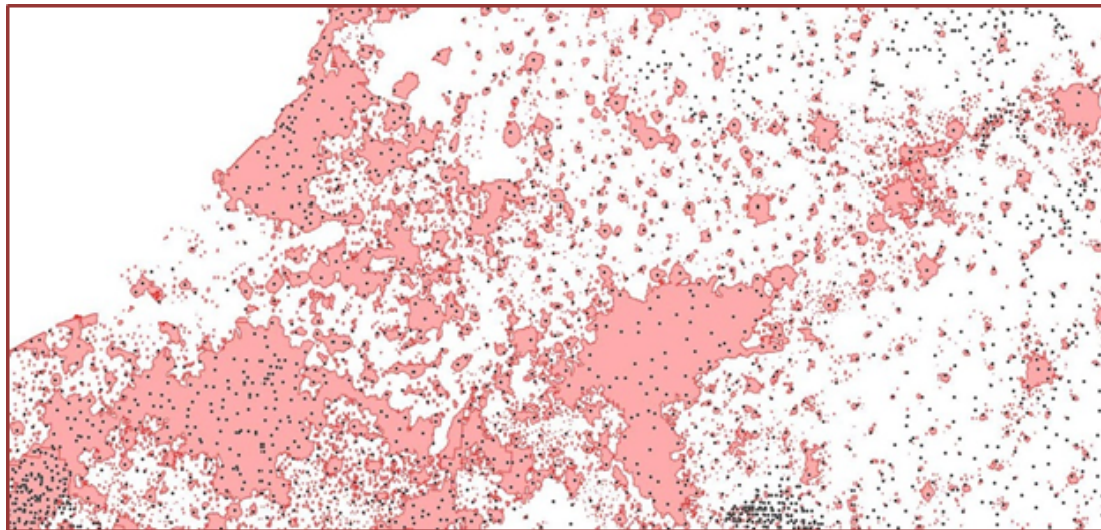
La aplicación de la anterior metodología para la Europa de los 27 (más Andorra, Suiza, San Marino, Liechtenstein y Ciudad del Vaticano; para evitar vacíos), puede observarse en la Figura 6. En dicho ámbito geográfico existen 47.615 AI por la urbanización (ISA al 5% de impermeabilización). La superposición de estas AI, definidas en base a las ISA, con la información demográfica contenida en la base de datos de *Localidades* (véase Figura 7), desarrollada por World Gazetteer (2012), permite tipificar las áreas urbanizadas europeas en función a su tamaño demográfico, así como analizar las pautas de consumo de suelo impactado por la urbanización en función a esta dimensión. A los efectos del presente estudio se han considerado como *metrópolis europeas* aquéllas cuya AI de referencia alcanzase una población igual o superior a 1.000.000 de habitantes.

Figura 6. ISA al 5% en Europa



Fuente: Elaboración propia a partir de ISA.

Figura 7. Superposición de las ISA al 5% y la base de datos de *Localidades*



Fuente: Elaboración propia a partir de ISA y World Gazetter.

El análisis anterior permite detectar 12 grandes aglomeraciones, con una población superior a 3.000.000 de habitantes⁷. Otras 36 metrópolis tienen una población entre 1 y 3 millones⁸. 43 aglomeraciones se sitúan entre 500.000 y 1.000.000 de habitantes. 322 AI, entre 100.000 y 500.000 habitantes, 468 entre 50.000 y 100.000 habitantes y 2.774 entre 10.000 y 50.000 habitantes. Y 3.451 AI con una población inferior a 10.000 habitantes.

En relación a la segunda pregunta de investigación (*¿cómo diferenciar los centros y las periferias de las aglomeraciones urbanas?*), sucede algo similar a lo ya expuesto en relación a las áreas metropolitanas: no existe en Europa una definición estadística que permita distinguir ambos conceptos en los ámbitos objeto de estudio. A tal efecto se ha desarrollado en este trabajo una metodología específica dirigida a distinguir las *Áreas Centrales* (en adelante, AC) de las *Periferias* (en adelante, P) de forma similar a lo realizado con respecto a las AI por la urbanización, delimitadas en base a un determinado grado de impermeabilización del suelo. La delimitación de los centros y periferias de las mencionadas metrópolis se ha realizado estableciendo un umbral de las ISA que permitiese la inclusión de la mayor parte de los centros y subcentros, entendiendo como tales a las localidades con una población superior a 50.000 habitantes (según el criterio utilizado por el U.S. Census Bureau para la identificación de los centros metropolitanos). Dicho umbral, para el caso europeo, corresponde aproximadamente a la *ISA del 30% de impermeabilización*, representando el resto del área impactada (ISA al 5%) a la periferia metropolitana:

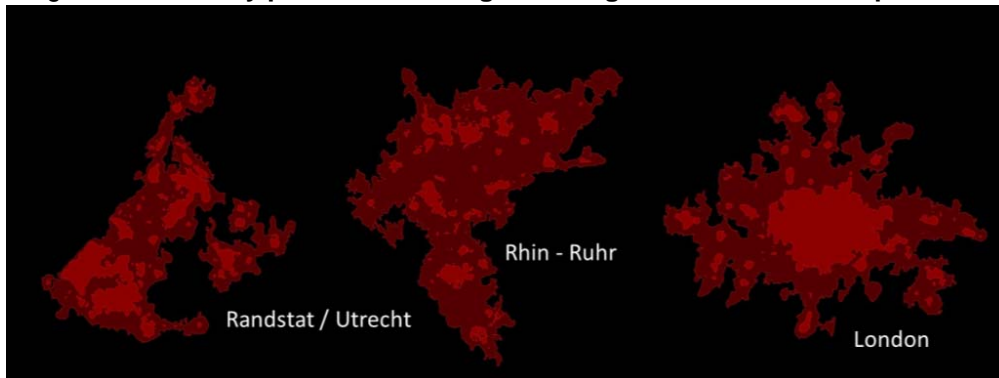
$$P = AU - CA$$

⁷ Esas grandes metrópolis son: Londres, París, Rhin-Ruhr (con Colonia como ciudad más importante), Madrid, Milán, Bruselas, Randstad (con Ámsterdam como núcleo central), Liverpool-Manchester, Barcelona, Nápoles, Berlín y Atenas.

⁸ Para un detalle de las mismas, véase Anexos I, II y III.

La Figura 8 muestra algunos ejemplos, donde el rojo brillante representa los centros y subcentros (ISA del 30%) y el granate la periferia de las metrópolis objeto de estudio (ISA del 5%).

Figura 8. Centros y periferias de las grandes aglomeraciones metropolitanas



Fuente: Elaboración propia a partir de ISA.

De forma similar a lo realizado con el conjunto de AI, la superposición de las bases de datos de ISA (al 5 y 30% de impermeabilización), *CORINE LAND COVER* (CLC, 2000) y de población (World Gazeeter, 2012) para las AC y las P de las 48 metrópolis de más de 1 millón de habitantes, posibilita diferenciar las pautas de consumo de suelo de las mismas en las grandes aglomeraciones europeas, pudiendo contrastar, así, la hipótesis de que es en las P donde se producen mayores procesos de consumo de suelo y, por tanto, donde el Urban Sprawl es más acusado. A tal efecto, y en relación a la tercera de las preguntas de investigación (*¿Cómo medir el urban sprawl?*), en este trabajo la *medición del Urban Sprawl* se realizará mediante el concurso de *dos indicadores de consumo de suelo*:

- La *superficie (per cápita) impactada por la urbanización*, cuantificada por la relación existente entre la superficie de la ISA de cada aglomeración (hasta el 30% en el caso de los centros, hasta el 5% en el de las periferias) entre la población (en cada una de las ciudades ISA).
- La *superficie urbanizada per cápita*, obtenida de la relación de superficie urbanizada resultante de CLC por habitante, en cada uno de los ámbitos estudiados (centros y periferias de las AI).

4. Resultados

La aplicación de la anterior metodología al conjunto de AI de Europa permite observar un *impacto decreciente de suelo artificializado en función del tamaño de la aglomeración*. La Tabla 3 muestra como las 48 aglomeraciones de más de 1 millón de habitantes *impactan* 544 m² de suelo (ISA) por habitante, frente a 593 m² las de población situada entre 500.000 y 1.000.000 habitantes, 639 m² las AI con población comprendida entre 100.000 y 500.000 habitantes, 719 m² las AI con población situada entre 50.000 y 100.000 habitantes, y más de 750 m² las AI menores a 50.000 habitantes.

Tabla 3. Suelo impactado por tamaño de aglomeración

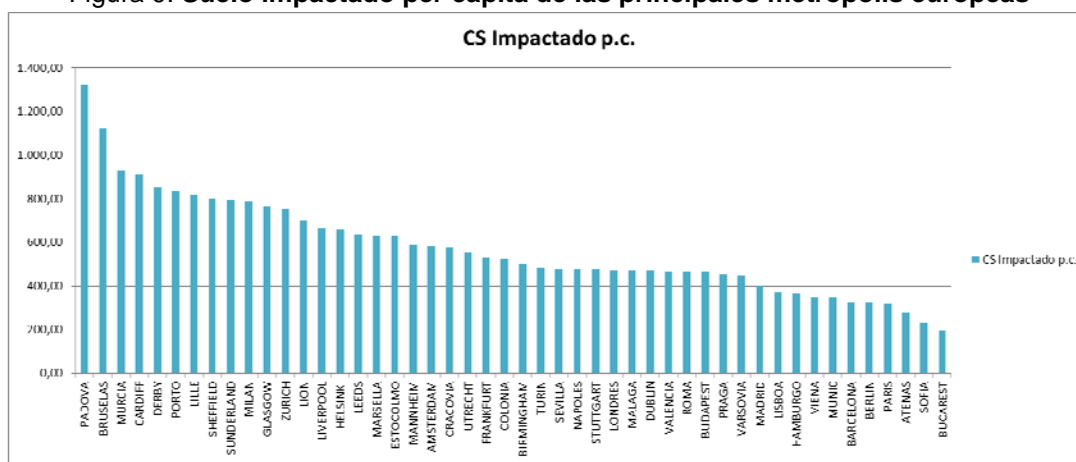
	Área Impactada	Población	AI / hab.
0 a 10.000 hab.	1.211.282	15.349.961	789,11
10.000 a 50.000 hab.	4.095.867	59.955.051	683,16
50.000 a 100.000 hab.	2.312.398	32.150.837	719,23
100.000 a 500.000 hab.	4.213.631	65.959.839	638,82
500.000 a 1.000.000 hab.	1.813.861	30.444.547	595,79
> 1.000.000 hab.	7.492.152	137.696.133	544,11

Fuente: ISA, World Gazeeter, elaboración propia

Las economías de aglomeración explican el menor sprawl de las grandes metrópolis europeas en relación a las ciudades medias y, sobre todo, pequeñas. Según la información de CORINE, la muestra de las 48 metrópolis de más de 1 millón de habitantes analizada consume, de media, 247 m² de suelo urbanizado por habitante, cantidad significativamente más reducida a los 361 m² de media del conjunto de la Unión Europea. Las metrópolis no parecen ser las principales causantes del sprawl.

La Figura 9 muestra de forma comparada el suelo *impactado* por habitante de las 48 metrópolis analizadas para las ISA del 5%.

Figura 9. Suelo impactado per cápita de las principales metrópolis europeas



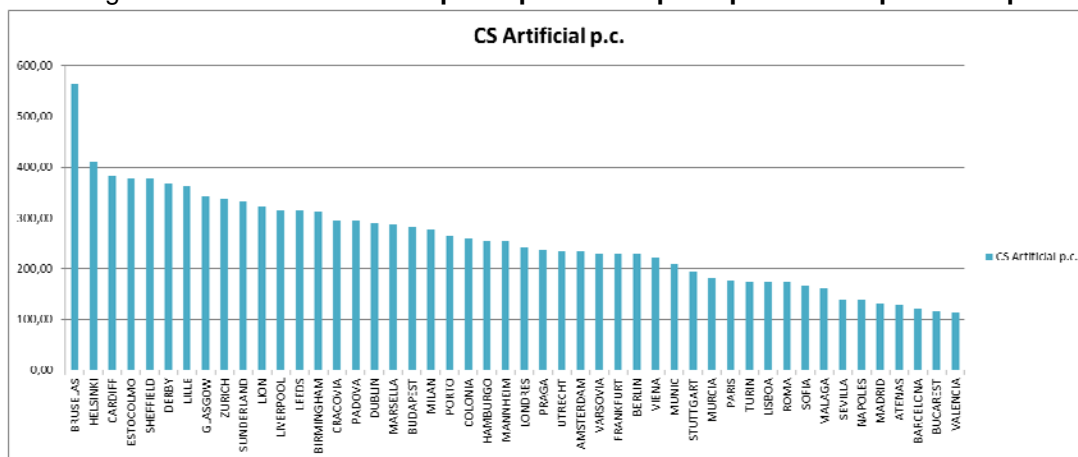
Fuente: Elaboración propia a partir de ISA.

Si se diferencian las *áreas centrales* y las *periferias metropolitanas*, las primeras *impactan* como media 152,81 m² por habitante, frente a los 1.654,63 m² de las periferias. Éstas, por tanto, muestran un grado de artificialización del suelo (sprawl, en nuestra perspectiva) mucho más acusado, no sólo que los centros sino también que el conjunto de áreas urbanizadas de tamaño inferior. Así, *en las periferias de las metrópolis el impacto de la urbanización es más del doble que en el conjunto de áreas urbanizadas europeas, donde el impacto es de 702 m² de suelo por habitante*. La afirmación de que las metrópolis no son las principales causantes del

sprawl debe ser, por tanto, revisada, ya que es en su periferia donde parece producirse los procesos de dispersión de la urbanización y consumo de suelo más acusados.

Por su parte, la Figura 10 reproduce el *consumo de suelo urbanizado per cápita* (según la información de CORINE) en las 48 áreas metropolitanas estudiadas. En ella se puede observar con nitidez un menor sprawl relativo de las metrópolis localizadas en los países de la cuenca mediterránea (España, Grecia, Italia), así como algunas del Este europeo (Rumanía, Bulgaria) frente a un acusado mayor consumo de suelo urbanizado en los países del Norte y Centro de Europa (Bélgica, Finlandia, Suecia, Reino Unido, entre otros).

Figura 10. Suelo urbanizado per cápita de las principales metrópolis europeas

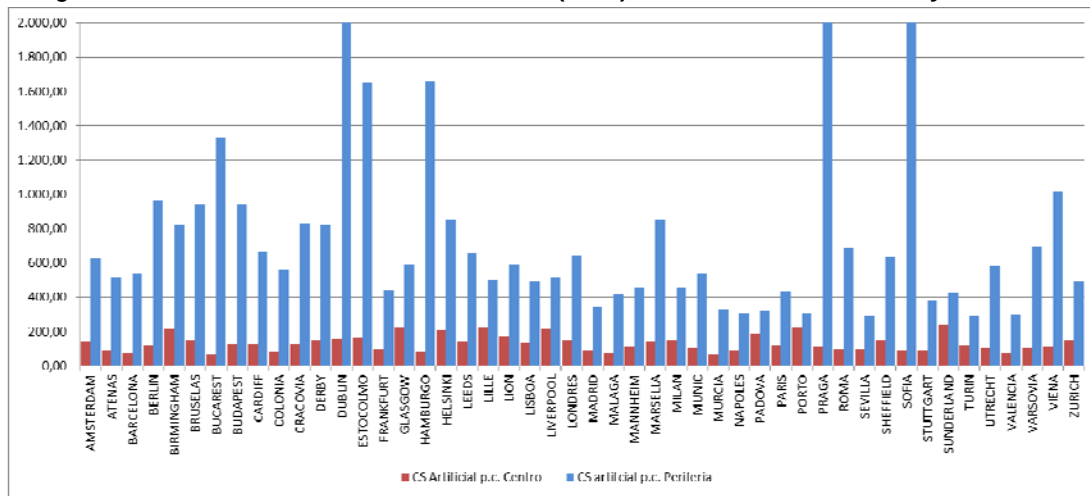


Fuente: Elaboración propia a partir de CLC.

La superposición de CLC a las *áreas centrales* (30% de impermeabilización) y *periféricas* de las grandes aglomeraciones metropolitanas europeas da como resultado que mientras las áreas de influencia de los centros y subcentros de las metrópolis consumen 126 m² de suelo de elevada artificialización (urbanización) por habitante, las periferias 589 m², significativamente más que la media europea (361 m² per cápita). El análisis de los datos de suelo urbanizado suministrado por CLC confirma, por tanto, la hipótesis de la investigación: las periferias metropolitanas se caracterizan por un elevado grado de dispersión de la urbanización, contribuyendo de forma decisiva al incremento del urban sprawl en Europa.

La Figura 11 muestra los consumos de suelo urbanizado de los centros y las periferias metropolitanas, sugiriendo que el citado proceso de sprawl de las periferias es un fenómeno general, alcanzando a la práctica de las aglomeraciones estudiadas.

Figura 11. Consumo de suelo urbanizado (CLC) en las Áreas Centrales y las Periferias



Fuente: Elaboración propia a partir de CLC 2000 e ISA.

5. Conclusiones

En este trabajo se ha formulado la hipótesis de que es en la periferia de las grandes metrópolis europeas (> 1.000.000 habitantes) donde se producen los mayores procesos de consumo de suelo y, por tanto, un mayor nivel de urban sprawl. Para ello se ha aplicado una metodología basada en las ISA dirigida a delimitar las AI por la urbanización en la Unión Europea, así como los centros y periferias. A su vez CLC ha suministrado la información relativa al consumo de suelo urbanizado (altamente artificializado).

De esta manera se han podido detectar 48 áreas urbanizadas de carácter metropolitano con una población superior a 1.000.000 de habitantes, diferenciando los centros y periferias de las mismas, lo que permite comprobar la hipótesis de trabajo:

- Los centros y subcentros de las 48 áreas metropolitanas estudiadas *impactan* 152,81 m² por habitante.
- Las periferias de las ciudades metrópolis *impactan*, por su parte, 1.654,63 m² per cápita, muy por encima no sólo de los centros sino también de la media europea (702,48 m²), así como del resto de aglomeraciones (medias y pequeñas).
- De forma correlativa, mientras que los centros metropolitanos consumen 126 m² de suelo urbanizado por habitante, las periferias 589 m², denotando pautas de dispersión de la urbanización mucho más acusadas.
- De este modo, las periferias de las grandes metrópolis muestran consumos de suelo muy superiores a la media europea (361 m² por habitante), así como al conjunto de aglomeraciones medias y pequeñas.

El artículo demuestra, en consecuencia, que tanto en los términos de suelo *impactado* (ISA) como *urbanizado* o *altamente artificializado* (CLC), *las periferias consumen mucho más suelo que las áreas centrales*. Y si bien las metrópolis en su conjunto consumen menos suelo que el resto de áreas urbanizadas, debido fundamentalmente a las economías de aglomeración, *las*

periferias de las áreas metropolitanas muestran pautas de consumo de suelo mucho más acusadas que el resto del territorio, metropolitano o no metropolitano, representando los auténticos paradigmas de la progresiva insostenibilidad de nuestro sistema urbano.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a Pau Queraltó i Ros, investigador del Centro de Política de Suelo y Valoraciones de la Universitat Politècnica de Catalunya, su colaboración en la elaboración de las bases de datos utilizadas en este artículo.

Bibliografía

ARELLANO, B. y ROCA, J. *El Urban Sprawl, ¿Un Fenómeno de Alcance Planetario? Los Ejemplos de México y España*. En: *ACE (Arquitectura, Ciudad y Entorno)*, 4 (12): 115-147, 2010.

EC. *European Spatial Development Perspective (Estrategia Territorial Europea)* Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities, 1999. 82 p.

EC. *Territorial Agenda of the European Union* Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities, 2007a. 11 p.

EC. *Leipzig Charter on Sustainable European Cities* [en línea] Fecha de consulta: 4 de mayo de 2012. Disponible en: <http://www.bmvbs.de/Anlage/original_998673/Leipzig-Charter-on-Sustainable-Cities-agreed-on24-May-2007.pdf>. 2007b.

EC. *Europa 2020. Una estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador*. Bruselas, Comunicación de la Comisión, 3 de marzo de 2010.

EC. *Cities of tomorrow: Challenges, visions, ways forward*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2011. 112 p.

EEA. *Urban sprawl in Europe: the ignored challenge* (Report N° 10/2006). Copenhagen, EEA, 2006. 60 p.

ELVIDGE, C. D.; TUTTLE, B.T.; SUTTON, P.C.; BAUGH, K.E.; HOWARD, A.T.; MILESI, C.; BHADURI, B.L. y NEMANI, R. *Global Distribution and Density of Constructed Impervious Surfaces*. En: *Sensors*, (7): 1962-1979, 2007.

EUROSTAT *Urban Audit Methodological Handbook* Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities, 2004. 87 p.

FULTON, W.; PENDALL, R.; NGUYEN, M. y HARRISON, A. *Who Sprawls Most? How Growth Patterns Differ Across the U.S.* Washington D.C., Center on Urban & Metropolitan Policy, The Brookings Institution, Survey Series, 2001. 24p.

GALSTER, G.; HANSON, R.; RATCLIFFE, M.R.; WOLMAN, H.; COLEMAN, S. y FREIHAGE, J. *Wrestling sprawl to the ground: Defining and measuring an elusive concept*. En: Housing Policy Debate, 12 (4): 681-717, 2001.

NUMBERSUSA. *Urban sprawl* [en línea] Fecha de consulta: 8 de febrero, 2012. Disponible en: <<http://www.numbersusa.com/content/issues/urban-sprawl.html>>. 2012.

ROCA, J.; MOIX, M. y ARELLANO, B. *El Sistema Urbano en España*. En: Scripta Nova, XVI (396): 1-37, 2012.

WORLD GAZETTER. *Population Statistics* [en línea] Fecha de consulta: 22 de febrero 2012. Disponible en: <<http://www.world-gazetter.com>>. 2012.

ZHOU, Y y WANG, Y.Q. Extraction of Impervious Surface Areas from High Spatial Resolution Imagery by Multiple Agent Segmentation and Classification. En: Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 74 (7): 857-868, 2008.

ANEXO I: Áreas Metropolitanas Europeas

Orden	METRÓPOLI	Población AM	Sup. Impactada AM	Sup. Artificial AM	CS Impactado p.c.	CS Artificial p.c.	Densidad Neta
1	AMSTERDAM	5.045.169	2.931.311.816	1.187.355.206	581,01	235,34	4.249,08
2	ATENAS	3.861.271	1.082.946.719	499.842.505	280,46	129,45	7.724,98
3	BARCELONA	4.402.247	1.420.721.259	540.230.595	322,73	122,72	8.148,83
4	BERLIN	3.969.155	1.276.785.138	908.944.334	321,68	229	4.366,77
5	BIRMINGHAM	2.551.502	1.275.040.066	794.851.486	499,72	311,52	3.210,04
6	BRUSELAS	6.010.150	6.760.743.280	3.379.613.821	1.124,89	562,32	1.778,35
7	BUCAREST	2.028.629	400.829.646	233.244.496	197,59	114,98	8.697,44
8	BUDAPEST	2.079.222	964.309.677	583.373.714	463,78	280,57	3.564,13
9	CARDIFF	1.001.392	911.493.389	382.261.643	910,23	381,73	2.619,65
10	COLONIA	10.074.131	5.275.010.523	2.620.141.272	523,62	260,09	3.844,88
11	CRACOVIA	2.282.879	1.316.380.293	673.459.373	576,63	295	3.389,78
12	DERBY	1.234.595	1.052.507.450	453.751.350	852,51	367,53	2.720,86
13	DUBLIN	1.178.924	551.988.261	341.484.421	468,21	289,66	3.452,35
14	ESTOCOLMO	1.598.819	1.007.394.452	603.068.782	630,09	377,2	2.651,14
15	FRANKFURT	2.630.458	1.396.227.994	605.901.838	530,79	230,34	4.341,39
16	GLASGOW	1.454.577	1.115.032.428	499.108.645	766,57	343,13	2.914,35
17	HAMBURGO	2.065.519	754.549.978	524.571.331	365,31	253,97	3.937,54
18	HELSINKI	1.125.005	739.588.562	463.503.286	657,41	412	2.427,18
19	LEEDS	1.743.107	1.109.067.783	546.700.348	636,26	313,64	3.188,41
20	LILLE	2.321.546	1.900.752.129	840.115.656	818,74	361,88	2.763,36
21	LION	1.661.713	1.161.996.723	535.957.191	699,28	322,53	3.100,46
22	LISBOA	1.918.009	711.345.101	335.123.200	370,88	174,72	5.723,30
23	LIVERPOOL	4.964.288	3.319.301.756	1.562.160.793	668,64	314,68	3.177,83
24	LONDRES	12.100.655	5.689.082.939	2.929.599.332	470,15	242,1	4.130,48
25	MADRID	6.086.016	2.448.938.955	806.024.804	402,39	132,44	7.550,66
26	MALAGA	1.126.742	528.748.584	182.511.084	469,27	161,98	6.173,55
27	MANNHEIM	1.364.561	804.286.811	346.363.886	589,41	253,83	3.939,67
28	MARSELLA	1.392.725	878.728.674	401.913.079	630,94	288,58	3.465,24
29	MILAN	6.078.991	4.803.103.115	1.676.145.003	790,12	275,73	3.626,77
30	MUNIC	1.776.744	620.201.221	369.350.936	349,07	207,88	4.810,45
31	MURCIA	1.068.361	996.043.706	193.967.351	932,31	181,56	5.507,94
32	NAPOLIS	4.105.447	1.958.979.070	566.596.223	477,17	138,01	7.245,81
33	PADOVA	2.169.113	2.867.121.944	637.893.222	1.321,79	294,08	3.400,43
34	PARIS	10.963.129	3.492.721.615	1.929.994.134	318,59	176,04	5.680,39
35	PORTO	1.420.622	1.182.388.822	376.477.176	832,3	265,01	3.773,46
36	PRAGA	1.225.156	554.754.174	291.420.237	452,8	237,86	4.204,09
37	ROMA	2.974.585	1.385.322.448	519.715.788	465,72	174,72	5.723,48
38	SEVILLA	1.289.654	617.465.427	178.983.918	478,78	138,78	7.205,42
39	SHEFFIELD	1.183.578	946.151.787	445.780.031	799,4	376,64	2.655,07
40	SOFIA	1.143.298	268.536.829	190.597.839	234,88	166,71	5.998,48
41	STUTT GART	1.568.841	748.086.978	305.938.189	476,84	195,01	5.127,97
42	SUNDERLAND	1.520.527	1.210.687.608	503.517.521	796,23	331,15	3.019,81
43	TURIN	1.594.581	774.631.009	279.391.941	485,79	175,21	5.707,33
44	UTRECHT	1.108.498	614.693.943	261.147.336	554,53	235,59	4.244,72
45	VALENCIA	1.985.333	928.297.936	225.202.553	467,58	113,43	8.815,77
46	VARSOVIA	2.198.239	990.145.676	508.152.915	450,43	231,16	4.325,94
47	VIENA	1.932.051	675.043.069	426.910.633	349,39	220,96	4.525,66
48	ZURICH	1.116.379	844.655.226	374.947.101	756,6	335,86	2.977,43

Notas: La población hace referencia a la *superficie impactada* (ISA al 5%). Sup. Impactada AM = superficie de la ISA al 5%. Sup. Artificial AM = superficie artificializada según CLC. CS Impactado p.c. = consumo de suelo impactado per cápita. CS Artificial p.c. = consumo de suelo artificializado per cápita. Densidad Neta = población por km² de suelo artificializado

Fuente: Elaboración propia a partir de ISA, CLC y World Gazetteer.

ANEXO II: Centros de las Metrópolis Europeas

Orden	METRÓPOLI	Población AM	Sup. Impactada AM	Sup. Artificial AM	CS Impactado p.c.	CS Artificial p.c.	Densidad Neta
1	AMSTERDAM	4.092.726	883.231.121	589.762.027	215,81	144,10	6.939,62
2	ATENAS	3.514.774	378.046.745	321.877.138	107,56	91,58	10.919,61
3	BARCELONA	3.953.408	504.592.400	300.848.639	127,63	76,10	13.140,85
4	BERLIN	3.431.675	407.898.444	392.160.675	118,86	114,28	8.750,69
5	BIRMINGHAM	2.152.905	482.128.083	467.546.321	223,94	217,17	4.604,69
6	BRUSELAS	2.881.096	492.586.649	427.810.266	170,97	148,49	6.734,52
7	BUCAREST	1.954.172	152.313.318	133.946.727	77,94	68,54	14.589,17
8	BUDAPEST	1.683.270	224.727.565	210.244.181	133,51	124,90	8.006,26
9	CARDIFF	528.964	74.818.702	68.473.604	141,44	129,45	7.725,08
10	COLONIA	6.403.529	607.394.946	551.387.940	94,85	86,11	11.613,47
11	CRACOVIA	1.727.451	238.092.874	214.055.027	137,83	123,91	8.070,13
12	DERBY	835.836	128.042.039	124.644.599	153,19	149,13	6.705,75
13	DUBLIN	1.096.811	180.730.334	173.989.656	164,78	158,63	6.303,89
14	ESTOCOLMO	1.372.509	266.369.369	229.030.374	194,07	166,87	5.992,69
15	FRANKFURT	1.625.849	182.014.871	160.297.366	111,95	98,59	10.142,71
16	GLASGOW	977.727	236.664.832	215.725.745	242,06	220,64	4.532,27
17	HAMBURGO	1.844.029	168.155.030	156.638.868	91,19	84,94	11.772,49
18	HELSINKI	766.475	171.964.160	158.836.600	224,36	207,23	4.825,56
19	LEEDS	1.172.017	180.738.500	170.373.671	154,21	145,37	6.879,10
20	LILLE	1.171.554	302.571.375	259.898.657	258,26	221,84	4.507,73
21	LION	1.066.381	213.355.189	185.443.891	200,07	173,90	5.750,42
22	LISBOA	1.689.149	304.627.611	222.240.375	180,34	131,57	7.600,55
23	LIVERPOOL	3.350.418	804.783.213	731.677.740	240,20	218,38	4.579,09
24	LONDRES	9.840.669	1.589.056.712	1.472.134.101	161,48	149,60	6.684,63
25	MADRID	5.143.742	696.541.715	478.778.976	135,42	93,08	10.743,46
26	MALAGA	843.366	108.033.381	64.761.267	128,10	76,79	13.022,69
27	MANNHEIM	781.151	100.558.241	83.172.347	128,73	106,47	9.391,96
28	MARSELLA	1.104.995	183.813.716	156.202.575	166,35	141,36	7.074,12
29	MILAN	3.525.207	694.556.734	513.320.178	197,03	145,61	6.867,46
30	MUNIC	1.346.730	142.471.541	138.026.178	105,79	102,49	9.757,06
31	MURCIA	616.542	121.476.257	43.695.972	197,03	70,87	14.109,81
32	NAPOLIS	3.244.577	539.400.165	301.580.776	166,25	92,95	10.758,57
33	PADOVA	405.425	100.554.178	77.078.317	248,02	190,12	5.259,91
34	PARIS	9.051.251	1.236.149.888	1.095.953.807	136,57	121,08	8.258,79
35	PORTO	690.020	231.557.758	152.294.408	335,58	220,71	4.530,83
36	PRAGA	1.183.473	147.496.100	133.508.042	124,63	112,81	8.864,43
37	ROMA	2.592.990	361.630.027	257.851.601	139,46	99,44	10.056,13
38	SEVILLA	1.023.706	164.189.240	102.371.786	160,39	100,00	9.999,88
39	SHEFFIELD	630.087	100.614.828	94.225.170	159,68	149,54	6.687,03
40	SOFIA	1.125.102	105.724.849	101.208.539	93,97	89,95	11.116,67
41	STUTTGART	990.199	118.816.371	87.774.525	119,99	88,64	11.281,17
42	SUNDERLAND	764.315	205.515.151	183.042.601	268,89	239,49	4.175,61
43	TURIN	1.054.664	152.449.375	121.158.313	144,55	114,88	8.704,84
44	UTRECHT	800.278	98.703.206	82.148.722	123,34	102,65	9.741,82
45	VALENCIA	1.613.853	248.488.852	114.838.367	153,97	71,16	14.053,26
46	VARSOVIA	1.730.712	199.802.853	181.099.338	115,45	104,64	9.556,70
47	VIENA	1.691.361	197.804.647	182.597.007	116,95	107,96	9.262,81
48	ZURICH	504.103	92.654.285	74.757.971	183,80	148,30	6.743,13

Notas: La población hace referencia a la *superficie impactada* relativa a los *centros* (ISA al 30%). Sup. Impactada (30%) = superficie de la ISA al 30%. Sup. Artificial Centro = superficie artificializada según CLC. CS Impactado p.c. = consumo de suelo impactado per cápita. CS Artificial p.c. = consumo de suelo artificializado per cápita. Densidad Neta = población por km² de suelo artificializado.

Fuente: Elaboración propia a partir de ISA, CLC y World Gazetteer.

ANEXO III: Periferias de las Metrópolis Europeas

Orden	METRÓPOLI	Población AM	Sup. Impactada AM	Sup. Artificial AM	CS Impactado p.c.	CS Artificial p.c.	Densidad Neta
1	AMSTERDAM	952.443	2.048.080.695	597.593.179	2.150,34	627,43	1.593,80
2	ATENAS	346.497	704.899.973	177.965.367	2.034,36	513,61	1.946,99
3	BARCELONA	448.839	916.128.859	239.381.956	2.041,11	533,34	1.874,99
4	BERLIN	537.480	868.886.694	516.783.660	1.616,59	961,49	1.040,05
5	BIRMINGHAM	398.597	792.911.983	327.305.165	1.989,26	821,14	1.217,81
6	BRUSELAS	3.129.054	6.268.156.632	2.951.803.555	2.003,21	943,35	1.060,05
7	BUCAREST	74.457	248.516.329	99.297.769	3.337,72	1.333,63	749,84
8	BUDAPEST	395.952	739.582.112	373.129.533	1.867,86	942,36	1.061,16
9	CARDIFF	472.428	836.674.687	313.788.039	1.771,01	664,20	1.505,56
10	COLONIA	3.670.602	4.667.615.577	2.068.753.332	1.271,62	563,60	1.774,31
11	CRACOVIA	555.428	1.078.287.419	459.404.346	1.941,36	827,12	1.209,02
12	DERBY	398.759	924.465.411	329.106.751	2.318,36	825,33	1.211,64
13	DUBLIN	82.113	371.257.927	167.494.765	4.521,31	2.039,81	490,24
14	ESTOCOLMO	226.310	741.025.083	374.038.408	3.274,38	1.652,77	605,04
15	FRANKFURT	1.004.609	1.214.213.123	445.604.472	1.208,64	443,56	2.254,49
16	GLASGOW	476.850	878.367.596	283.382.900	1.842,02	594,28	1.682,71
17	HAMBURGO	221.490	586.394.948	367.932.463	2.647,50	1.661,17	601,99
18	HELSINKI	358.530	567.624.402	304.666.686	1.583,20	849,77	1.176,79
19	LEEDS	571.090	928.329.283	376.326.677	1.625,54	658,96	1.517,54
20	LILLE	1.149.992	1.598.180.754	580.216.998	1.389,73	504,54	1.982,00
21	LION	595.332	948.641.534	350.513.301	1.593,47	588,77	1.698,46
22	LISBOA	228.860	406.717.490	112.882.825	1.777,15	493,24	2.027,41
23	LIVERPOOL	1.613.870	2.514.518.543	830.483.054	1.558,07	514,59	1.943,29
24	LONDRES	2.259.986	4.100.026.227	1.457.465.230	1.814,18	644,90	1.550,63
25	MADRID	942.274	1.752.397.240	327.245.828	1.859,75	347,29	2.879,41
26	MALAGA	283.376	420.715.202	117.749.816	1.484,65	415,53	2.406,59
27	MANNHEIM	583.410	703.728.570	263.191.540	1.206,23	451,13	2.216,67
28	MARSELLA	287.730	694.914.957	245.710.504	2.415,16	853,96	1.171,01
29	MILAN	2.553.784	4.108.546.381	1.162.824.825	1.608,81	455,33	2.196,19
30	MUNIC	430.014	477.729.680	231.324.758	1.110,96	537,95	1.858,92
31	MURCIA	451.819	874.567.449	150.271.379	1.935,66	332,59	3.006,69
32	NAPOLES	860.870	1.419.578.905	265.015.447	1.649,00	307,85	3.248,38
33	PADOVA	1.763.688	2.766.567.766	560.814.905	1.568,63	317,98	3.144,87
34	PARIS	1.911.878	2.256.571.726	834.040.327	1.180,29	436,24	2.292,31
35	PORTO	730.602	950.831.064	224.182.768	1.301,44	306,85	3.258,96
36	PRAGA	41.683	407.258.074	157.912.195	9.770,36	3.788,41	263,96
37	ROMA	381.595	1.023.692.421	261.864.186	2.682,67	686,24	1.457,22
38	SEVILLA	265.948	453.276.187	76.612.132	1.704,38	288,07	3.471,36
39	SHEFFIELD	553.491	845.536.959	351.554.862	1.527,64	635,16	1.574,41
40	SOFIA	18.196	162.811.980	89.389.300	8.947,68	4.912,58	203,56
41	STUTTGART	578.642	629.270.607	218.163.664	1.087,50	377,03	2.652,33
42	SUNDERLAND	756.212	1.005.172.457	320.474.920	1.329,22	423,79	2.359,66
43	TURIN	539.917	622.181.635	158.233.628	1.152,37	293,07	3.412,15
44	UTRECHT	308.220	515.990.737	178.998.614	1.674,10	580,75	1.721,91
45	VALENCIA	371.480	679.809.085	110.364.186	1.830,00	297,09	3.365,95
46	VARSOVIA	467.527	790.342.822	327.053.577	1.690,48	699,54	1.429,51
47	VIENA	240.690	477.238.422	244.313.625	1.982,79	1.015,06	985,17
48	ZURICH	612.276	752.000.940	300.189.130	1.228,21	490,28	2.039,63

Notas: La población hace referencia a la "superficie impactada" relativa a las "periferias" (ISA al 5% - 30%). Sup. Impact. Periferia = superficie de la ISA al 5% - 30%. Sup. Art. Periferia = superficie artificializada según CLC. CS Impactado p.c. = consumo de suelo impactado per cápita. CS Artificial p.c. = consumo de suelo artificializado per cápita. Densidad Neta = población por km² de suelo artificializado.

Fuente: Elaboración propia a partir de ISA, CLC y World Gazetter.

3

Estructura Urbana y Sprawl a
partir del Valor de Interacción

CAPÍTULO III

ESTRUCTURA URBANA Y SPRAWL. UNA APROXIMACIÓN A PARTIR DEL VALOR DE INTERACCIÓN

En este capítulo se presentan las aportaciones relacionadas con la *relación existente entre la estructura urbana y el Urban Sprawl*. En esta sección se partirá de la hipótesis de que el mayor policentrismo de las aglomeraciones urbanas comporta una mayor eficiencia en cuanto al consumo de suelo, reduciendo el Sprawl de las mismas. Disponer de una herramienta para evaluar el grado de monocentrismo/policentrismo es, por tanto, útil, con la finalidad de contrastar la referida hipótesis.

Se compone de 5 aportaciones, que desarrollan el *análisis de los sistemas urbanos mediante el valor de interacción*, concepto introducido de Smart (1974)¹ y Coombes (1982)², y desarrollado por Josep Roca y otros investigadores del Centro de Política de Suelo y Valoraciones³ para la delimitación de los sistemas urbanos y el análisis de la estructura interna de los mismos. Dichas aportaciones son las que se relacionan a continuación:

5. **El Sistema Urbano en España.** Artículo publicado en *Scripta nova*. 2012-03-20, XVI, número 396, 19 pág.
6. **La distribución del tamaño de las ciudades. La Ley de Zipf revisitada.** Artículo publicado en *Architecture, City and Environment*. 2011, Año 6, núm. 16 Junio, pp 199-222.
7. **Estructura urbana, policentrismo y sprawl: los ejemplos de Madrid y Barcelona.** Artículo publicado en *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*. 2011. Vol. XLIII, num. 168, p. 299-321.
8. **Towards a new methodology to evaluate the urban structure of the metropolitan systems: Chicago and Barcelona Metropolitan Areas as examples.** Ponencia presentada en el *51st European Regional Science Association Congress, New Challenges for European Regions and Urban Areas in a Globalised World*. 30 August – 2 September 2011, Barcelona, Spain.
9. **Monocentrism, polycentrism and environmental efficiency Chicago and Los Angeles Metropolitan Areas as examples.** Ponencia presentada en el *52nd ERSA Congress. Regions in Motion – Breaking the Path*. 21 – 25 August 2012, Bratislava, Slovakia.

Dichas aportaciones suministran 8 puntos según lo dispuesto en la Normativa para la presentación de Tesis Doctorales según Compendio de Publicaciones del Programa de Doctorado de Gestión y Valoración Urbana y Arquitectónica (PD GVUA), aprobado per la

¹ Smart, M. W. (1974). Labour market areas: Uses and definition. *Progress in Planning*, 2, pp. 239-353.

² Coombes, M. and Openshaw, S. (1982). The use and definition of travel-to-work areas in Great Britain: some comments, *Regional Studies*, 16, pp. 141-149.

³ Véase Roca, J. & Moix, M. (2005). The interaction value: its scope and limits as an instrument for delimiting urban systems. *Regional Studies*, 39, pp. 359-375. También Roca, J., Marmolejo, C. & Moix, M. (2009). Urban Structure and Polycentrism: Towards a redefinition of the Sub-centre concept. *Urban Studies*, 46:13, pp. 2841-2868.

Comissió Permanent de l'Escola de Doctorat de la UPC el 19/07/2019 (Acord núm 2 CP2019/7/19), así como 157 citas, según Google Scholar.

El primer trabajo (quinta aportación) representa *la aplicación generalizada del concepto de valor de interacción para el análisis del conjunto del sistema urbano y metropolitano español*; aportación que permite, asimismo, evaluar el grado de monocentrismo vs. policentrismo de la totalidad de las estructuras urbanizadas de España. El segundo (sexta aportación) desarrolla *una herramienta para el análisis de la estructura urbana de carácter general, vinculada a la evaluación de la Ley de Zipf*; metodología que es utilizada a fin de evaluar la validez de la estructura de los sistemas urbanos obtenida mediante el valor de interacción (o de otras metodologías alternativas). El tercer trabajo (séptima aportación) se dirige a identificar el *alcance y estructura interna de los sistemas metropolitanos de Madrid y Barcelona*, así como a evaluar su eficiencia desde la perspectiva del consumo de suelo; dicha aportación permite *contrastar la validez de la hipótesis + Policentrismo → - Sprawl* en relación a las áreas metropolitanas de Madrid y Barcelona. Finalmente, el cuarto y quinto trabajos (aportaciones octava y novena), estrechamente vinculadas con la séptima aportación, presentan un esfuerzo para ampliar el campo de aplicación de la metodología del valor de interacción al análisis de estructuras urbanas tan diferentes a las españolas como son las formas de asentamiento humano en los EEUU de América, y más concretamente en las áreas metropolitanas de Chicago y Los Ángeles. Esos sistemas metropolitanos, además de intentar compararlos con el de Barcelona, se intenta contrastar la validez de la mencionada hipótesis de que a mayor policentrismo, menor consumo de suelo.

Así, por tanto, mientras los dos primeros trabajos aportan herramientas de análisis general, susceptibles de ser aplicados a escala local, los tres últimos buscan contrastar la eficiencia de las mismas para analizar supuestos concretos.

3.1. El Sistema Urbano en España

La quinta aportación, es el artículo publicado en Scripta nova. 2012-03-20, XVI, número 396, 19 pág. Tiene como autores a Josep Roca, Montserrat Moix y a Blanca Arellano. Hay que indicar que Scripta Nova, en el momento de la redacción del artículo, era la única revista española indexada en ISI Web of Science en el área de Urban Studies. Su índice de impacto SJR era, en 2012, de 0,136, correspondiendo al 3er cuartil, aportando, por tanto, 2 puntos a los efectos de la Normativa de Tesis Doctorales por Compendio de Publicaciones del PD GVUIA. Como indicio de calidad adicional, cabe indicar *ha recibido 73 citas según Google Scholar*.

Este trabajo aborda el reto de delimitar tanto los sistemas urbanos como su composición interior, estructurada en subsistemas articulados en torno a distintos subcentros, para el conjunto de los asentamientos humanos en España. La metodología desarrollada, a partir del Valor de Interacción, permite delimitar simultáneamente esos dos niveles de estructuración urbana: el *sistema urbano-metropolitano* en su conjunto y los *subsistemas articulados alrededor de los subcentros*, “emergentes” o “maduros”, mediante las relaciones funcionales que se establecen entre el mercado de trabajo y el de residencia. A su vez, el concepto de valor de interacción permite evaluar el *grado de policentrismo de las ciudades*, más allá de la simple identificación de subcentros desarrollada en la literatura especializada. Y por tanto verificar, en su caso, la hipótesis de la incidencia del mismo en el consumo de suelo de las ciudades reales.

El artículo expone como a lo largo del Siglo XX se ha producido el desbordamiento de los límites administrativos por parte de la urbanización ha conducido a la superación del viejo concepto de ciudad y a su sustitución por otros con los que se ha intentado comprender los nuevos fenómenos territoriales. Áreas metropolitanas y micropolitanas, aglomeraciones, conurbaciones, sistemas urbanos diarios (daily urban systems), mercados de trabajo locales (local labour markets), regiones urbanas funcionales (functional urban regions), megalópolis, megaciudades regionales (mega-city regions), han sido, entre otros, conceptos con los que se ha intentado sustituir la “caduca” noción de ciudad.

El desarrollo ulterior de los procesos de urbanización a escala planetaria, particularmente la difusión del Sprawl, ha producido un amplio debate en el campo de la geografía urbana (que se revisa en el trabajo) que ha llevado incluso a diversos autores a cuestionar (Harvey 1996, Nel-lo 1998) si en la era del Sprawl, es posible poner límites a la ciudad sin confines que caracteriza el proceso urbanizador iniciado a partir de mediados del siglo pasado. Proceso que ha convertido en borrosas las tradicionales distinciones entre campo y ciudad, centro y suburbio, metrópolis y espacios no metropolitanos. Debate que ha llevado, en el campo de la literatura económica, a conclusiones muy distantes a las anteriores relativas a la necesidad de dejación del concepto de ciudad, o de su equivalente moderno, la metrópoli, pero que ha puesto de manifiesto que el desarrollo urbano contemporáneo se ha ido alejando de forma progresiva la estructura urbana de las áreas metropolitanas caracterizado por el modelo estándar de la economía locacional (Alonso, 1964) y que ha constatado la progresiva creciente complejidad de las estructuras territoriales. Particularmente significativo ha sido el policentrismo creciente de las mismas, concentrando el empleo en diversos subcentros, además del CBD, más allá del tradicional modelo monocéntrico.

El artículo publicado en Scripta Nova constata que la mayor parte de la literatura empírica desarrollada en el análisis del policentrismo adolece de una limitación fundamental: define los subcentros exclusivamente en virtud de la estructura de la densidad de empleo, minusvalorando lo que es el elemento esencial del policentrismo: *la generación de estructura urbana*. No basta con constatar la existencia de irregularidades en el patrón de densidades de empleo. Es necesario, además, que dichos nodos representen auténticos elementos vertebradores de subsistemas urbanos dentro de la estructura general de la metrópolis.

El artículo parte de la hipótesis de que es posible simultáneamente definir y delimitar la “metrópoli”, a la vez que revelar su estructura interna (monocéntrica/policéntrica). Para ello propone utilizar la metodología propuesta por Roca *et al* (2009), basada en el Valor de Interacción. Dicha metodología permite determinar, más allá de la simple división administrativa, tres niveles en la formación de los sistemas urbanos:

- *La escala local*, delimitándose lo que se denominan *protosistemas*.
- *La escala intermedia*, que permite la identificación de los *sistemas urbanos*.
- *Y la gran escala*, que identifica a los (mal) llamados “*sistemas metropolitanos*”; esto es sistemas de sistemas. Ciudad de ciudades en la terminología de Nel-lo (2002).

Se repasan a continuación las principales aportaciones en la delimitación de aglomeraciones urbanas en España: los trabajos de los años 60 (delimitación de las AM de Madrid y Barcelona), las aportaciones basadas en el continuo de la urbanización (NUREC), en la densidad (Urban

Audit⁴, GEMACA, Serra, ...), la delimitación “institucional” de las “grandes áreas urbanas” del Ministerio de Fomento, y las delimitaciones funcionales basadas en el commuting residencia-trabajo. Entre estas últimas las AM siguiendo la metodología del Census Bureau para New England (CPSV 2001).

La aportación realiza un análisis crítico de las anteriores metodologías de delimitación urbana/metropolitana:

- En el caso de las metodologías basadas en criterios morfológicos, el continuo urbanizado no parece representar una aproximación suficientemente rigurosa. La simple consideración de la continuidad del proceso de artificialización del suelo no es capaz de captar la diversidad de patrones de urbanización de los fenómenos urbanos y metropolitanos contemporáneos.
- Asimismo, las metodologías basadas en las economías de aglomeración, y muy particularmente en la densidad, no parece hayan tenido un éxito destacable. En la era del Sprawl se producen fenómenos de metropolitanización dispersa, que difícilmente logran ser captados por esas aproximaciones, al menos en su versión clásica de umbrales de intensidad.
- La delimitación de áreas urbanas mediante criterios institucionales, como la realizada por el Ministerio de Fomento, se basa más en el conocimiento local y reconocimiento administrativo formal, que no en la aplicación de una metodología objetiva, de carácter científico, capaz de ser contrastada de forma independiente.
- Finalmente, la metodología de delimitación basada en el commuting residencia/trabajo parece devenir demasiado sensible en el borde metropolitano, especialmente en el caso de municipios de escasa población, en los que deficiencias en la información censal pueden dar como resultado una acusada exageración del proceso de metropolitanización.

El artículo desarrolla la metodología del VI, “down-up”:

- 1) *los protosistemas representan las piezas básicas* en que se estructura el territorio urbano, metropolitano o regional, y son las semillas primigenias del policentrismo: una metrópoli con más protosistemas internos observa una mayor tendencia hacia la descentralización.
- 2) *Los sistemas urbanos configuran las ciudades reales*, más allá de los límites administrativos convencionales. Si los protosistemas son las semillas del policentrismo, los sistemas urbanos, es decir los protosistemas consolidados, representan las piezas fundamentales de la estructura territorial.
- 3) A continuación esos sistemas urbanos se agregan nuevamente en función a su máximo valor de interacción, conformando sistemas territoriales cada vez más extensos, los

⁴ La aportación 5 no incorpora la más reciente delimitación de Functional Urban Areas, realizada por la Unión Europea en colaboración con la OCDE. Ambas instituciones desarrollaron conjuntamente una metodología para definir áreas urbanas funcionales de manera coherente en todos los países (Dijkstra, L., Poelman, H. (2012). *Cities in Europe: the new OECD-EC definition*. EU Commission: Regional Focus 1/2012.).

sistemas “metropolitanos”⁵. *Los sistemas metropolitanos son verdaderas “ciudades de ciudades”.*

- 4) E incluso, más allá de las áreas metropolitanas, la integración de sistemas urbanos por debajo del 1 por mil permite observar la irrupción de estructuras territoriales de mayor alcance, esto es *protoregiones que conforman el espacio de alcance regional*.

La aplicación de la anterior metodología permite la delimitación, a partir de los 8.106 municipios españoles, de 1.531 protosistemas, de los cuales 218 no cumplen la condición de autocontención mínima (fijada en un 50%), lo que conduce a una delimitación definitiva de 1.314 protosistemas consolidados, que, a los efectos del artículo publicado en Scripta Nova, son considerados como sistemas urbanos reales⁶.

La metodología permite la comparación entre los sistemas urbanos reales de MD y BCN, demostrando la gran diferencia de escala entre los mismos. También los de Sevilla, Valencia, Bilbao, Zaragoza, Bahía de Cádiz, Málaga, Gijón-Oviedo, y Las Palmas de GC, que, por este orden, superan los 500.000 habitantes.

Continuando el proceso de integración en función al VI, se sostiene que en 2001 había en España un total de 87 *sistemas metropolitanos* (sin entrecomillar) con una población superior a 50.000 habitantes (áreas metropolitanas según el Censo USA). Junto a esos 87 sistemas metropolitanos, aparecían un total de 130 *áreas micropolitanas* (con una población superior a 10.000 habitantes), así como otros 515 sistemas urbanos de menor población equivalentes al 1 por mil de valor de interacción.

El artículo pone especial atención en los 7 sistemas metropolitanos que superaban el millón de habitantes (por este orden: Madrid, Barcelona, Valencia, Sevilla, Bilbao, A Coruña-Santiago-Ferrol y Málaga-Marbella), así como en los otros 13 que se situaban entre 500.000 y 1.000.000 de habitantes (Gijón-Oviedo-Avilés, Alicante-Elche, Bahía de Cádiz, Murcia-Cartagena, Vigo-Pontevedra, Las Palmas de Gran Canaria-San Bartolomé de Tirajana, Santa Cruz de Tenerife-Puerto de la Cruz, Zaragoza, San Sebastián-Irún, Palma de Mallorca, Valladolid-Palencia, Almería y Granada). En total, 20 grandes áreas metropolitanas compuestas por 191 subsistemas urbanos (consolidados al 50% de autocontención), 282 protosistemas, y 1.466 municipios.

Destaca en los resultados la mayor complejidad de BCN (44 PS y 24 SU) frente a MD (32 PS, 8 SU). 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 Área Metropolitana Madrileña, el de Barcelona tan sólo alcanza a integrar un 56% de los LTL del Área Metropolitana de Barcelona⁷. 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, y puesta de relieve por artículo publicado en Scripta Nova.

Finalmente, y esto es lo que más relevancia tiene para el estudio del Urban Sprawl, *se analiza en detalle el grado de policentrismo/monocentrismo del SU español*. Para ello se construye un

⁵ Se entrecomilla *metropolitanos* ya que no corresponden a un criterio de masa crítica (por ejemplo, los 50.000 habitantes sugeridos por Census Bureau). Los sistemas “metropolitanos” pueden incorporar aglomeraciones de poca población, siempre y cuando integren dos o más sistemas urbanos.

⁶ Analizando la estructura de los SU delimitados en el trabajo, se comprueba que la distribución log-normal, que se propone en la aportación n. 6.

⁷ Se utiliza aquí el término “área metropolitana” como sinónimo de “sistema metropolitano”.

indicador de complejidad, como es la *entropía de SU de cada SM*⁸. Mayor entropía, representa un mayor nivel de policentrismo. Menos entropía, un mayor grado de monocentrismo. Se establece así una categorización de los sistemas metropolitanos que permite evaluar la reiterada tesis **+ Policentrismo** → **- Sprawl**, y que se contrastará en las aportaciones 7, 8 y 9 para los sistemas metropolitanos de Barcelona, Madrid, Los Ángeles y Chicago.

El artículo concentra el análisis de la estructura urbana de los 20 principales sistemas metropolitanos españoles, contrastando la entropía versus la población (en base logarítmica) de las mismas. Barcelona, Coruña y Valencia representan las grandes áreas metropolitanas caracterizadas por un elevado grado de policentrismo. Por su parte, Almería, San Sebastián y Vigo-Pontevedra, corresponden a las AM menores, caracterizadas también por una elevada complejidad. Frente a las anteriores estructuras metropolitanas, Granada, Zaragoza, Palma de Mallorca y Las Palmas de Gran Canaria, son también sistemas metropolitanos menores, pero se caracterizan por su acusado monocentrismo. Finalmente, Sevilla y Madrid tienen también un elevado monocentrismo, a pesar de su gran dimensión demográfica y de actividad económica. El análisis de la entropía confirma, por tanto, una imagen claramente sesgada en cuanto a la complejidad de los sistemas metropolitanos españoles, representando Barcelona y Madrid los ejemplos paradigmáticos del policentrismo y monocentrismo.

Las principales aportaciones de la contribución aquí presentada consisten, por tanto:

- *Confirmar la hipótesis, avanzada por Roca et al 2009, de que es posible simultáneamente definir y delimitar la "metrópoli", a la vez que revelar su estructura interna (monocéntrica/policéntrica).*
- De esta manera se alcanza el objetivo de delimitar y analizar por primera vez en España y para la totalidad de entidades territoriales (municipios) *el conjunto del sistema urbano español.*
- Desde la perspectiva de la tesis, la principal aportación es, además de delimitar el sistema urbano en España, el *establecimiento de una metodología general capaz de determinar el grado de monocentrismo/policentrismo de los sistemas metropolitanos* mediante la entropía de los sistemas urbanos que los conforman. Elemento clave para corroborar (o no) la hipótesis + P → - S.

3.2. La distribución del tamaño de las ciudades. La Ley de Zipf revisitada

La sexta aportación, fue publicada en el núm. 16 de del volumen 6 de ACE, junio de 2011. Sus autores, Josep Roca y Blanca Arellano. Como indicador de calidad hay que indicar que ACE ya se encontraba, en 2011, indexada en Scopus, si bien situada aún en el 4º cuartil (en Urban Studies, pero aún no en Architecture). Aporta, por tanto, 2 puntos. a los efectos de la Normativa de Tesis Doctorales por Compendio de Publicaciones del PD GVUIA. Dicha aportación ha recibido 3 citas según Google Scholar.

⁸ El concepto de entropía informativa fue anticipado por Claude Shannon en 1948. Posteriormente Ramón Margalef utilizó dicho concepto para analizar la diversidad ecológica del territorio, convirtiéndose, a partir de entonces, en un concepto clásico para estudiar la complejidad de los sistemas.

Esta contribución se ha presentado en dos congresos internacionales, obteniendo globalmente un conjunto de 5 citas. Concretamente estas aportaciones vinculadas han sido:

- *La distribución del tamaño de las ciudades. La Ley de Zipf revisitada*, ponencia presentada en el 6 CTV, realizado en Mexicali (Baja California, México), octubre 2010 (<https://revistes.upc.edu/index.php/CTV/issue/view/788>).
- *Does the size matter? Zipf's law for cities revisited*, ponencia presentada en el 51st European Congress of the Regional Science Association International. 2011-08-31 (https://ersa.org/wp-content/uploads/2016/02/conference_program.pdf). Publicación que ha recibido 2 citas. Los congresos de ERSA son considerados notables por la UPC.

La aportación seleccionada en sexto lugar aborda un tema aparentemente colateral al análisis del Urban Sprawl: la validez de la ley de Zipf en el análisis de las estructuras territoriales urbanas. Esta aparente lejanía de la ley analizada, sin embargo, cede lugar cuando se comprende la utilidad de modelar los sistemas urbanos/territoriales en función a su “macrocefalia” (o “microcefalia”).

El artículo destaca como diversos autores (Berry, 1970; Krugman, 1996; Eaton y Eckstein, 1997; entre muchos otros) han experimentado asombro acerca de cómo en la mayor parte de lugares se cumple con una claridad meridiana la ley del “mínimo esfuerzo” establecida por Zipf en 1949 (referida a las estructuras lingüísticas). Las ciudades, ordenadas por población, parecen seguir casi al pie de la letra una función log/log, en la que el logaritmo de la “masa” (población, densidad, número de trabajadores, etc.) se correlaciona de forma casi perfecta con el logaritmo del orden de dicha masa. Esa función log/log, avanzada ya por Pareto en el siglo XIX, ha seducido a no pocos investigadores, al producirse, en hipótesis, tanto en fenómenos naturales (magnitud de los terremotos, tamaño de los meteoritos, número de especies vivas, etc.) como derivados de la sociedad (lenguaje o distribución de ciudades), lo que ha llevado a indagar en sus fundamentos teóricos (Simon, 1955; Brakman et al., 1999; Gabaix, 1999).

Si bien algunos autores (Rosen y Resnick, 1980; Fan y Casetti, 1994) han discutido la validez lineal de la Ley Zipf, introduciendo modelos no lineales, la literatura especializada se ha concentrado en la “cola superior” (“upper tail”) de la jerarquía urbana, las ciudades o áreas metropolitanas grandes, tendiendo a silenciar el hecho de que la función log/log en absoluto parece ser un modelo de alcance general⁹. El artículo publicado en ACE intenta mostrar que cuando se tiene en cuenta la totalidad de casos (es decir, la totalidad de localidades pobladas en un determinado territorio), el modelo log/log parece ser tan sólo un caso singular propio de “los grandes”. De hecho, se pone en evidencia que un modelo log/lin tiende a ser más eficiente, aunque se “dobla por las colas”. Ello ha conducido a la hipótesis, que intenta ser contrastada en la aportación seleccionada, de que el logaritmo de la masa urbana (entendida por su población) tiende a tener

⁹ La literatura especializada se ha sorprendido cuando la Ley de Zipf no se cumple (con la precisión esperada), buscando razones a este supuesto fallo. Kurt Schmidheiny y Jens Suedekumb (2015) (*Economics Letters*, 133. pp 10–13), por ejemplo, aducen a la “pequeña dimensión” de las áreas urbanas europeas el no cumplimiento cabal de la Ley de Zipf. Sin embargo, otras explicaciones son posibles. En primer lugar, la posible falta de solidez de la delimitación de las Large Urban Zones (LUZ) europeas (nuestra experiencia, para Barcelona, evidencia claras insuficiencias). Pero, sobre todo, la no validez universal de la Ley de Zipf, ni siquiera en el “upper tail”. El doblamiento “hacia abajo” del ajuste log-log que evidencian para Europa no significa que “las áreas urbanas europeas sean demasiado pequeñas” (en relación, por ejemplo, a las áreas metropolitanas USA), sino que la estructura urbana del viejo continente es más “policéntrica” que la de EEUU. Si los datos de Eurostat incluyesen la totalidad del sistema urbano, muy probablemente se confirmaría la distribución log-normal propuesta en el artículo de ACE.

una “distribución normal”, conduciendo su distribución acumulada (y ordenada por rango) a distribuirse de acuerdo con una estructura de carácter logístico, en “S”.

En este sentido *la observación reiterada del cumplimiento de la Ley de Zipf en el tamaño de las ciudades sería tan sólo la punta emergida de un “iceberg” más profundo, en el que ciudades medias y pequeñas tienen también su protagonismo, y donde una “ley” de carácter más general emerge.* El mejor desempeño del modelo cuadrático que el log-log en las áreas metropolitanas (>50.000 hab) que en las micropolitanas (10.000/50.000 hab) USA¹⁰, sugiere que la Ley de Zipf (es decir el modelo log-log) no es una aproximación suficientemente buena cuando se considera el conjunto del sistema urbano.

En el trabajo seleccionado, se *contrasta el modelo log-log también para los 8.109 municipios españoles, así como la relativa (a 2009) de los 1.316 sistemas urbanos*¹¹. El conjunto de pruebas realizadas confirma la hipótesis log-normal de la población de los sistemas urbanos, con una contundencia antes no alcanzada para los municipios o las áreas metro y micropolitanas. *La estructura de la población de las ciudades reales parece ajustarse a una distribución log-normal.* Al contrastarse los sistemas urbanos por medio del sistema del valor de interacción, *el resultado parece confirmar la hipótesis de que cuando nos encontramos con ciudades reales, la distribución de la población responde de forma más acentuada a una estructura log-normal.* La mejora de prácticamente todos los indicadores empleados sugiere, de forma contundente, la necesidad de mejorar los trabajos empíricos utilizando no sólo la totalidad del universo urbano, sino, además, la consideración de sistemas urbanos reales.

Haciendo un balance de las aportaciones que realiza la contribución aquí presentada:

- Se confirma la validez de la metodología del Valor de Interacción en el análisis de los sistemas urbanos y metropolitanos (aportación 5). El claro mejor desempeño del modelo log-lin para los sistemas urbanos que para los municipios, representa una corroboración independiente de que la metodología del valor de interacción devuelve ciudades reales. Al menos, más reales que los municipios.
- Se propone que *la Ley de Zipf es tan sólo una singularidad de los “grandes”*. Pero que el comportamiento del conjunto de sistema urbano se ajusta más a un comportamiento log-normal. El trabajo sugiere la necesidad de estudiar no sólo el “upper tail”, sino la totalidad del sistema urbano. Y, por tanto, corrobora la necesidad de disponer de una metodología integral (como la del valor de interacción) para estudiar el sistema urbano en su conjunto. Más allá de los ámbitos administrativos (municipios, áreas metro o micropolitanas).
- Aunque la relación de este trabajo parece tener poca relación con el objetivo general de la tesis de analizar el Urban Sprawl, el análisis de las distribuciones log-log y log-normal permite comprender el grado de macrocefalia o de microcefalia de los sistemas de asentamiento humano. Y, por tanto, del monocentrismo o policentrismo de los sistemas urbanos y metropolitanos.
- El trabajo presenta también, distintas aportaciones técnicas relativas a los test de normalidad (Kolmogorov-Smirnov, Wilcoxon) y a las distribuciones de sistemas (log-log, log-normal, logística, ...). Aportaciones que pueden ser de utilidad en las investigaciones

¹⁰ Véase <https://www.census.gov/programs-surveys/metro-micro/about.html> para una definición detallada de los conceptos de “micropolitan áreas” y “metropolitan áreas”.

¹¹ Respecto a la noción de “sistema urbano”, véase el capítulo siguiente.

de nuestro Programa de Doctorado en las que se presupone la distribución normal de las muestras.

3.3. Estructura urbana, policentrismo y sprawl: los ejemplos de Madrid y Barcelona

La séptima aportación, es el artículo publicado en *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*. 2011. Vol. XLIII, num. 168, p. 299-321. Autores: Josep Roca, Blanca Arellano y Montserrat Moix. Como indicio de calidad cabe indicar que Ciudad y Territorio, a pesar de no estar indexada ni en Scopus ni en ISI Web of Science en aquel momento, ha sido considerada siempre una revista fundamental en el Área de Arquitectura, Urbanismo y Edificación, siendo una de las publicaciones estimadas en la obtención de sexenios de investigación. El trabajo aquí referido ha obtenido 75 citas según Google Scholar, representando la aportación que ha tenido un mayor impacto de las contenidas en esta tesis.

Por su parte, ha generado una publicación vinculada:

- *Eficiencia ambiental y estructura urbana: los ejemplos de Madrid y Barcelona*, ponencia presentada por Blanca Arellano, Montserrat Moix y Josep Roca en *Proceedings of 7VCT*, International Conference on Virtual Cities and Territories. Lisbon, Portugal, 11-13 October 2011. pp 343-350.

La aportación seleccionada en séptimo lugar representa la concreción para Madrid y Barcelona de la metodología del valor de interacción (Roca *et al*, 2009) presentada en la aportación n. 5, *El Sistema Urbano en España*. Va dirigida a evaluar la eficiencia ambiental, concretada principalmente en el consumo de suelo, de la estructura urbana de las dos principales aglomeraciones españolas, partiendo de la ya mencionada hipótesis + **Policentrismo** ➔ - **Urban Sprawl**, y demostrando el menor consumo de suelo en el sistema metropolitano de Barcelona respecto al sistema metropolitano de Madrid.

El artículo revisa la literatura especializada, especialmente en lo que respecta ha puesto al análisis de la tendencia de las estructuras metropolitanas hacia el policentrismo. Se ha roto el paradigma de las ciudades monocéntricas. 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 y que tiene su máxima expresión en Alonso (1964). Frente al downtown tradicional, las metrópolis contemporáneas han visto emerger de forma sistemática 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 la irrupción de los subcentros como auténticas subestructuras hacedoras de ciudad. La mayor parte de la literatura empírica desarrollada en los últimos años adolece de una limitación fundamental: define los subcentros exclusivamente en virtud de la estructura de la densidad de empleo, minusvalorando 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 y que, por tanto, establezcan una dialéctica con él capaz de ser reflejada en flujos de interacción de energía, materia e información.

El trabajo publicado en Ciudad y Territorio intenta sustentar una concepción más profunda de policentrismo desarrollando la metodología del Valor de Interacción que permite simultáneamente:

- 1) Delimitar las áreas o sistemas metropolitanos.
- 2) Identificar los subsistemas metropolitanos articulados en torno a los subcentros.
- 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 marcada hacia el policentrismo. Para ello, más allá de las simples delimitaciones de carácter administrativo¹², repasa los resultados obtenidos para Madrid y Barcelona por las metodologías de delimitación metropolitana desarrolladas por el CPSV de delimitación metropolitana de Censo USA¹³ y del Valor de Interacción (VI), expuesta esta última en detalle en la aportación n. 5 de esta tesis. Dicho análisis permite entrever dos realidades urbanas muy diferenciadas. Más dispersa Madrid que Barcelona. Más compleja y policéntrica ésta última. Finalmente se adopta como ámbitos metropolitanos de estudio las delimitaciones obtenidas por el VI, que se consideran más robustas que las basadas, simplemente, en la atracción por el centro metropolitano de los flujos residencia/trabajo¹⁴.

En el artículo publicado en Ciudad y Territorio se presentan, también, los resultados de la identificación de subcentros obtenidos mediante las metodologías tradicionales: 1) la de umbrales de densidad y empleo; 2) la estándar relativa a determinar los subcentros en función del (logaritmo) de la densidad de lugares de trabajo en base a la distancia al CBD¹⁵; y 3) la de las áreas metropolitanas y micropolitanas del Census Bureau (con los límites de 50.000 y 10.000 habitantes).

Se destaca a continuación la diferencia entre los municipios de Madrid y Barcelona, a los efectos de poder determinar posteriormente su estructura urbana. En el área de Barcelona se

¹² La CCAA de Madrid, o la Región Metropolitana de Barcelona.

¹³ La aplicación de la metodología del Censo americano para la delimitación del área metropolitana de Barcelona fue desarrollada por Roca & Clusa (1997), y extendida, más adelante, al conjunto de metrópolis españolas de más de 500.000 habitantes (CPSV, 2001). 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 (PMA), configuradoras del conjunto consolidado.

¹⁴ Como se ha indicado previamente, cuando se desarrollaron los trabajos relacionados con las aportaciones 5 y 7 aún no se habían presentado los resultados de la nueva delimitación de Functional Urban Areas implementada de forma conjunta por la OCDE y la Unión Europea.

¹⁵ 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, si bien sugiere que Barcelona, con 12 subcentros, parece denotar una mayor tendencia al policentrismo que Madrid, con sólo 8 candidatos. La aplicación del *modelo estándar* (en base a la función exponencial negativa de la distancia al CBD), por su parte, tampoco diferencia de forma significativa Barcelona, que obtiene 18 candidatos, de Madrid, que obtiene 16 (una vez excluidos los municipios con menos de 2.000 LTL).

necesitarían 40 municipios (el último de ellos, Sabadell) para alcanzar los 600 km² de la superficie del municipio de Madrid. Se analizan, asimismo, los continuos urbanos de ambas capitales (obtenidos mediante Corine Land Cover): el protagonismo de Madrid se hace aún más evidente si se comparan los continuos urbanos puesto que los 16 municipios que conforman el continuo madrileño (CLC 2000) agrupaban 2.020.838 empleos (Censo 2001), más que el conjunto del Área Metropolitana de Barcelona¹⁶, y casi un 100% más que su continuo urbanizado de la ciudad condal (1.053.712 empleos), compuesto por 14 municipios.

La aplicación de la metodología del VI permite delimitar, así como determinar con rigor el grado de policentrismo de ambas metrópolis. El análisis de los resultados obtenidos evidencian (para un número equivalente de municipios, 184 para Barcelona, 180 para Madrid¹⁷) que si bien el número de protosistemas no es muy diferenciado, 44 frente a 32 (un 37,5% superior en el sistema metropolitano de Barcelona, SMB, que en el sistema metropolitano de Madrid, SMM), 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.

Lo anterior condensa la diferente complejidad entre ambas metrópolis. La comparación entre Madrid y Barcelona puede sintetizarse, asimismo, con otro indicador: mientras el sistema urbano central madrileño agrupa a más de un 90% de los lugares de trabajo del SMM, el de Barcelona tan sólo alcanza a integrar un 56% de los LTL del SMB. Macrocefalia (Madrid) vs. (relativo) policentrismo (Barcelona) esa es a la conclusión a la que conduce la metodología de delimitación de subcentros basada en el valor de interacción.

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). Se analiza en particular el consumo de suelo, como principal indicador del US. Si bien el consumo de suelo urbanizado per cápita es globalmente inferior en el área metropolitana de Madrid (136,85 m² por habitante) que en la de Barcelona (147,14 m²). Y lo mismo sucede si consideramos el consumo de suelo por lugar de trabajo (306,55 m²/LTL y 350,14 m²/LTL, respectivamente)¹⁸. Sin embargo, este resultado no contradice la hipótesis de partida del trabajo (+ policentrismo, - Sprawl). 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 m² de suelo por habitante (186,42 m² por LTL), en el de Barcelona dicho consumo baja a 53,57 m² (122,61 m² por LTL). Y por supuesto sucede lo mismo en la periferia (el resto del SM una vez descontado el continuo), donde Madrid consume 328,30 m² por habitante (902,25 m² por LTL), por 253,69 m² Barcelona (632,16 m² por LTL).

Además, Barcelona ocupa de forma más intensa el territorio que Madrid, obteniendo sobre la superficie bruta una densidad de 1.208,89 habitantes por km² frente a 755,27 el área madrileña,

¹⁶ Entendida, ésta, como el ámbito administrativo conformado por 36 municipios y una superficie de 636 km², ligeramente superior a la del municipio de Madrid.

¹⁷ Aunque con una superficie muy diferenciada: los 180 municipios del sistema metropolitano de Madrid abarcaban 7.198,29 km², frente a los 3.744,25 km² del sistema de Barcelona.

¹⁸ Esta aparente paradoja se explica debido a las economías de aglomeración. La densidad (o su inversa, el consumo de suelo) mide en buena medida, a escala metropolitana, las economías de aglomeración

un 60% superior. Y algo parecido sucede con la densidad bruta de actividad económica, donde el SMB alcanza 508,02 LTL/km², por 337,17 el SMM.

La evolución 1990-2000-2006 del suelo artificializado (CLC) confirma el mejor desempeño de BCN en el consumo de suelo. Entre 90 y 00, la superficie de suelo artificializado del SMM creció un 51,54% frente al 10,19% del SMB. Y lo mismo continuó sucediendo 00/06. Un 16,7% en Madrid, frente al 6,18% en Barcelona. El Sprawl es superior, por tanto, en Madrid que no en Barcelona.

El artículo publicado en Ciudad y Territorio concluye: “*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*”.

Haciendo un balance de las aportaciones que realiza la contribución aquí presentada, cabe destacar:

- El trabajo seleccionado realiza *un primer estudio de caso* de la aplicación de la metodología del VI presentada por Roca *et al* (2009)¹⁹, tanto para la delimitación de los sistemas urbanos y metropolitanos, como para el estudio de su estructura interior, monocéntrica/policéntrica.
- El estudio realizado permite la *comparación entre los sistemas urbanos y metropolitanos de Madrid y Barcelona*, más allá de elementos que pueden perturbar tal estudio comparado (como la diferente superficie de los municipios cabecera de ambas capitales). La mayor robustez de la metodología del Valor de Interacción, resuelve de forma más eficiente el proceso de delimitación metropolitana.
- Dicha comparación pone en evidencia el *mayor policentrismo del sistema metropolitano de Barcelona respecto al mayor monocentrismo del de Madrid*. Madrid emerge, así, como un ejemplo paradigmático de aglomeración urbana monocéntrica. En cambio, Barcelona muestra una mayor tendencia hacia el policentrismo, a pesar de no ser un ejemplo absoluto de estructura policéntrica.
- Dada la relativa similitud de rango entre ambas metrópolis, el ejercicio realizado confirma una *mayor eficiencia en el consumo de suelo en el caso de Barcelona*. Madrid muestra, en cambio, indicadores preocupantes por lo que respecta al Urban Sprawl.
- Finalmente, el artículo publicado en Ciudad y Territorio representa una corroboración (parcial) de la hipótesis propuesta en la tesis: **+ Policentrismo → - Sprawl**.

La octava aportación, Towards a new methodology to evaluate the urban structure of the metropolitan systems: Chicago and Barcelona Metropolitan Areas as examples consiste en una ponencia presentada y publicada en el *51st European Regional Science Association Congress, New Challenges for European Regions and Urban Areas in a Globalised World*. 30 August – 2 September 2011, Barcelona, Spain. Autores: Blanca Arellano, Montserrat Moix & Josep Roca. Esta aportación está estrechamente relacionada con:

¹⁹ Cabe recordar que esta aportación es anterior en el tiempo (coetánea de hecho) al estudio del conjunto del sistema urbano español presentado en la aportación 5.

La novena aportación, Monocentrism, polycentrism and environmental efficiency Chicago and Los Angeles Metropolitan Areas as examples. Ponencia presentada y publicada en Ponencia presentada en el *52nd European Regional Science Association Congress. Regions in Motion – Breaking the Path.* 21 – 25 August 2012, Bratislava, Slovakia. Autores: Blanca Arellano, Montserrat Moix & Josep Roca.

Como indicios de calidad de ambas aportaciones indicar que los congresos de ERSA son considerados como notables por la UPC, aportando 2 puntos (conjuntamente) a los efectos de la Normativa de Tesis Doctorales por Compendio de Publicaciones del PD GVUIA. Han recibido (la octava aportación) una cita, según Google Scholar, a la que habría que añadir las otras 3 recibidas por una publicación vinculada (a la novena aportación):

- *Valor de interacción y estructura urbana. Los Ángeles y Chicago como ejemplos* (<https://revistes.upc.edu/index.php/CTV/article/view/7700>). Autores: Josep Roca, Blanca Arellano & Montserrat Moix. Ponencia publicada en *Proceedings of 7VCT, Lisbon, Portugal, 11-13 October 2011.*
- Asimismo cabe citar, vinculada a la novena aportación, la ponencia *Urban Structure and Sustainability: Chicago and Los Angeles Metro Areas*, presentada en APPAM 2018, (<https://appam.confex.com/appam/int18/webprogram/Paper25284.html>) Mexico City, July 19 – 20.

Ambas aportaciones desarrollan *el desafío de aplicar la metodología del Valor de Interacción a realidades urbanas muy diferenciadas a España. Concretamente a los EEUU de América.* Dicha metodología ya había sido aplicada con éxito a otros lugares de cultura similar a la española²⁰, pero las aportaciones octava y novena representan la primera vez que se aplicó tal metodología a formas de asentamiento humano y de organización administrativa²¹ muy alejadas a la latina, representando un reto acerca de su validez universal²². Representan, asimismo, *un esfuerzo para verificar la hipótesis de la mayor eficiencia del policentrismo en el consumo de suelo*, complementando el análisis realizado en la aportación séptima.

3.4. Towards a new methodology to evaluate the urban structure of the metropolitan systems: Chicago and Barcelona Metropolitan Areas as examples

La octava aportación aborda el caso de Chicago y lo compara con Barcelona. Como se ha indicado previamente, la metodología desarrollada del Valor de Interacción permite delimitar simultáneamente los diversos niveles de estructura urbana: el sistema metropolitano en su conjunto, los subsistemas articulados en torno a los subcentros emergentes, ya de forma consolidada (sistemas urbanos), ya en embrión (protosistemas), por medio de la medición de las relaciones funcionales entre vivienda y lugar de trabajo. Al mismo tiempo, el Valor de

²⁰ Véase a tal efecto los trabajos de Raquel de Deus, Jose Antonio Tenedorio y Montserrat Moix sobre Portugal (<https://revistes.upc.edu/index.php/ACE/article/view/2576>) o el de Nancy Ruiz Estupiñán sobre Bogotá (<https://revistes.upc.edu/index.php/ACE/article/view/2554>), convertido posteriormente en su tesis doctoral (<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/96193?show=full>).

²¹ Por lo general, la división administrativa mediterránea se estructura en municipios (concelhos en Portugal, comunes en Francia, comuni en Italia). Muy diferente a la estructura administrativa en EEUU: counties y places.

²² Posteriormente la metodología del VI se ha utilizado con éxito para analizar otras realidades urbanas, como la delimitación y estructura metropolitana del Valle de México, o el sistema metropolitano de París.

Interacción permite la evaluación del grado de policentrismo más allá de la simple identificación de subcentros. Y, de esta manera, corroborar (o no) la hipótesis de que la estructura de la ciudad policéntrica es más eficiente, desde una perspectiva ambiental, que la monocéntrica. De esta forma, y tomando los casos de las áreas metropolitanas de Chicago y Barcelona como ejemplos de diferentes tipos de estructura urbana, se evalúa la eficiencia de sus sistemas metropolitanos desde la doble perspectiva del consumo de suelo y la movilidad sostenible.

La Combined Statistical Area (CSA) de Chicago, según el Censo de 2000, tenía una población de 9.312.255 habitantes y 4.241.813 empleos, distribuidos en 16 Counties, 397 places y 2.107 tracts²³, y un área de 21.981,3 km². El sistema metropolitano de Barcelona, basado en la Región Metropolitana de Barcelona (RMB), según el Censo de 2001, tenía una población de 4.390.390 habitantes, y 1.860.278 empleos, distribuidos en 7 comarcas y 164 municipios, y una superficie de 3.241,95 km². Estos eran los ámbitos *administrativos* de ambas metrópolis, cuya validez pretende, el trabajo presentado en ERSA, contrastar mediante la metodología del Valor de Interacción.

Primero de todo se analiza la *aglomeración morfológica* de ambas metrópolis, utilizando tanto la información gráfica y alfanumérica suministrada por CLC 2000 (Barcelona) y NLCD 2000²⁴. En Chicago el continuo urbano (hasta 200 metros de discontinuidad) alcanza una superficie de 4.869,7 km², el 77,95% del suelo artificializado de la CSA, mientras que en Barcelona alcanza sólo 241,76 km², un 37,23% del total de suelo urbanizado de la RMB. Lo anterior, confirma, al parecer de la aportación seleccionada, la *inadecuación de los criterios morfológicos basados en la continuidad de la urbanización para la delimitación de las metrópolis*, ya que, si en el caso de Chicago el continuo urbano cubre la gran mayoría del suelo artificializado, en el caso de Barcelona se limita a poco más del centro metropolitano. Pero más allá de la adecuación o no de los criterios morfológicos, los resultados del continuo urbano evidencian las grandes diferencias existentes entre Barcelona y Chicago: a pesar de que la población *administrativa* (es decir, de la CSA y la RMB) de Chicago era, en 2000, “sólo” un 2,12 veces mayor que la de Barcelona, el continuo urbano lo era ¡¡20,14!! Un modelo de urbanización completamente distinto.

A continuación la ponencia aplica la metodología de delimitación del Census Bureau para New England (15% iterativo) tanto para Chicago como para Barcelona y se comparan los resultados. Tal análisis comparado confirma la existencia de dos estructuras muy diferenciadas. No sólo por el tamaño de las áreas metropolitanas resultantes (diez veces más extensa la de Chicago que la de Barcelona, por apenas el doble de población), sino también por sus estructuras internas: más consumo de suelo en el área de Chicago y territorio más fragmentado en el área de Barcelona. El trabajo también realiza, para Chicago, un análisis de sensibilidad con el 15-20-25-30% iterativo

²³ Para una definición de los conceptos “place” y “tract”, véase <https://www.census.gov/programs-surveys/geography/about/glossary.html>. En líneas generales se puede indicar que los “places” sería similares a nuestros municipios (aunque sin “agotar” el territorio). Por lo general son “towns” o “cities”. Mientras que los “tracts” serían similares a nuestras secciones censales; agotando, eso sí, como los counties, el territorio.

²⁴ Véase <https://www.mrlc.gov/data/nlcd-land-cover-conus-all-years> para el caso de USA, y para Barcelona <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>. Como se indica en la página web de NLCD “The U.S. Geological Survey (USGS), in partnership with several federal agencies, has developed and released five National Land Cover Database (NLCD) products over the past two decades: NLCD 1992, 2001, 2006, 2011 and 2016. These products provide spatially explicit and reliable information on the Nation’s land cover and land cover change.” Representa, por tanto, una base de datos similar a la de CLC para Europa.

de commuting residencia trabajo²⁵, obteniendo un resultado, medido en población del área metropolitana, entre 7 (30%) y 8,66 (15%) millones de habitantes²⁶.

El trabajo aplica la metodología del VI, sustituyendo los municipios (en el caso de Barcelona) por los “places” en Chicago. En el caso de los tres estados adyacentes a Chicago (Illinois, Indiana y Wisconsin), los 2.544 places originales (5.696 tracts) se agrupan en 507 protoplaces continuos. Estructurados a partir de los tracts, estos protoplaces comprenden un total de 488 protosistemas. Y estos protosistemas convergen en 207 sistemas urbanos consolidados (al 50% de autocontención). En cuanto a la delimitación metropolitana, el sistema metropolitano de Chicago cierra, al 1 por mil de valor de interacción, con 351 places, 17.403 km², 8.911.577 habitantes y 4.043.206 puestos de trabajo (2000). La delimitación del área metropolitana de Barcelona cierra con 184 municipios, 3.744 km² y 1.903.795 (2001), acercándose de forma significativa a la RMB.

La metodología empleada no sólo permite comparar de forma homogénea las metrópolis de Barcelona y Chicago, sino también *chequear la validez de la metodología del Valor de Interacción en relación a la metodología oficial del Census Bureau*. A juicio de los autores de la ponencia presentada en ERSA, en el caso del sistema de Chicago, delimita más precisamente que la CSA el ámbito metropolitano real, excluyendo de este ámbito los sistemas urbanos caracterizados por un alto grado de autonomía e identidad que los distingue de la capital, como es el caso de los Kankakee-Bradley county, o de algunas partes de otros sistemas metropolitanos como Kenosha, Wisconsin.

Pero, sobre todo, el trabajo permite constatar el mayor grado de monocentrismo de Chicago: tan sólo 8 sistemas urbanos (66 protosistemas), frente a BCN (24 sistemas urbano, 44 protosistemas).

La metodología del VI permite no sólo identificar los subcentros y las unidades funcionales asociadas a ellos, sino también comprender las diferentes estructuras metropolitanas de Chicago y Barcelona. En este sentido, “rompe” una lectura de los territorios de ambas ciudades que trasciende la perspectiva que ofrecen la mayoría de los estudios especializados; una lectura que revela un mayor grado de policentrismo en Barcelona, que en Chicago.

En suma, el estudio de los sistemas metropolitanos de Chicago y Barcelona presentada en el trabajo de ERSA parece confirmar que *la metodología del Valor de Interacción permite el análisis comparado entre diferentes realidades urbanas (históricas, sociales, económicas o territoriales) de las metrópolis*. La metodología ensayada en las aportaciones 5 (Sistema Urbano en España) y 7 (análisis específico de Madrid y Barcelona) supera la “prueba del algodón” en su aplicación a una realidad tan diferenciada como el caso de Chicago.

El trabajo permite comparar los dos modelos de urbanización que representan Barcelona y Chicago. En el caso de Barcelona el consumo de suelo asciende a 147,14 m² de suelo artificializado por habitante. En el de Chicago, 592,69. *Cuatro veces superior el consumo de suelo artificializado por habitante en Chicago respecto a Barcelona*. Si la comparación se realiza con la

²⁵ A fin de evaluar la relativa arbitrariedad de aplicar exclusivamente el 15% de commuting residencia/empleo, Marmolejo *et al* (2010) sugirieron utilizar diferentes umbrales.

²⁶ Cabe remarcar las diferencias existentes entre dichos resultados y la población oficial de la CSA según el Census Bureau. La razón de esa diferencia cabe encontrarla en la diferente metodología utilizada: los places en el caso de la metodología de New England, y los counties en el caso general de los USA (excepción hecha de New England).

densidad bruta, Barcelona con 12.113 habitantes por km² supera en 23,2 veces la densidad de Chicago, 520 habitantes por km².

3.5. Monocentrism, polycentrism and environmental efficiency. Chicago and Los Angeles Metropolitan Areas as examples

La novena aportación, contrasta la validez de la metodología del valor de interacción, y la hipótesis de la mayor eficiencia del policentrismo para los casos de Chicago y Los Ángeles.

Se analizan, en primer lugar, las delimitaciones metropolitanas oficiales de Chicago y Los Ángeles establecidas por el Census Bureau. Dicha metodología se basa en la movilidad residencia-trabajo a nivel de county, mediante la definición de uno o varios counties centrales, y una periferia delimitada en virtud a un determinado umbral de atracción experimentado por el centro (p.e. > a un 25% de la población ocupada residente –POR- de los counties periféricos)²⁷.

En primera instancia el resultado de la delimitación oficial metropolitana parece confirmar la creencia generalizada de que Los Ángeles es un ejemplo de dispersión urbana. La densidad (bruta), tanto de población (186,16 vs. 423,64 habitantes por km²) como de empleo (74,75 vs. 192,97 LTL/km²) de la metrópolis angelina respecto a la de la capital de Illinois, parece abonar esa idea. Idea que se convierte en “leyenda urbana” si se analiza la densidad neta. La incorporación del suelo artificializado, obtenido mediante NLCD (USGS), evidencia que, en realidad, *Los Ángeles tiene un menor consumo de suelo por habitante y empleo que Chicago: 457,65 (1.139,82 m² por LTL) respecto a 610,68 (1340,66)*. Esa diferencia se debe debido al muy diferente tamaño de los counties (muy grandes en el caso de Ángeles, dada la inclusión de zonas desérticas muy extensas). Eso determina una superficie excesivamente grande en el caso de LA,

²⁷ Como se ha indicado, la metodología de delimitación metropolitana realizada por el Census Bureau (en realidad por Office Management and Budget, OMB) es compleja. En primer lugar, se definen las “*Core based statistical Areas*” (CBSA). “Each CBSA must have a Census Bureau defined urbanized area of at least 50,000 population or a Census Bureau defined urban cluster of at least 10,000 population”. Para ello se delimitan previamente los “*Central counties*”. “The central county or counties of a CBSA are those counties that: (a) have at least 50 percent of their population in urban areas of at least 10,000 population; or (b) have within their boundaries a population of at least 5,000 located in a single urban area of at least 10,000 population. A central county is associated with the urbanized area or urban cluster that accounts for the largest portion of the county’s population. The central counties associated with a particular urbanized area or urban cluster are grouped to form a single cluster of central counties for purposes of measuring commuting to and from potentially qualifying outlying counties”. A continuación, se definen los “*outlying counties*”. “A county qualifies as an outlying county of a CBSA if it meets the following commuting requirements: (a) at least 25 percent of the employed residents of the county work in the central county or counties of the CBSA; or (b) at least 25 percent of the employment in the county is accounted for by workers who reside in the central county or counties of the CBSA”. “Categories of CBSAs are: Metropolitan Statistical Areas, based on urbanized areas of 50,000 or more population, and Micropolitan Statistical Areas, based on urban clusters of at least 10,000 population but less than 50,000 Population”. Finalmente se conforman las *Combined Stastical Areas* (CSA): “Any two adjacent CBSAs will form a Combined Statistical Area if the employment interchange measure between the two areas is at least 25%”. Para más información, véase Federal Register / Vol. 65, No. 249 / Wednesday, December 27, 2000.

en comparación a Chicago. La diferencia de escala entre ambas áreas metropolitanas se hace más evidente si se compara la población (un 76% superior en Los Ángeles) y el empleo (un 55%). El suelo artificializado, en cambio, es tan sólo un 32% superior en LA, lo que confirma nos encontramos ante una metrópoli menos dispersa que Chicago. Como ya se indicó en la aportación n. 2, y en contra de la imagen convencional comúnmente adoptada, Los Ángeles es la más densa de las áreas metropolitanas americanas.

A fin de validar la metodología del Valor de Interacción al modelo administrativo de los EEUU, se adapta dicha metodología aplicándola a los places y los tracts de los estados de California y Illinois-Indiana-Wisconsin. Lo anterior permite, en la ponencia presentada en ERSA, concentrar los 7.049 tracts de California en 188 protosistemas, así como en 102 sistemas urbanos consolidados al 50% de autocontención. De igual modo los 5.696 tracts de Illinois-Indiana-Wisconsin se han estructurado en 486 protosistemas, así como en 206 sistemas urbanos. La delimitación metropolitana se cierra, en el caso de Los Ángeles, con un territorio de 61.695 km², que incluye *45 protosistemas estructurados en 13 sistemas urbanos, una población de 16.005.014 habitantes y 6.409.654 empleos*. Por su parte el área de Chicago agrupa *66 protosistemas organizados en 8 sistemas urbanos, distribuidos en un territorio de 17.129 km², con una población de 8.911.577 habitantes y 4.041.382 lugares de trabajo*.

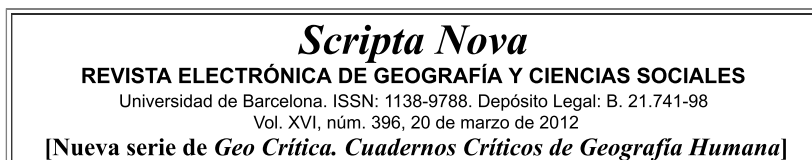
Los Ángeles no sólo confirma su mayor rango, lo que la ha llevado a representar la segunda metrópolis de EEUU (frente a la tradicional *Second City* que representaba Chicago) sino que muestra *una estructura más policéntrica* (con 13 frente a 8 sistemas urbanos), siendo más densa, que la capital de Illinois. La complejidad del sistema metropolitano (medida a partir de la entropía de Shannon de la distribución de la población de los sistemas urbanos) de Los Ángeles es muy superior a la del sistema metropolitano de Chicago: 1,7244 frente a 1,2515, lo que confirma su mayor policentrismo.

La aportación confirma no sólo el mayor policentrismo de la metrópolis angelina. También su menor consumo de suelo: 439,47 m² de suelo por habitante en el caso de LA, y 592,69 en el de Chicago. ¡Un 34,9% de mayor consumo de suelo en Chicago!

Resumiendo, las principales contribuciones de la novena aportación pueden sintetizarse como sigue:

- En primer lugar, se constata de nuevo (como en la aportación octava) la validez de la metodología sugerida por Roca *et al* (2009) para la delimitación de sistemas urbanos y metropolitanos en distintas realidades a las de la península ibérica. De esta manera se *delimitan los sistemas metropolitanos de Chicago y Los Ángeles*, de forma congruente con las delimitaciones oficiales del Census Bureau. Incluso, puede afirmarse, de forma más ajustada, al atender no a los counties (cuya conformación es, a veces, artificiosa), sino a los places y los tracts.
- La metodología del Valor de Interacción permite analizar la estructura del segundo y tercer sistema metropolitano de USA, confirmando el *mayor policentrismo de Los Ángeles y el acusado monocentrismo de Chicago*.
- Finalmente, el análisis del suelo artificializado revela *un menor consumo de suelo en Los Ángeles respecto a Chicago*. Parece confirmarse, así, como en la comparación Madrid/Barcelona, la hipótesis de la tesis: **+ Policentrismo → - Sprawl**.

Las cinco aportaciones seleccionadas en esta sección muestran, de forma progresiva, la validez de la metodología del Valor de Interacción tanto para delimitar las estructuras metropolitanas, como identificar su estructura interna. El primer trabajo (quinta aportación) abordaba la totalidad del Sistema Urbano Español. El tercer trabajo (séptima aportación) el análisis comparado de las dos principales metrópolis españolas, Madrid y Barcelona. Análisis que se complementa, para el caso de EEUU, con el estudio de Chicago (octava y novena aportación) y Los Ángeles (novena aportación). La metodología del VI se ve, así, validada a nivel internacional. También la hipótesis de la mayor eficiencia de las estructuras policéntricas respecto a las monocéntricas en cuanto al consumo de suelo. Finalmente, la aportación sexta desarrolla una metodología (basada en el análisis crítico de la Ley de Zipf), que permite evaluar la validez de las metodologías de definición de ciudades reales que realiza el método del Valor de Interacción, así como, en potencia, estudiar la macro o microcefalia de los sistemas territoriales de asentamiento humano.



EL SISTEMA URBANO EN ESPAÑA

Josep Roca Cladera

Centro de Política de Suelo y Valoraciones – Universidad Politécnica de Cataluña
josep.roca@upc.edu

Montserrat Moix Bergadà

Centro de Política de Suelo y Valoraciones – Universidad Politécnica de Cataluña
montserrat.moix@upc.edu

Blanca Arellano Ramos

Centro de Política de Suelo y Valoraciones – Universidad Politécnica de Cataluña
blanca.arellano-ramos@upc.edu

Recibido: 12 de abril de 2011. Devuelto para revisión: 13 de septiembre de 2011. Aceptado: 24 de noviembre de 2011.

El sistema urbano en España (Resumen)

La literatura especializada ha planteado distintas aproximaciones para la *delimitación de los sistemas urbanos y metropolitanos*. Aspectos administrativos (las unidades administrativas históricamente heredadas), morfológicos (el continuo urbano), vinculados a la existencia de economías de aglomeración (densidades de población y empleo, actividades económicas urbanas...), o a la interacción funcional (*commuting* residencia-trabajo) han sido utilizadas para la definición del hecho metropolitano. A su vez se ha desarrollado, en los últimos años, una amplia literatura que ha venido a revelar la progresiva tendencia de las estructuras urbanas hacia el *policentrismo*. Se ha roto, sin duda, el paradigma de las ciudades monocéntricas, estructuradas en torno a un único CBD. Frente al *downtown* tradicional, las metrópolis contemporáneas han visto emerger el fenómeno de los subcentros. Sin embargo pocos esfuerzos se han dirigido a abordar de forma integrada los dos aspectos mencionados: a) la delimitación urbano-metropolitana, y b) el análisis de la estructura interna de los sistemas urbano-metropolitanos.

Este trabajo aborda el reto de delimitar tanto los sistemas urbanos como su composición interior, estructurada en subsistemas articulados en torno a distintos subcentros. La metodología desarrollada a partir del *Valor de Interacción* permite delimitar simultáneamente esos dos niveles de estructuración urbana: el sistema urbano-metropolitano en su conjunto y los subsistemas articulados alrededor de los subcentros, “emergentes” o “maduros”, mediante las relaciones funcionales que se establecen entre el mercado de trabajo y el de residencia. A su vez, el concepto de valor de interacción permite evaluar el grado de policentrismo de las *ciudades*, más allá de la simple identificación de subcentros desarrollada en la literatura especializada.

En este sentido, y a partir de la matriz de movilidad residencia-trabajo ofrecida por el Censo de 2001, el presente estudio delimita los sistemas urbanos y metropolitanos de toda España, a la vez que ofrece datos novedosos en relación a la estructura interna de dichos sistemas.

Palabras clave: sistemas urbanos, valor de interacción, policentrismo, subcentros.

The Urban System in Spain (Abstract)

The specialized literature has proposed various approaches to the delimitation of urban and metropolitan systems. Administrative aspects (administrative units historically inherited), morphological (urban continuum), some linked to the economies of agglomeration (population and employment density, urban economic activities, ...) or functional interaction (home-work commuting) have been used for the definition of a metropolitan area. At the same time it has developed in recent years, an extensive literature that has come to reveal the progressive trend of the metropolitan areas to the polycentrism. There is no doubt that the monocentric city paradigm, structured around a single CBD, is broken. The contemporary metropolises have seen the emergence of the phenomenon of the sub centers. However, few efforts have been directed to address the two aspects together: a) the urban-metropolitan delimitation and b) the analysis of its internal structure.

This paper addresses the challenge of defining both the metropolitan systems and their internal composition, structured or not around different sub centers. The methodology developed of the Interaction Value simultaneously allows delimiting these two levels of urban structure: the metropolitan system as a whole and the subsystems articulated around the emerging or consolidated sub centers, by measuring the functional relationships between housing and workplaces. At the same time, the Interaction Value assesses the degree of polycentrism beyond the simple identification of sub centers developed in the literature.

In this sense, and using the mobility matrix supplied by the Census of 2001, this paper delimitates the urban and metropolitan systems in Spain, and presents new results concerning the internal structure of such systems.

Key words: urban systems, interaction value, polycentrism, sub centers.

La definición de esas formaciones históricas que son las *metrópolis* ha concentrado, especialmente desde mediados del siglo pasado, una importante atención en la literatura especializada[1].

En apenas un siglo se ha producido una transformación radical de la ciudad. La ciudad amurallada, cerrada al exterior, reducto de acusada actividad económica y densidad demográfica en el marco del espacio rural, ha dado paso a la difusión del fenómeno urbano y de las redes de urbanización en la práctica totalidad del territorio. Se ha producido una “*inversión topológica del paisaje*”[2], lo “urbano” ha pasado de ser una isla en la inmensidad del océano rural, a representar la globalidad del espacio en el que se insertan “sistemas” naturales o agrarios más o menos aislados.

El desbordamiento de los límites administrativos por parte de la urbanización ha conducido a la superación del viejo concepto de *ciudad*[3] y a su sustitución por otros con los que se ha intentado comprender los nuevos fenómenos territoriales. Áreas metropolitanas y micropolitanas, aglomeraciones, conurbaciones, sistemas urbanos diarios (*daily urban systems*), mercados de trabajo locales (*local labour markets*), regiones urbanas funcionales (*functional urban regions*), megalópolis, megaciudades regionales (*mega-city regions*), han sido, entre otros, conceptos con los que se ha intentado sustituir la “caduca” noción de ciudad.

Desde que en 1910 la Oficina del Censo de los USA regulase los *distritos metropolitanos*, se han sucedido los esfuerzos para definir y delimitar los nuevos artefactos que han venido a sustituir a nuestras antiguas y queridas ciudades. A *criterios físicos*[4], basados en la morfología de la urbanización y muy especialmente el continuo urbano, le sucedieron criterios de orden *demográfico*[5] y *económico*[6] para la definición de las metrópolis. Pero han sido sin duda las *delimitaciones funcionales*[7], especialmente de aquellas basadas en la relación residencia/trabajo, las más difundidas y utilizadas a lo largo de los últimos decenios (la figura 1 presenta un resumen de las principales aportaciones).

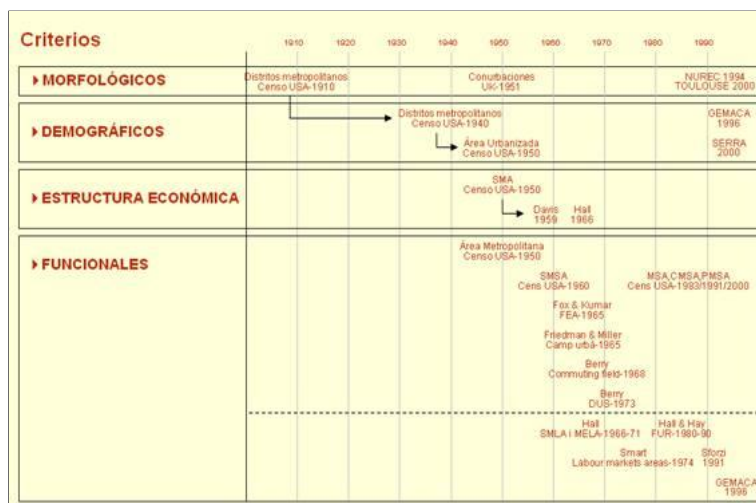


Figura 1. Evolución de los criterios de delimitación de Áreas Metropolitanas.
Fuente: Elaboración propia.

El desarrollo ulterior de los procesos de urbanización a escala planetaria, particularmente la difusión del *sprawl*[8] a partir de la década de los 70 de la pasada centuria, ha llevado a poner en duda la validez de esas estructuras, las metrópolis, con las que se había venido a sustituir el viejo concepto de ciudad.

La *literatura geográfica* se ha esforzado en comprender esos nuevos procesos urbanos, más allá muchas veces del simple hecho metropolitano. De este modo se han elaborado nuevos términos para describir los fenómenos de fin de siglo: a los de *contraurbanización*, *desurbanización* y *rururbanización*[9], acuñados en la década de los 70 y los 80, se les han añadido más recientemente los de *ciudad difusa*, *periurbanización*, *edge cities*, *ciudad reticular*, *ciudad sin centro* o *periferia sin centro* o *metápolis*[10], entre otros muchos. Conceptos, todos ellos, que pivotan en torno a una idea central: la caída del paradigma christalleriano[11], es decir del sistema jerárquico del territorio basado en la centralidad, esto es, en el poder de atracción ejercido por los lugares centrales.

Esa literatura de fin de siglo ha llevado a diversos autores a cuestionar[12] si en la era del *sprawl*, en la época de la difusión de la telaraña de la urbanización en la práctica totalidad del territorio, es posible poner límites a la *ciudad sin confines* que caracteriza el actual proceso urbanizador. Proceso que ha convertido en borrosas las tradicionales distinciones entre campo y ciudad, centro y suburbio, metrópolis y espacios no metropolitanos. En este sentido, cualquier esfuerzo dirigido a redefinir las metrópolis o, más allá, cualquier tipo de estructura urbana que las viniese a sustituir, estaría abocado al fracaso.

Por su parte, la *literatura económica* no ha llegado a conclusiones semejantes en relación a la necesidad de dejación del concepto de ciudad, o de su equivalente moderno, la metrópoli. Si bien es cierto que dicha literatura ha puesto de manifiesto que el desarrollo urbano contemporáneo ha ido alejando de forma progresiva la estructura urbana de las áreas metropolitanas del modelo estándar de la economía locacional[13] y que ha constatado, a escala regional, la progresiva complejificación de las estructuras territoriales desveladas por Christaller, también lo es que no ha puesto en discusión el concepto último en el que dichos modelos (de escala intraurbana y regional) descansan, esto es, las *economías de aglomeración*, es decir el papel atractor de los centros frente a la ausencia de externalidades positivas del *vacío* que representan los entornos rurales. De esta manera, las metrópolis han continuado siendo, por lo general, el objeto de análisis hacia el que han prestado atención los economistas urbanos y regionales[14].

El análisis de la realidad del desarrollo urbano a partir de la década de los 80 ha constatado cambios sustanciales en la estructura de las áreas metropolitanas[15]: cambios que no pueden ser explicados por el modelo estándar de la economía locacional. 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[16] 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 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 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[17], en cambio, dirigidos a evidenciar el progresivo protagonismo 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[18], le siguió una literatura renovada[19] 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 las aglomeraciones urbanas contemporáneas. 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 de empleo. Ni siquiera que esas irregularidades manifiesten interdependencias estadísticas con la distribución espacial de las densidades residenciales. Es necesario, además, que dichos nodos representen auténticos elementos vertebradores de subsistemas urbanos dentro de la estructura general de la metrópolis. 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[20].

Desde una doble perspectiva geográfica-económica, el presente artículo parte de la hipótesis de que *es posible simultáneamente definir y delimitar la “metrópoli”, a la vez que revelar su estructura interna (monocéntrica-policéntrica)*. Este es el objeto del presente trabajo, cuya finalidad última no es sino proponer un procedimiento general para la comprensión de los sistemas territoriales y urbanos en la sociedad contemporánea.

Desde la primera de esas perspectivas, la delimitación de la “metrópoli” (o, más en general, de la “ciudad”), si bien es un hecho cierto y constatado la no existencia de *fronteras* en los actuales fenómenos de urbanización[21], se parte de la hipótesis de que dichos conceptos pueden ser re-definidos en función de la teoría de sistemas. La Teoría General de Sistemas, desarrollada en el curso de los últimos decenios, nos ha enseñado como abordar el análisis de sistemas complejos como los ecosistemas urbanos. En particular nos ha mostrado que la definición y delimitación del sistema, con relación a su entorno, es un elemento intrínsecamente arbitrario, dependiente tan sólo de la escala de resolución del análisis, en tanto en cuanto “sistema” y “entorno” forman parte de una única realidad. La clave, por tanto, se encuentra en determinar el grado de definición, la escala, del análisis propuesto. En este sentido nuestro grupo de investigación ha propuesto distinguir tres escalas diferenciadas:

- La *escala local*, basada en las interacciones fuertes existentes entre núcleos de población próximos. *Sistemas locales* (que aquí llamamos protosistemas) que, independientemente de las divisiones administrativas (municipios), representan el componente básico del sistema urbano.
- La *escala intermedia*, urbano-metropolitana, que permite reconocer los *sistemas metropolitanos*, así como, en general, los *sistemas urbanos* que estructuran el territorio al nivel regional.
- La *gran escala*, la cual capacita la delimitación de las regiones (independientemente de las divisiones administrativas de este carácter). *Sistemas regionales* (o subregionales) que, estructurados a partir de una red de sistemas urbanos específica, permiten una interpretación global del espacio.

En el campo de la *literatura económica*, 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[22]. Expresiones de la complejidad y la diversidad de la ciudad, frente a la banalización y simplicidad de la mayor parte de las periferias. Se parte de la hipótesis, por tanto, que los centros y subcentros configuran la metrópoli como una *ciudad de ciudades*[23]. Un área metropolitana compuesta por subsistemas urbanos -los sistemas locales definidos en la pequeña escala- caracterizados por un mayor o menor monocentrismo, policentrismo o dispersión.

Este artículo tiene, en consecuencia de lo anterior, el objetivo central de aplicar para el conjunto del territorio español una nueva metodología de delimitación y análisis de la estructura de las *ciudades y áreas metropolitanas*. Una metodología que, a diferencia de las aproximaciones al uso, permita la delimitación simultánea de los “artefactos” a analizar, los sistemas urbanos y metropolitanos, así como de los subsistemas que los estructuran. Subsistemas articulados en torno a “cabeceras”, esto es, a máximos locales de densidad y de empleo y, por tanto, a 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 urbana de las entidades identificadas. En este sentido irrumpe una lectura de los territorios que creemos trasciende la perspectiva ofrecida por la mayor parte de los trabajos especializados.

La delimitación de las metrópolis en España

Desde que a mediados del siglo pasado se definiesen las zonas de influencia de las grandes ciudades españolas (Gran Madrid 1944; Gran Bilbao, 1946; Gran Valencia, 1949; y Gran Barcelona, 1953), a efectos de planeamiento urbano, se han sucedido los esfuerzos de delimitación de las metrópolis. Los trabajos pioneros de la Dirección General de Urbanismo (1965), condujeron a la definición de nuevos ámbitos de planeación metropolitana en Madrid (1964) y Barcelona (1966). El primero con 24 municipios y 1.739,44 km², el segundo con 164 municipios y 3.271,51 km². La figura 2 reproduce los ámbitos de planeamiento metropolitano de Madrid y Barcelona adoptados en los 60[24].

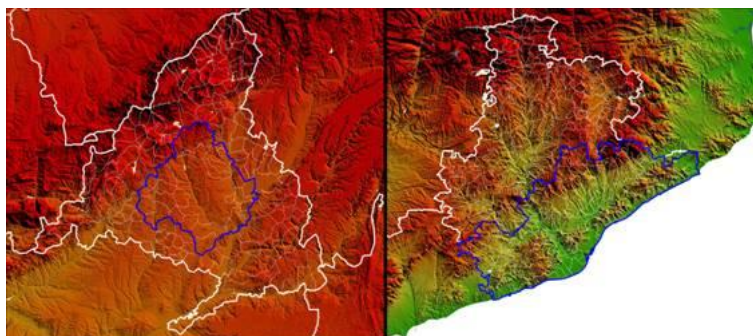


Figura 2. Ámbitos de planeamiento Metropolitano de Madrid y Barcelona de la década de los 60.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de estos trabajos iniciales se han sucedido los esfuerzos para proceder a una definición metropolitana rigurosa, lo que ha generado una muy rica literatura especializada, aunque normalmente limitada a la escala local[25]. Mucho más escasos han sido los trabajos que se han planteado el análisis global del sistema urbano español. Entre los más destacados cabe mencionar:

- Desde la perspectiva *morfológica* de identificación de los continuos urbanos es significativo el trabajo que realizó NUREC en 1994, para toda la Unión Europea. NUREC delimitó, para la división municipal de 1991, los continuos urbanizados a 200 metros de las aglomeraciones urbanas con una población total superior a 100.000 habitantes. Resultaron 53 aglomeraciones: 3 con población superior al millón de habitantes (Madrid, Barcelona y Valencia), 5 con población comprendida entre 500.000 y 1.000.000 (Bilbao, Sevilla, Zaragoza, Las Palmas y Málaga), 8 entre 300.000 y 500.000, 12 entre 200.000 y 300.000, así como el resto (25) entre 100.000 y 200.000. Esas aglomeraciones, o *áreas urbanizadas* si siguiésemos la denominación del Censo USA, no siempre eran plurimunicipales. De hecho 24 de esas aglomeraciones tenían sólo un municipio; 12 entre 2 y 4 municipios (entre ellas Madrid), 13 entre 5 y 10, y sólo 4 con más de 10 municipios (Valencia, Bilbao, Barcelona y Murcia). De su análisis se constata la dificultad de la metodología basada en los continuos urbanizados para identificar áreas metropolitanas reales. Destaca, así, la delimitación de 7 aglomeraciones en el área madrileña (Madrid-Coslada, Leganés-Getafe, Fuenlabrada-Parla, Móstoles, Alcalá, Alcorcón y Alcobendas-San Sebastián de los Reyes), así como 4 en el área de Barcelona (el continuo urbanizado de la ciudad condal, Sabadell-Cerdanyola, Terrassa y Mataró). La figura 3 muestra alguno de los continuos urbanizados cercanos a Barcelona.

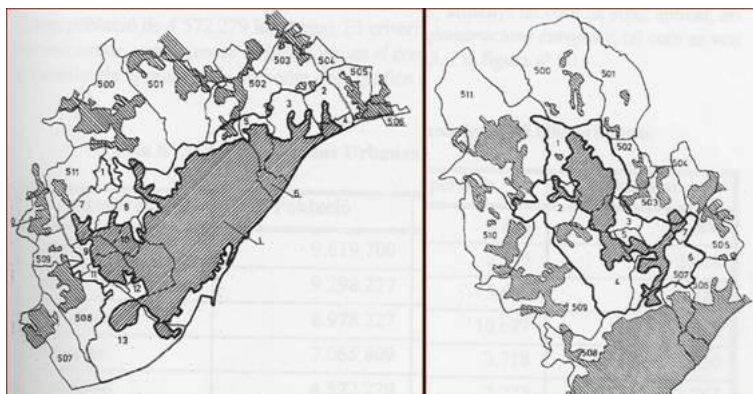


Figura 3. Continuos Urbanizados (más de 100.000 habitantes).

- Desde la perspectiva de las aproximaciones basadas en las economías de aglomeración, y en especial de la *densidad*, destaca la investigación realizada por Serra *et al.* en 2002[26]. Dicho trabajo, siguiendo los estudios iniciales del Urban Audit[27] así como del grupo de trabajo GEMACA (1996)[28], tuvo como objetivo la identificación de las aglomeraciones españolas (y europeas) con una población superior a 250.000 habitantes. A tal fin delimitó, a partir de las entidades locales con más de 100.000 habitantes (que se declararon ciudades centrales) *aglomeraciones "extensas"* compuestas por municipios contiguos a aquellas, caracterizados por poseer una densidad igual o superior a los 250 hab/km² (la figura 4 presenta los municipios españoles que cumplían el criterio de densidad en 2005). De este modo se delimitaron en España 21 aglomeraciones "extensas". Destacaban 4 de ellas (Madrid, Barcelona, Valencia y Sevilla), por encima del millón de habitantes. A continuación otras 5 se situaban entre 500.000 y 1.000.000 (Bilbao, Málaga, Alicante, Zaragoza y Las Palmas de Gran Canaria), correspondiendo el resto a aglomeraciones con población comprendida entre 250.000 y 500.000 residentes. Dichas áreas "extensas" se consideraron *aglomeraciones metropolitanas* si el conjunto obtenía una densidad superior a 1.500 habitantes/km² y el conglomerado final alcanzaba un mínimo de 250.000 habitantes, reconociéndose como tales a Madrid, Barcelona, Valencia, Sevilla, Bilbao, Las Palmas de Gran Canaria, San Sebastián, Granada, Vigo, Valladolid, Palma de Mallorca y A Coruña, pero no Málaga, Alicante, Zaragoza, Murcia, Sta. Cruz de Tenerife, Gijón, Oviedo, Cádiz y Tarragona, por no alcanzar dicha densidad crítica.

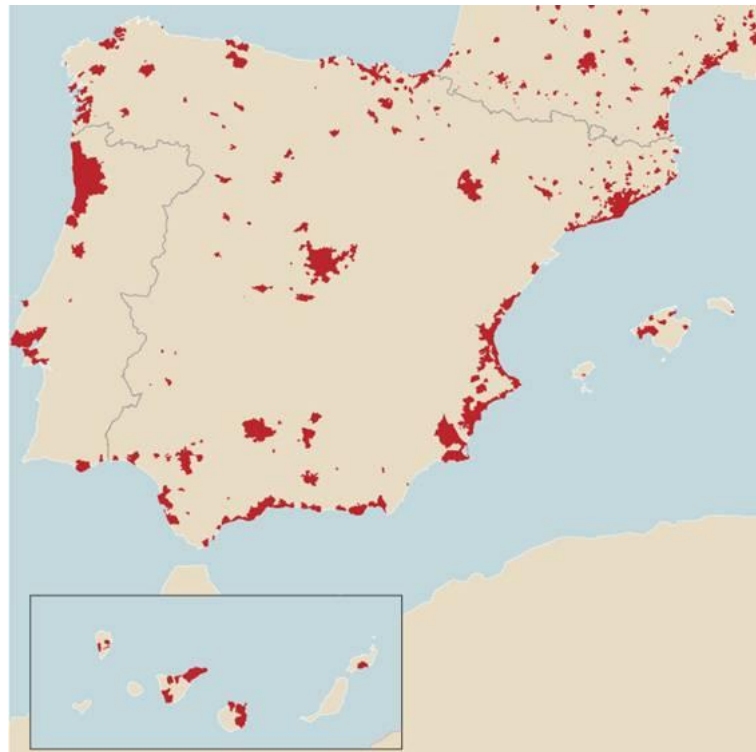


Figura 4. Municipios con densidad superior a 250 hab/km².

Fuente: Carreras *et al.* (2009).

Sin duda el arbitrario umbral de 1.500 hab/km², impide la consideración como aglomeración metropolitana a ciudades importantes debido a disponer de términos municipales extensos. Pero más allá de ese límite arbitrario parece existir una objeción fundamental a la capacidad de cualquier metodología basada en la densidad para poder delimitar la ciudad en la era de la dispersión de la urbanización: la metrópoli contemporánea se caracteriza por sus bajas densidades.

- Desde una *perspectiva institucional*, el Ministerio de Fomento, posteriormente el Ministerio de la Vivienda, (2000, 2005, 2007 y 2009) ha venido publicando un Atlas Estadístico de las Áreas Urbanas en España. Atendiendo a la versión de 2007, se han localizado 83 "grandes áreas urbanas"[29], de más de 50.000 habitantes (véase la figura 5), 19 de las cuales abarcaban un solo término municipal. De esas 83, 4 tendrían una población superior a 1.000.000 de habitantes (Madrid, Barcelona, Valencia y Sevilla), otras 10 tendrían una población entre 500.000 y 1.000.000 (Bilbao, Málaga, "Área Central de Asturias", Zaragoza, Alicante-Elche, Bahía de Cádiz, Murcia, Vigo-Pontevedra, Las Palmas de Gran Canaria y Palma de Mallorca), 10 más entre 250.000 y 500.000, 28 entre 100.000 y 250.000, y el resto entre 50.000 y 100.000 habitantes. A su vez el trabajo del año 2007 identificó "pequeñas áreas urbanas", diferenciando, asimismo, las de población entre 20.000 y 50.000 habitantes (108 municipios), de las más pequeñas, entre 5.000 y 20.000 residentes (202 municipios)[30].

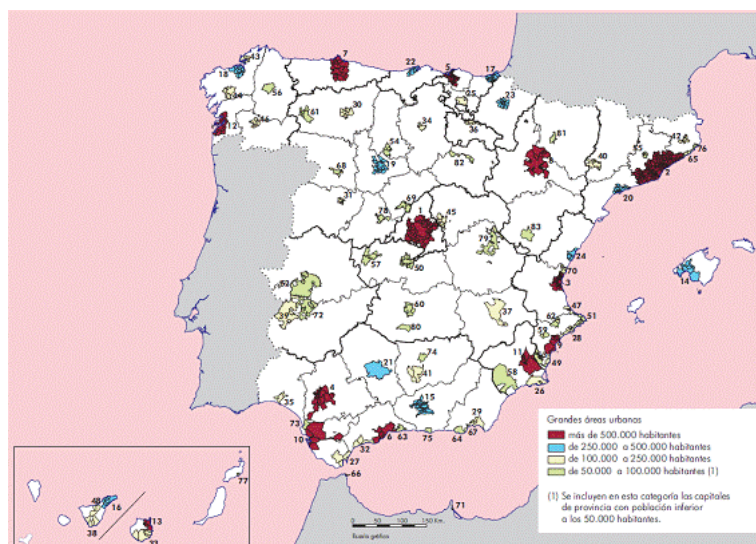


Figura 5. Grandes Áreas Urbanas.

Fuente: Ministerio de Fomento.

Este trabajo, a pesar de su gran interés, y de representar el único que, de hecho, aborda el sistema urbano español en su conjunto, más allá de los límites metropolitanos, adolece de algunas limitaciones fundamentales que limitan su significación: las áreas urbanas no vienen delimitadas en base a criterios uniformes, reconociéndose en algunos casos ámbitos más o menos oficiosos a escala autonómica, mientras que en otros son el resultado de la opinión del equipo técnico encargado de la publicación; criterio no explicitado con precisión. El hecho de que la totalidad de las áreas pequeñas, y un número no desdeñable de las grandes, sean de carácter uni-municipal, conduce a pensar que no se trata de una clasificación de auténticos sistemas urbanos, sino de municipios de tamaño más o menos grande. La delimitación del sistema urbano español continúa siendo una materia pendiente.

- Finalmente cabe hacer referencia a las delimitaciones de corte *funcional*, basadas fundamentalmente en el *commuting* residencia-trabajo. Dentro de esta tradición a mediados de los años 90, el Centro de Política de Suelo y Valoraciones de la Universidad Politécnica de Cataluña realizó un primer trabajo para delimitar la extensión física del ámbito metropolitano funcional de Barcelona[31], a través de la aplicación de la metodología empleada por la Oficina del Censo de los EE.UU.[32]. Dicho trabajo se extendió posteriormente a la delimitación de los sistemas de más de 500.000 habitantes[33], así como a las capitales de provincia[34]. El resultado de dicha metodología[35] puede observarse en la figura 6 así como en el cuadro 1. En la misma línea que los estudios anteriores cabe citar, entre otros, los trabajos de Boix 2007[36], Feria (2008, 2010a y 2010b)[37], así como la propia orientación dada por Eurostat al Urban Audit más reciente[38].

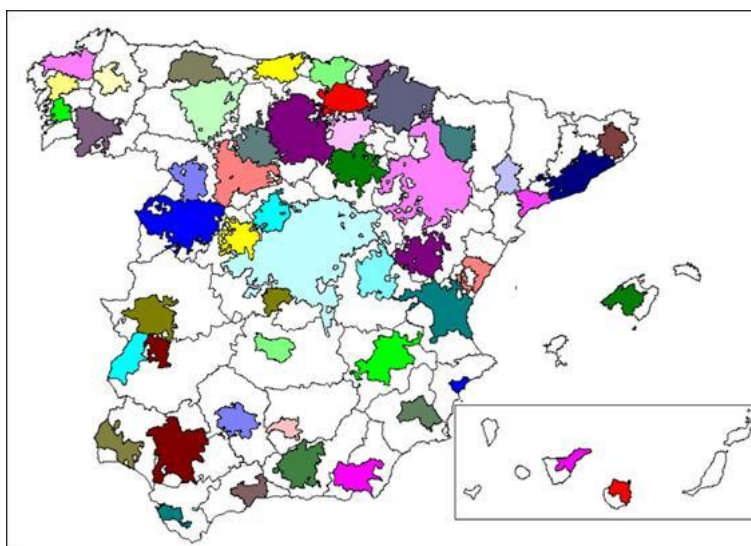


Figura 6. Áreas Metropolitanas de España.

Fuente: CPSV (2005).

**Cuadro 1.
Principales Áreas Metropolitanas Españolas**

	N. Municipios	Superficie	Población	POR	LTL
Barcelona	227	4.796	4.539.749	2.020.133	1.903.291
Málaga	26	1.666	721.946	269.292	244.367
Sevilla	60	6.842	1.424.843	486.429	454.432
Valencia	152	6.347	1.740.928	789.767	662.263
Bilbao	104	2.675	1.106.024	433.985	386.626
Madrid	606	27.669	5.793.909	2.643.200	2.528.324
Zaragoza	267	15.084	771.864	325.390	312.701

Fuente: CPSV (2001).

A pesar de los esfuerzos desarrollados en 60 años de debate metropolitano en España, es difícil encontrar un mínimo consenso técnico acerca de la validez de los ámbitos urbanos delimitados conforme a las anteriores metodologías, sean del signo que sean.

- En el caso de las metodologías basadas en criterios morfológicos, el continuo urbanizado no parece representar una aproximación suficientemente rigurosa. La simple consideración de la continuidad del proceso de artificialización del suelo no es capaz de captar la diversidad de patrones de urbanización de los fenómenos urbanos y metropolitanos contemporáneos. Los ejemplos de Madrid o de Barcelona, donde la metrópoli comúnmente aceptada se trocea en múltiples partes, parece ser suficientemente convincente para descartar dicha aproximación como método principal de delimitación urbano-metropolitana.
- Asimismo, las metodologías basadas en las economías de aglomeración, y muy particularmente en la densidad, no parece hayan tenido un éxito destacable. En la era del *sprawl* se producen fenómenos de metropolitanización dispersa, que difícilmente logran ser captados por esas aproximaciones, al menos en su versión clásica de umbrales de intensidad. El abandono por Eurostat del mencionado criterio, como varios decenios antes lo hiciera la Oficina del Censo USA, parece ser una muestra evidente de la insuficiencia de ese tipo de metodologías[39].
- Por su parte, la delimitación de áreas urbanas mediante criterios institucionales, como la realizada por el Ministerio de Fomento, se basa más en el conocimiento local y reconocimiento administrativo formal, que no en la aplicación de una metodología objetiva, de carácter científico, capaz de ser contrastada de forma independiente.
- Pero asimismo las aproximaciones funcionales parecen manifestar claras insuficiencias. La metodología de delimitación basada en el *commuting* residencia-trabajo parece devenir demasiado sensible en el borde metropolitano, especialmente en el caso de municipios de escasa población[40], en los que deficiencias en la información censal pueden dar como resultado una acusada exageración del proceso de metropolitanización. Los casos de Madrid (con 608 municipios y 27.559 km²) o Zaragoza (267 municipios, 15.084 km²) son ejemplos claros de la relativa inestabilidad de las delimitaciones basadas en la simple atracción funcional de los centros sobre las periferias. 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[41], ya a la utilización de diversos umbrales del *commuting* residencia-trabajo[42]. 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 posteriores necesitan ser desarrollados.

Hacia una metodología alternativa para la definición de los sistemas urbano-metropolitanos y de los subsistemas que los conforman

La metodología aquí propuesta pretende construir el sistema urbano-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*[43].

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

- Dada la matriz de flujos residencia-trabajo de base local (*municipios* en el caso de España), se calcula la matriz origen-destino, *i/j*, de “valores de interacción” por medio de la ecuación:

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

Donde VI_{ij} es el valor de interacción entre las entidades *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 ambas entidades, y LTL_i y LTL_j los lugares de trabajo localizados en esas mismas entidades.

- Posteriormente se agregan las entidades locales de base en sistemas locales, llamados *protosistemas* en este trabajo, en virtud de su máximo valor de interacción, de forma que esos protosistemas se cierran tan solo en el caso de que todas las entidades tengan su máximo valor de interacción con otra entidad del mismo protosistema[44] y que el conjunto sea físicamente contiguo. Los protosistemas representan, de esta forma, las piezas básicas en que se estructura el territorio urbano, metropolitano o regional, y son las *semillas primigenias del policentrismo*: una metrópoli con más protosistemas internos observa una mayor tendencia hacia la descentralización.
- Los protosistemas se consolidan en *sistemas urbanos* en caso de que la *autocontención*[45] 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[46]. Dichos sistemas urbanos se entienden configuran las *ciudades reales*, más allá de los límites administrativos convencionales. Si los protosistemas los hemos caracterizado como las semillas del policentrismo, los sistemas urbanos, es decir los protosistemas consolidados, representan las piezas fundamentales de la estructura territorial.
- A continuación esos sistemas urbanos se agregan nuevamente en función a su máximo valor de interacción, conformando sistemas territoriales cada vez más extensos, 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[47], como elemento determinante de identificación metropolitana.
- E incluso, más allá de las áreas metropolitanas, la integración de sistemas urbanos por debajo del 1 por mil permite observar la irrupción de estructuras territoriales de mayor alcance, esto es *protoregiones* que conforman el espacio de alcance regional.

La significación de la metodología del valor de interacción es que por medio de la misma se pueden reconocer de forma simultánea las “semillas” de la estructura territorial (los protosistemas), las “piezas básicas” de la misma (los sistemas urbanos), su articulación en estructuras más complejas (las áreas metropolitanas), la composición interna de las mismas (los subsistemas que las componen), así como la propia estructura regional. En este sentido, y a diferencia de la mayor parte de las metodologías convencionales, la identificación de los subcentros en las estructuras urbanas policéntricas aparece no tanto del análisis del patrón espacial de densidades de lugares de trabajo, sino como reconocimiento de los mismos en cuanto piezas fundamentales en la articulación de los mercados de vivienda (lugar de origen de los flujos en la matriz de *commuting* residencia-empleo) y trabajo (lugar de destino en dicha matriz de flujos) dentro del sistema urbano-metropolitano. Una metodología *down-up*, minimalista si se quiere, en la comprensión de las estructuras territoriales.

El sistema urbano español

La aplicación de la anterior metodología permite la delimitación, a partir de los 8.106 municipios españoles (según el Censo de 2001), de 1.531 *protosistemas*, de los cuales 218 no cumplen la condición de autocontención mínima (fijada en un 50%), lo que conduce a una delimitación definitiva de 1.314 protosistemas consolidados, que a los efectos del presente trabajo, serán considerados como *sistemas urbanos* reales. La figura 7 presenta los resultados de delimitación a escala de toda España.



Figura 7. Sistemas urbanos españoles delimitados por medio del valor de interacción.

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 2.
Sistemas Urbanos según tamaño**

Tamaño	N. Sistemas	N. Protosistemas	N. Municipios	LTL	Población 2001
≥ 1.000.000	3	25	124	3.659.762	8.488.058
500.000-1.000.000	7	15	134	1.777.138	4.935.623
250.000-500.000	15	35	269	2.107.728	5.473.122
100.000-250.000	45	83	677	2.658.540	6.873.705
50.000-100.000	66	95	677	1.702.890	4.737.295
20.000-50.000	168	215	1.264	1.815.871	5.388.085
10.000-20.000	166	181	1.022	723.990	2.340.224
5.000-10.000	211	234	1.299	457.749	1.524.589
2.000-5.000	260	270	1.328	232.177	856.287
< 2.000	377	377	1.309	87.365	355.371

Tal como muestra el cuadro 2, tres sistemas urbanos consolidados destacan sobre los demás superando el millón de habitantes: Madrid, Barcelona y, sorprendentemente, Sevilla. Por su parte, otros 7 tienen una población entre 500.000 y 1.000.000 de habitantes: Valencia, Bilbao, Zaragoza, Bahía de Cádiz, Málaga, Gijón-Oviedo y Las Palmas de Gran Canaria-Telde. La metodología permite delimitar, asimismo, sistemas urbanos de menor dimensión, sin limitación alguna por lo que respecta al tamaño mínimo, permitiendo, de este modo, entender la estructura urbana española en su conjunto. La figura 8 nos sugiere una clara distribución logística, en "S", del logaritmo de la población de los sistemas urbanos españoles en función a su rango.

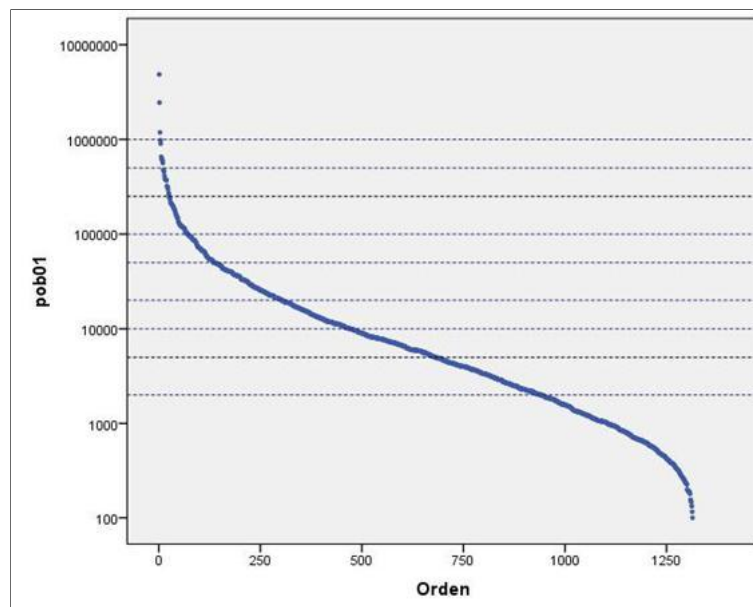


Figura 8. Relación rango/tamaño de los sistemas urbanos españoles.

Dicha distribución parece confirmar, frente a la asunción de la ley de Zipf generalmente aceptada[48], la distribución log-normal de los sistemas urbanos españoles. La figura 9, confirma dicha estructura básicamente log-normal, como así lo hacen los tests estadísticos más significativos. La citada normalidad de la distribución del logaritmo de la población de los sistemas urbanos consolidados, claramente más acusada que la relativa a la de los municipios[49], es una prueba, a nuestro juicio, del buen comportamiento de la metodología empleada en su delimitación. Las ciudades (los sistemas urbanos), como tantos otros fenómenos naturales, seguirían una ley de distribución log-normal.

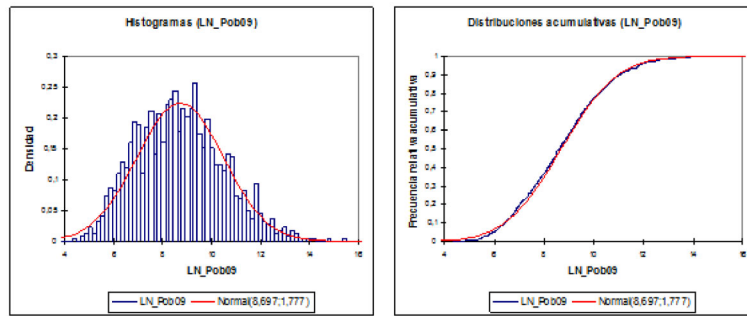


Figura 9. Histograma del logaritmo de la población de los sistemas urbanos españoles.

Cabe añadir que una buena parte de los sistemas urbanos delimitados de acuerdo a la metodología anterior tienen un carácter marcadamente *plurimunicipal*. Así un 36,5% de los sistemas urbanos españoles tiene más de cinco municipios, según se desprende del cuadro 3. Junto a grandes atractores metropolitanos como Madrid (que agrupa 12 municipios de más de 50.000 habitantes) y Barcelona (que agrupa 6)[50], aparecen como sistemas metropolitanos de grandes dimensiones Bilbao y Sevilla (con 4 y 3 ciudades, respectivamente, de más de 50.000 habitantes)[51]. A su vez aparecen sistemas complejos como Bahía de Cádiz (con Jerez de la Frontera, Cádiz, San Fernando, Puerto de Santa María y Chiclana de la Frontera), así como sistemas bipolares como Gijón – Oviedo, Las Palmas de Gran Canaria – Telde, Santa Cruz de Tenerife – La Laguna, Sabadell – Cerdanyola, Alcalá de Henares – Torrejón de Ardoz, Tarragona – Reus, Sant Boi – Viladecans o Sant Cugat – Rubí.

Cuadro 3. Distribución de los Sistemas Urbanos por población y número de municipios

Tabla de contingencia Tamaño * N_mun_tip

Tamaño	N_mun_tip					Total
	1-2 Municipios	3-5 Municipios	6-10 Municipios	11-20 Municipios	>20 Municipios	
Tamaño < 1.000.000				33,3%	66,7%	100,0%
500.000/1.000.000			14,3%	57,1%	28,6%	100,0%
250.000/500.000	6,7%		33,3%	26,7%	33,3%	100,0%
100.000/250.000	4,4%	17,8%	28,9%	35,6%	13,3%	100,0%
50.000/100.000	7,6%	27,3%	37,9%	15,2%	12,1%	100,0%
20.000/50.000	9,5%	39,9%	31,5%	14,3%	4,8%	100,0%
10.000/20.000	15,1%	44,6%	29,5%	7,8%	3,0%	100,0%
5.000/10.000	19,0%	43,1%	23,2%	12,3%	2,4%	100,0%
2.000/5.000	25,0%	38,5%	27,7%	8,8%		100,0%
< 2.000	42,1%	44,5%	11,8%	1,6%		100,0%
Total	23,7%	39,9%	23,7%	9,7%	3,1%	100,0%

Cuadro 4. Principales Sistemas Urbanos Españoles

Sistema Urbano	Población 01	LTL	Área	N. Municipios	N. Protosistemas
Madrid	4.851.250	2.198.392	3.803	75	17
Barcelona	2.450.517	1.064.543	269	18	4
Sevilla	1.186.291	396.827	2.375	31	4
Valencia	977.929	373.225	408	16	3
Bilbao	903.634	318.592	502	35	6
Zaragoza	656.052	278.609	2.369	30	2
Bahía de Cádiz	622.389	185.462	2.196	9	1
Málaga	609.618	206.423	977	11	1
Gijón	601.690	219.477	2.526	20	1
Las Palmas GC	564.311	195.350	726	13	1

El cuadro 4 permite comparar algunos de los principales sistemas urbanos españoles. Destaca, en primer lugar, la gran diferencia de tamaño entre los sistemas urbanos de Madrid y Barcelona (figura 10), con aproximadamente el doble de población y lugares de trabajo la capital de España sobre la capital catalana. Diferencia que se hace aún más evidente si se tiene en cuenta el número de municipios (75 frente a 18) y, sobre todo, la superficie (3.803 km² Madrid, más de diez veces superior a la de Barcelona[52]). Mientras que en el caso de la Ciudad Condal, la delimitación se ajusta en líneas generales a lo que suele denominarse la “Barcelona de las Rondas” (ámbito comúnmente reconocido por el conocimiento local como la ciudad real de Barcelona), en el caso de Madrid desborda ampliamente incluso a las delimitaciones metropolitanas de carácter institucional al uso. La razón de esa diferencia fundamental se debe al manifiesto carácter macrocefalo de Madrid, respecto al mayor policentrismo de Barcelona[53]. Macrocefalia que tiene en la dependencia funcional al centro, y por tanto en la escasa autocontención de los protosistemas, el elemento determinante. Así mientras que en Barcelona tan sólo se agregan 3 protosistemas al central (Cornellá, San Feliu de Llobregat y el Masnou) por no alcanzar el 50% de autocontención, en Madrid lo hacen 16 protosistemas (destacando entre estos, Fuenlabrada, Alcobendas, Pinto y Coslada, con más de 100.000 habitantes, así como Tres Cantos, Collado Villalba y Torreloaños, con más de 50.000).

El sistema metropolitano de España

Una vez obtenidos los sistemas urbanos consolidados a un 50% de autocontención se puede afrontar la tarea de delimitar el sistema metropolitano, mediante la agregación de los sistemas en función al valor de interacción. Como se ha indicado en la exposición de la metodología, se escoge el umbral del 1 por mil, como criterio de identificación. La figura 12 muestra el proceso jerárquico de agregación (582 iteraciones) de sistemas urbanos hasta llegar al 1 por mil. Resultan 732 sistemas urbano-metropolitanos, que se representan en función de su población en la figura 13, así como en el cuadro 5.

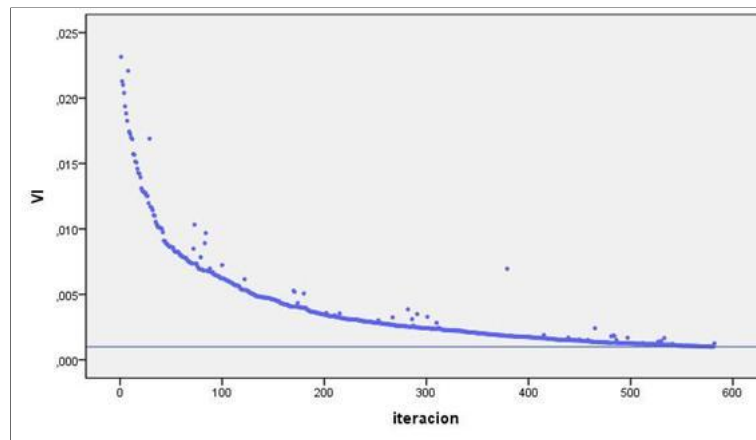


Figura 12. Agrupación jerárquica en virtud al valor de interacción.

Cuadro 5.
Sistemas Metropolitanos según su tamaño

Tamaño	N. Sist. Metr.	N. Sist. Urb.	N. Proto.	N. Municipios	LTL	Población 2001
>= 1.000.000	7	93	160	752	6.642.492	16.466.164
500.000-1.000.000	13	98	122	714	3.367.827	9.280.567
250.000-500.000	14	140	182	1.087	1.851.821	5.031.381
100.000-250.000	24	121	157	1.103	1.381.070	3.772.014
50.000-100.000	29	73	85	568	700.235	1.973.226

Según la metodología del valor de interacción, en 2001 había en España un total de 87 *sistemas metropolitanos* con una población superior a 50.000 habitantes. Junto a esos 87 sistemas metropolitanos, aparecían un total de 130 *áreas micropolitanas* (con una población superior a 10.000 habitantes), así como otros 515 *sistemas urbanos equivalentes al 1 por mil de valor de interacción*.

Entre los sistemas metropolitanos cabe destacar los 7 que superaban el millón de habitantes (por este orden: Madrid, Barcelona, Valencia, Sevilla, Bilbao, A A Coruña-Santiago-Ferrol y Málaga-Marbella), así como otros 13 que se situaban entre 500.000 y 1.000.000 de habitantes (Gijón-Oviedo-Avilés, Alicante-Elche, Bahía de Cádiz, Murcia-Cartagena, Vigo-Pontevedra, Las Palmas de Gran Canaria-San Bartolomé de Tirajana, Santa Cruz de Tenerife-Puerto de la Cruz, Zaragoza, San Sebastián-Irún, Palma de Mallorca, Valladolid-Palencia, Almería y Granada). En total, 20 grandes áreas metropolitanas compuestas por 191 subsistemas urbanos (consolidados al 50% de autocontención), 282 protosistemas, y 1.466 municipios. Dichas 20 top áreas metropolitanas, agrupaban en 2001 más de 25,5 millones de habitantes, un 63% del total de España, así como unos 10 millones de puestos de trabajo, un 66% del conjunto del país (véase el cuadro 6).

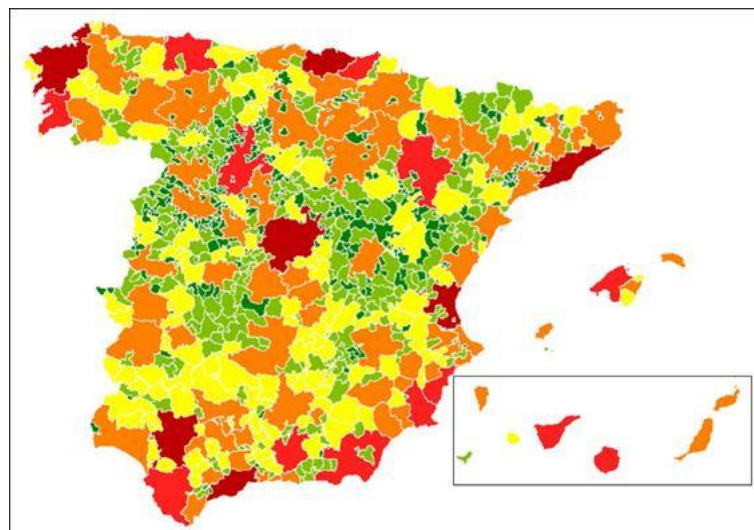


Figura 13. Sistemas Metropolitanos españoles.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 6.
Principales Sistemas Metropolitanos Españoles

Sist. Metropolitano	Población 01	LTL	Área	N. Sist. Urbanos	N. Protosistemas	N. Municipios
Madrid	5.439.588	2.428.364	7.198,29	8	32	180

Barcelona	4.530.254	1.903.795	3.744,25	24	44	184
Valencia	1.801.463	686.219	3.068,48	18	26	104
Sevilla	1.382.892	444.759	4.995,37	6	9	47
Bilbao	1.242.494	445.661	3.151,61	15	23	123
Coruña (A)	1.058.311	367.501	6.759,28	17	20	82
Málaga	1.011.162	366.193	2.670,73	5	6	32
Gijón	927.743	305.530	4.595,93	6	7	39
Alicante	854.683	315.814	1.819,86	7	8	36
Jerez de la Frontera	851.020	239.658	5.301,03	4	4	24
Murcia	821.013	302.247	2.725,05	7	7	22
Vigo	812.422	288.379	2.960,24	10	11	49
Las Palmas de G.C.	755.489	274.265	1.566,40	3	3	21
Sta. Cruz de Tenerife	744.076	266.604	2.041,21	6	7	31
Zaragoza	719.200	301.836	6.872,42	8	11	88
San Sebastián	631.103	251.903	1.895,35	10	15	86
Palma de Mallorca	588.921	241.095	2.286,03	7	7	38
Valladolid	563.224	213.414	5.237,90	10	15	135
Almería	507.081	207.933	6.484,35	17	21	84
Granada	504.592	159.149	2.982,96	3	6	61

El análisis de las áreas metropolitanas top-20 incorpora interesantes novedades respecto a la visión anterior basada en los sistemas urbanos consolidados:

- En primer lugar una más clara identificación de los sistemas de Madrid y Barcelona. Madrid, si bien ve confirmado su lugar preeminente en el rango metropolitano español, ya no dobla en magnitud a la metrópoli barcelonesa, sino que tan sólo domina en un 20% en población y un 28% en empleo[55]. Ambos sistemas metropolitanos se conforman con número prácticamente igual de municipios (184 Barcelona, por 180 Madrid), si bien *Barcelona muestra una acusada mayor complejidad que la capital de España* en lo que corresponde al número de protosistemas (44 respecto a 32) y, sobre todo, sistemas urbanos consolidados (24 respecto a 8).

Madrid (ver figura 14) tan sólo era capaz de incorporar, en 2001, 3 subsistemas metropolitanos de más de 50.000 habitantes, que podríamos denominar siguiendo la metodología del Censo americano, *áreas metropolitanas primarias* (PMA): Alcalá, Guadalajara, y Arganda del Rey, pudiendo añadirse San Lorenzo de El Escorial, que no alcanzaba la cuota de 50.000 habitantes en 2001.

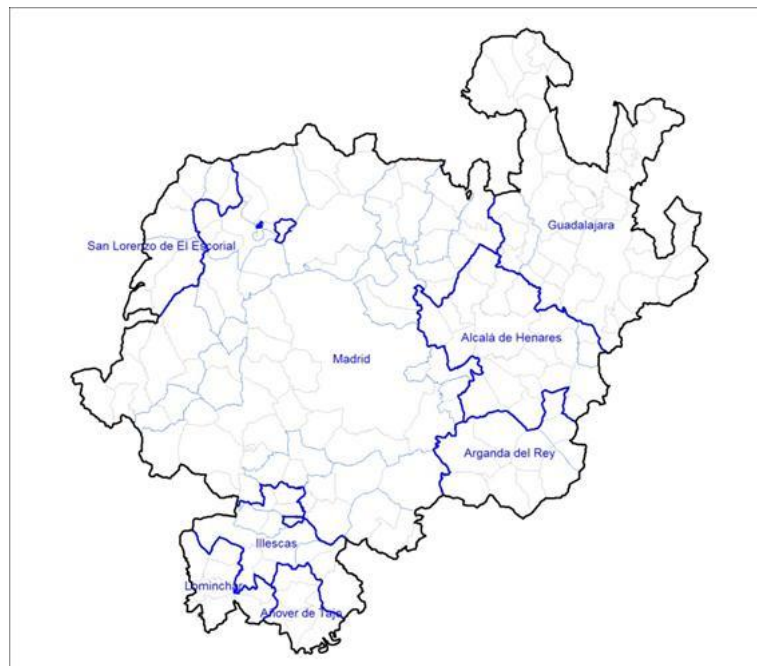


Figura 14. Sistema Metropolitano de Madrid.

En cambio Barcelona integraría 13 subsistemas de más de 50.000 habitantes: Sabadell, Sant Boi de Llobregat, Mataró, Terrassa, Granollers, Mollet del Vallès, Rubí-Sant Cugat, Vilanova i la Geltrú, Martorell, Sant Andreu de la Barca, Blanes, el Vendrell y Vilafranca del Penedès. La figura 15 refleja la estructura interna del área metropolitana barcelonesa definida en función del valor de interacción.

El policentrismo de Barcelona, en comparación a Madrid, viene reflejado, asimismo, por el número de subsistemas micropolitanos (entre 10.000 y 50.000 habitantes, según la metodología del Censo USA), 7 respecto a 4, así como por el de sistemas urbanos con población inferior a 10.000 habitantes: 2 Barcelona, por ninguno Madrid. El cuadro 7 resume la información más significativa de los subsistemas urbanos de ambas capitales. Por su parte la figura 16 muestra una imagen muy diferenciada del proceso de conformación de ambos sistemas metropolitanos, donde Barcelona se caracteriza por un considerable policentrismo y complejidad, frente a un sistema madrileño caracterizado por un mayor monocentrismo y simplicidad.

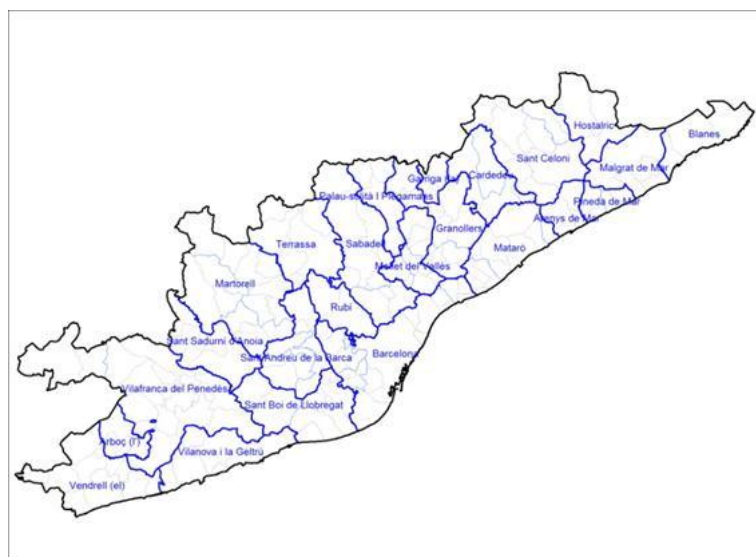


Figura 15. Sistema Metropolitano de Barcelona.

Cuadro 7.
Sistemas Urbanos de las Áreas Metropolitanas de Madrid y Barcelona

AM	Nombre	Nº Municipios	Nº Protosistemas	Población 2001	LTU 2001	Autocontención
Madrid	Madrid	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	Barcelona	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%	

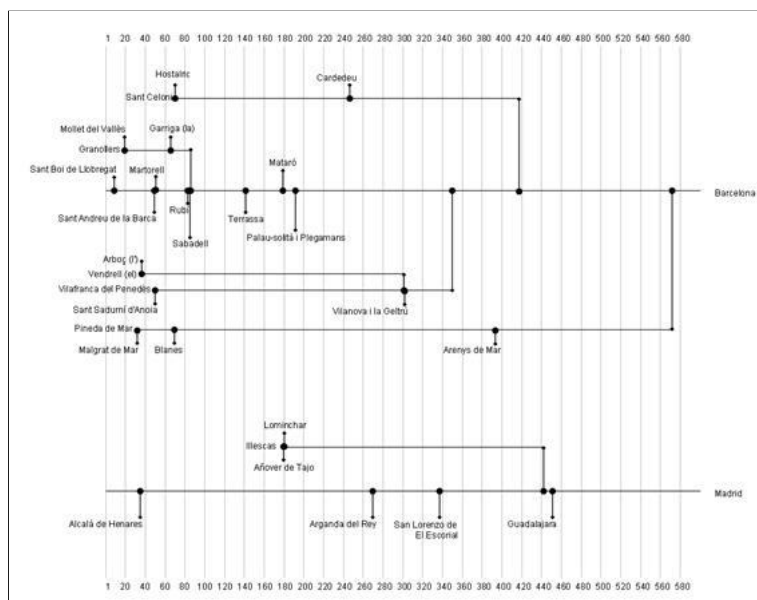


Figura 16. Árbol jerárquico de los sistemas urbanos integrantes de las áreas metropolitanas de Madrid y Barcelona.

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.

- La perspectiva metropolitana del valor de interacción permite, asimismo, reconocer mejor al área metropolitana de Valencia, en comparación a la de Sevilla. La metrópoli levantina no sólo recupera el tercer lugar en el ranking urbano español (un 30% más en población y un 54% en empleo), ensombrecido por el monocentrismo del sistema urbano sevillano, sino que observa una complejidad mucho más acusada: alcanza los 104 municipios (frente a 47 la aglomeración andaluza), 26 protosistemas (por 9 Sevilla) y, sobre todo, 18 sistemas urbanos (respecto a 6). El AM de Valencia, de esta manera, integra 7 subsistemas que pueden ser considerados PMA dentro del conjunto consolidado (Silla y Torrent, con más de 100.000 habitantes y Massamagrell, Alzira, Quart de Poblet, Sagunto y Llíria, con más de 50.000). Frente a esa ciudad de ciudades que es Valencia, Sevilla tan sólo alcanza a obtener un subsistema metropolitano primario (Carmona, con más de 100.000 habitantes). Imagen, la del *policentrismo valenciano* frente al mayor *monocentrismo sevillano* que se confirma tanto desde la perspectiva de los subsistemas micropolitanos (7 frente a 4), como de los sistemas urbanos con población inferior a 10.000 habitantes (3 Valencia, por ninguno Sevilla).
- El resto de áreas metropolitanas mayores a un millón de habitantes, especialmente la de A Coruña, nos muestra estructuras caracterizadas por un cierto grado de policentrismo. Bilbao agrupa 123 municipios en 15 subsistemas urbanos consolidados, dos de los cuales pueden calificarse como PMA (Durango y Eibar), 8 sistemas micropolitanos y 4 con población inferior a 10.000 habitantes. A Coruña hace lo propio con 82 municipios, estructurados en 17 subsistemas urbanos, 3 de los cuales con más de 50.000 habitantes (Santiago, Ferrol y Santa Comba), y 13 sistemas micropolitanos. Por su parte Málaga muestra, en principio, una estructura en apariencia más sencilla, con 32 municipios en 5 subsistemas urbanos, sin embargo cabe destacar que 3 de esos subsistemas (Marbella, Fuengirola y Torremolinos) superan los 50.000 habitantes, pudiendo ser considerados áreas metropolitanas primarias dentro del área consolidada malagueña, mientras que el restante es de naturaleza micropolitana. De entre esas aglomeraciones destaca como paradigma de policentrismo el caso de A Coruña, que cumple la función de ser el principal vertebrador territorial del Noroeste peninsular. En este sentido cabe destacar el sorprendente lugar ocupado por dicho sistema metropolitano, el sexto en el ranking español, gracias a las sinergias de esos tres referentes fundamentales que son A Coruña, Santiago y Ferrol, así como del conjunto policéntrico que incorporan.
- En cuanto al resto de sistemas metropolitanos con población superior a 500.000 habitantes, destacan por su acusado *monocentrismo* Granada (con tan sólo 3 subsistemas urbanos), Zaragoza[56] (con 8 subsistemas, la mayoría de pequeña envergadura), Las Palmas de Gran Canaria (con 3 subsistemas consolidados al 50%, uno de ellos - San Bartolomé de Tirajana - que puede ser calificado como PMA), Palma de Mallorca (con 7 subsistemas) y Bahía de Cádiz (con 4 subsistemas - Tarifa, Sanlúcar de Barrameda, y Arcos de la Frontera - todos ellos de más de 50.000 habitantes)[57]. Dichas áreas metropolitanas, como Madrid y Sevilla, se caracterizan por una elevada macrocefalia.
- En el sentido opuesto destacan por su elevado nivel de *policentrismo* Almería (84 municipios distribuidos en 21 sistemas urbanos, dos de ellos que pueden ser caracterizados como PMA, El Ejido y Roquetas de Mar), Vigo (49 municipios en 10 sistemas, tres de ellos - Pontevedra, O Porriño y Cangas - con más de 50.000 habitantes) y San Sebastián (86 municipios en 10 sistemas, con Irún como PMA).
- En una posición intermedia cabe citar las áreas metropolitanas de Alicante (7 subsistemas consolidados, con Elche, Orihuela y Torrevieja como PMA), Santa Cruz de Tenerife (6 subsistemas consolidados, con Puerto de la Cruz y Arona de más de 50.000), Murcia (7 subsistemas, con Cartagena como PMA), Valladolid (10 subsistemas, con Palencia como PMA) y Gijón-Oviedo (6 subsistemas, con Avilés, Langreo y Mieres como PMA).

Más allá de la aproximación anterior, de carácter principalmente descriptivo, se ha desarrollado un *análisis integrado del grado de complejidad de las estructuras urbano-metropolitanas* españolas por medio de la construcción de un *indicador sintético de policentrismo*, basado en la noción de entropía de Shanon, a partir de la población (o de los lugares de trabajo) de los subsistemas que las conforman. Dicho indicador puede ser expresado de la forma que sigue:

$$\text{Complejidad Metropolitana (Entropía)} = \sum p_i \times \ln(p_i)$$

Siendo p_i la probabilidad de cada subsistema urbano dentro del sistema metropolitano (calculada como proporción de población, o de LTL) y $\ln(p_i)$ el logaritmo de esa probabilidad. De forma que una entropía alta representa una mayor complejidad urbana, lo que implica una mayor tendencia al policentrismo, mientras que una menor entropía va vinculada, por lo general, a una mayor macrocefalia central, es decir al monocentrismo.

La figura 17 se concentra en las 20 principales áreas metropolitanas, contrastando la entropía versus la población (en base logarítmica) de las mismas. El primer cuadrante (las líneas de puntos representan la media de la población y de la entropía), principalmente Barcelona, A Coruña y Valencia, muestra a las grandes áreas metropolitanas caracterizadas por un elevado grado de policentrismo. Por su parte, el segundo cuadrante, con Almería, San Sebastián y Vigo-Pontevedra, representa a las AM menores, caracterizadas también por una elevada complejidad. Frente a las anteriores el tercer y cuarto cuadrante presenta las áreas metropolitanas más monocéntricas, Granada, Zaragoza, Palma de Mallorca y Las Palmas de Gran Canaria, entre las menores, y Sevilla y Madrid entre las grandes. El análisis de la entropía confirma, por tanto, una imagen claramente sesgada en cuanto a la complejidad de los sistemas metropolitanos españoles, representando Barcelona y Madrid los ejemplos paradigmáticos del policentrismo y monocentrismo.

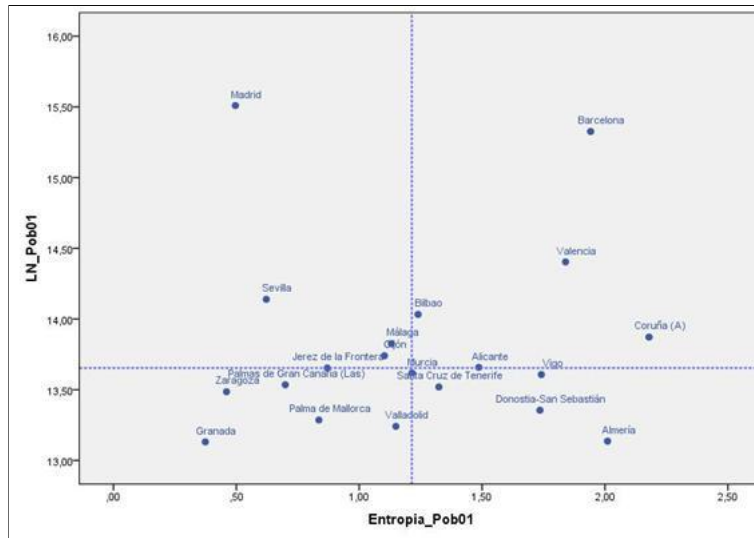


Figura 17. Complejidad de los grandes sistemas metropolitanos españoles.

Por su parte, la figura 18 presenta la entropía de la población de los sistemas urbanos y metropolitanos al 1 por mil de valor de interacción para el conjunto de España. En líneas generales puede observarse una mayor tendencia hacia el policentrismo en la costa frente al interior de la península. En la costa se encuentran Barcelona, Valencia, Almería, Huelva, Girona, San Sebastián, A Coruña y Vigo-Pontevedra como grandes áreas urbanas caracterizadas por elevadas dosis de policentrismo. También muestran un nivel significativo Bilbao, Vinaroz, Castellón, Gandía, Xátiva y Alicante, todos ellos localizados en la costa. En el interior tan sólo Ourense, Ponferrada, León, Lleida, Segovia y Jaén, muestran cotas de complejidad dignas de mención.

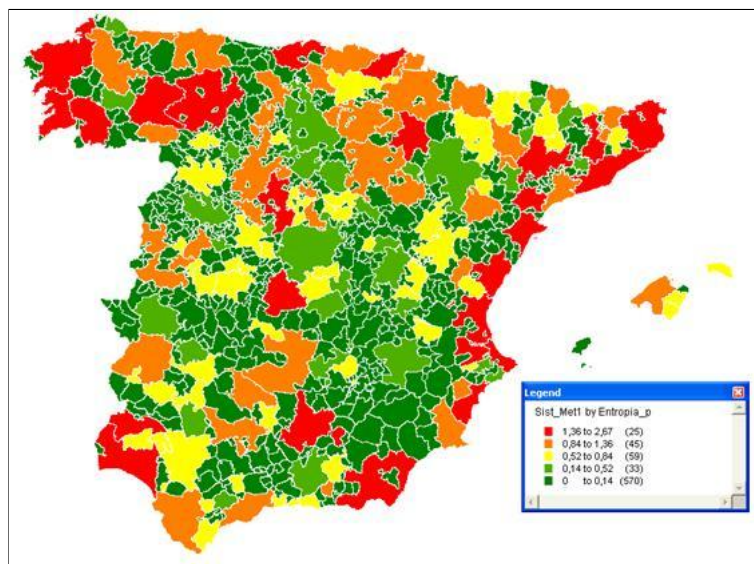


Figura 18. Entropía de los Sistemas Urbanos y Metropolitanos.

Por el contrario la mayoría de los grandes sistemas metropolitanos del interior muestran un monocentrismo más acentuado. Es el caso de Granada, Madrid y Zaragoza, principalmente, pero también de Cuenca, Cáceres, Burgos, Aranda de Duero, Salamanca y muchos otros sistemas urbanos de consideración.

La lectura metropolitana de España sugiere, por tanto, una segmentación relativa de la estructura territorial, *más monocéntrica y simple en el interior peninsular, más policéntrica y compleja en la periferia.*

Conclusiones

El presente trabajo ha tenido un doble objetivo. Por una parte, el desarrollo de una metodología capaz de definir de forma rigurosa el entorno metropolitano, en la época de la difusión de las redes de urbanización por la práctica totalidad del territorio. Por otra, el análisis, de forma simultánea e integrada, de la estructura interna de los sistemas urbanos y metropolitanos, mediante la identificación y caracterización de los subsistemas que los integran.

Dicha metodología, basada en la noción de *valor de interacción*, permite, a nuestro juicio, la identificación de esos artefactos que son las áreas metropolitanas así como el conjunto del sistema urbano, de forma más sólida y estable que otras aproximaciones al uso. La inestabilidad de esas delimitaciones, resultante de los distintos patrones de urbanización (delimitaciones de orden morfológico, a partir del análisis de la continuidad de la urbanización), de los diferentes modelos de intensidad en la ocupación del territorio (delimitaciones de tipo económico basadas en la densidad), así como de los grados de *commuting* residencia-empleo (delimitaciones funcionales como la adoptada por el Censo Norteamericano), puede ser subsanada a partir del análisis del grado de relación existente entre las diferentes unidades de base (los municipios), realizado por medio del *valor de interacción*.

En este sentido, parece confirmarse que las delimitaciones obtenidas mediante esta última metodología se adecuan mejor a la realidad de los hechos, en la medida en que aparecen menos contaminadas por los distintos patrones de urbanización, de intensidad en la ocupación del suelo así como de la ratio de atracción funcional ejercida por los centros. *En la era de la ciudad sin confines, en la época del sprawl, el valor de interacción aparece como un instrumento capital para la*

delimitación del sistema territorial. En este sentido el trabajo aquí presentado creemos representa el primer ejercicio de análisis integral del conjunto del sistema urbano español contemporáneo.

En relación al segundo objetivo del estudio, el desarrollo de una metodología capaz de abordar el análisis del grado de monocentrismo-policentrismo de las metrópolis, se constata la relativa insuficiencia de las aproximaciones clásicas al 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 funcional. 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 artefactos a analizar, las áreas metropolitanas, 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 asociadas, sino a su vez entender la diferente estructura de los sistemas territoriales españoles. La identificación de las semillas de la estructura territorial urbana, los *protosistemas*, de las piezas básicas de la misma, los *sistemas urbanos* reales consolidados al 50% de autocontención, así como de los *sistemas urbano-metropolitanos* al 1 por mil de valor de interacción, permite la comparación entre los diferentes sistemas territoriales, más allá del tamaño o características de los mismos.

En suma, el trabajo aquí presentado creemos permite dar un paso adelante en la comprensión del sistema urbano español. La metodología del valor de interacción aparece como un instrumento útil no sólo para la delimitación de las metrópolis, sino para la identificación de la estructura interna de las mismas. Emerge, por tanto, una imagen alternativa basada en el grado de monocentrismo-policentrismo de los sistemas urbanos y territoriales que conforman el conjunto del territorio español.

Notas

[1] Véase una exposición sintética en Nel-lo 1998, así como en Roca 2003.

[2] Conferencia inaugural de Ramón Margalef en la primera edición del Master sobre Medio Ambiente Urbano y Sostenibilidad (1999) de la Universidad Politécnica de Cataluña.

[3] Definición del concepto ciudad en la RAE: "espacio geográfico cuya población, generalmente numerosa, se dedica en su mayor parte a actividades no agrícolas".

[4] Los primeros criterios que se desarrollaron para la definición de la ciudad en la época del crecimiento metropolitano vinieron estrechamente marcados por el signo de un acusado componente morfológico. Las aglomeraciones urbanas, una vez desbordados los límites administrativos de la ciudad central, vinieron a definirse en una primera instancia en virtud a criterios estrictamente físicos. La contigüidad del crecimiento urbano se presentó, así, como el elemento determinante para la distinción entre la ciudad y su entorno rural. Los distritos metropolitanos definidos en los USA en 1910, y las conurbaciones británicas, en su concepción oficial establecida en 1951, son ejemplos suficientemente conocidos de este tipo de delimitación. En el mismo sentido cabe citar las recomendaciones de las Naciones Unidas que establecieron el concepto de aglomerado urbano en cuanto continuo construido sin discontinuidades superiores a 200 metros, que a su vez se basaba en criterios de carácter oficial establecidos en distintos países, especialmente Francia.

[5] Constatada la incapacidad de los criterios estrictamente morfológicos para la definición de ciudad en la época de la suburbanización la mirada se posó, casi de inmediato, en las magnitudes demográficas. Si la urbanización se caracterizaba, respecto al entorno rural, por la concentración de la población, entonces la densidad demográfica podría representar un eficaz mecanismo de evaluación del fenómeno urbano. La densidad ha sido, sin duda, el concepto que ha tenido un uso más fecundo en el ámbito de las delimitaciones urbanas de carácter demográfico. La redefinición de los Distritos Metropolitanos en los USA, en 1940, representó un primer paso en esta dirección. Así éstos se definieron como la ciudad central (de más de 50.000 habitantes) junto a las divisiones administrativas menores contiguas a aquélla que tuviesen una densidad de población superior a 150 habitantes por milla cuadrada (Bureau of the Census, 1942). Criterio que más adelante, en 1950, daría lugar al concepto (norteamericano) de área urbanizada ("urbanized area"), que aún hoy se conserva.

[6] Un tercer tipo de criterios relativos a la delimitación de áreas metropolitanas ha consistido en el reconocimiento del carácter urbano de éstas en función a la estructura económica y, en su caso, las formas de vida de la población. En este contexto se ha acostumbrado a identificar la forma de vida rural con una estructura productiva básicamente agraria (sector primario), mientras la industria, el terciario y los servicios serían característicos de las formas de vida urbana. Más en el fondo podría afirmarse que la ciudad, o la metrópoli, generaría unas economías de aglomeración que la harían más productiva que el entorno rural. La concentración de externalidades en aquel tipo de áreas sería el elemento determinante de la diferenciación territorial resultante de lo rural y lo urbano. Una de las primeras referencias a la estructura económica como elemento determinante del carácter metropolitano del territorio la encontramos, de nuevo, en la regulación de área metropolitana (SMA) establecida por el Censo de los Estados Unidos de 1950. En dicha definición se produjo una profunda remodelación de la noción de metrópolis que vino a superar los anteriores criterios de orden morfológico y demográfico, y situó en la composición del empleo el reconocimiento básico del carácter urbano y metropolitano de la población.

[7] La introducción de dichos criterios en la definición de área metropolitana en 1950 por la Oficina del Censo estadounidense representó un hito en este sentido. Asimismo la introducción de las Standard Metropolitan Statistical Areas (SMSA) en 1960 vino a ratificar el papel absolutamente central de los flujos funcionales en la definición moderna de metrópolis (Bureau of the Budget, 1964).

[8] Para un análisis detallado del fenómeno del *sprawl* y de su impacto a escala planetaria véase Arellano *et al.* 2010.

[9] Véanse los trabajos de Berry (1976), Berg (1982) y Bauer *et al.* (1976), respectivamente.

[10] Véanse los trabajos de Indovina *et al.* (1990), Dezert *et al.* (1991), Garreau (1991), Dematteis (1991) o Ascher (1995), respectivamente.

[11] Véase Portas *et al.* (1998).

[12] Así Harvey (1996) ha indicado: "El proceso de urbanización ha de ser entendido no en términos de una unidad socio-organizativa llamada «la ciudad» (el objeto teórico que tantos geógrafos, demógrafos y sociólogos erróneamente suponen) sino como la producción de formaciones espacio-temporales específicas y muy heterogéneas imbricadas dentro de los distintos tipos de acción social (...). Pienso que es importante reconceptualizar la cuestión urbana no como un problema de estudiar unas entidades casi naturales, llámense ciudades, suburbios, zonas rurales o lo que sea, sino como (...) el estudio de procesos que producen y reproducen espacio temporalidades que son a menudo de tipo radicalmente nuevo y distinto.". Véase también Nel-lo (1998).

[13] Nos referimos aquí al 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, rigor 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.

[14] La economía regional contemporánea no parece haber sido capaz de dar cuenta de lo que podríamos denominar la *lógica económica y locacional de la era del sprawl*. Estaría sucediendo en la actualidad algo parecido a lo que aconteció en los años 30 del siglo XX. Entonces sociólogos y geógrafos daban fe de los nuevos fenómenos de la suburbanización y de la "ghettificación" de los centros, vinculados a la generalización del sueño americano "*una casa, un coche*"; fenómenos inexplicados desde la perspectiva económica hasta que la irrupción de Alonso, ya en la década de los 60, permitiese un cambio de paradigma en la economía urbana. El desarrollo actual de la economía regional no permite explicar de forma completa la complejidad de los fenómenos cartografiados por los geógrafos de fin de siglo. Aún no parece haber emergido, en suma, una economía del *sprawl*, limitándose la economía locacional al logro de avances parciales, a la espera de una nueva síntesis, que, como la de Alonso, permita dar un paso cualitativo en la ciencia regional.

[15] Véase el excelente resumen de Anas, Arnott y Small (1998).

[16] Desarrollada por Hartwick y Hartwick (1974), White (1976), Odland (1978), von Boverter (1976), Ogawa y Fujita (1980), Fujita y Ogawa (1982), Fujita (1988), Henderson y Mitra (1996), Anas y Kim (1996), Krugman (1996), Fujita y Mori (1997)...

[17] Por ejemplo Gordon y Richardson (1996).

[18] Véanse los trabajos de Greene (1980), Griffithith (1981a y 1981b), Erickson y Gentry (1985), Heikila *et al.* (1989), entre otros.

[19] Desde los trabajos seminales de McDonald (1987) y Giuliano y Small (1991), siguieron trabajos como los de Bogart y Ferry (1999), Cervero (1989), Cervero y Wu (1997), Craig y Ng (2001), Giuliano *et al.* (2007), Gordon y Richardson (1996), Gordon *et al.* (1989), McDonald y McMillen (1990), McDonald y Prather (1994), McMillen (1996, 2001, 2003, 2004), McMillen y Lester (2003), McMillen y McDonald (1997, 1998), Muñiz *et al.* (2003) o Redfeam (2007).

[20] Véase Roca *et al.* (2009).

[21] Desde la perspectiva de la ciencia de la ecología parece evidente que los ecosistemas urbanos contemporáneos intercambian materia, energía e información con su “entorno”. La ciudad, la metrópolis, es un sistema abierto en todos sus componentes, con la característica, propia de todos (o prácticamente todos) los ecosistemas, de que carece de frontera. La ciudad “amurallada”, opuesta a su entorno rural, ha pasado a la historia: las redes de urbanización se extienden por todo el territorio.

[22] Véase Roca *et al.* (2009).

[23] Concepto debido a Nel-lo (2002).

[24] Cabe destacar que con el advenimiento de la democracia se abandonó de forma progresiva el planeamiento metropolitano, y con ello los ámbitos de referencia del mismo. No obstante, y para el caso concreto de Barcelona, la Ley del Pla Territorial de Catalunya (1995) recuperó el ámbito delimitado en los 60, el cual comprendía 164 municipios distribuidos en 7 comarcas históricas (Barcelonés, Baix Llobregat, Vallés Occidental, Vallés Oriental, Maresme, Alt Penedés y Garraf), ordenando la redacción en el mismo del Pla Territorial Metropolità de Barcelona, recientemente aprobado (2010). Ese ámbito de planeamiento territorial, comúnmente llamado Región Metropolitana de Barcelona (RMB), adquirió carta administrativa de naturaleza con el nuevo Estatuto de Autonomía, que divide Cataluña en *vegueries*, una de las cuales es la RMB.

[25] Véase Roca *et al.* (1997) para una exposición detallada de los ejercicios realizados para la definición metropolitana de Barcelona.

[26] Actualizado por Carreras *et al.* (2009).

[27] El Urban Audit, en su primera versión (1997-1999), definió las aglomeraciones urbanas europeas como los ámbitos con una densidad superior a 500 habitantes por km² (medida el área como superficie administrativa de las entidades locales) y una población superior a 500.000 habitantes. En versiones posteriores, Urban Audit ha modificado el criterio de densidad inicial y se ha dirigido hacia un concepto funcional de aglomeración urbana.

[28] GEMACA definió la *aglomeración morfológica* de una región urbana funcional (FUR) como el conjunto de entidades administrativas adyacentes con una densidad superior a 700 hab/ km².

[29] Las áreas urbanas de más de 50.000 habitantes han pasado de 68 (con los datos del Padrón de 1996) a 82 (Padrón de 2003), 83 (Padrón de 2006), hasta llegar a 85 (Padrón de 2009).

[30] Así, por tanto, el conjunto de “pequeñas áreas urbanas” es carácter uni-municipal. El trabajo del Ministerio de Fomento no ha delimitado propiamente sistemas urbanos, sino tan sólo ha identificado municipios de carácter claramente urbano.

[31] Véase Roca *et al.* (1997).

[32] Concretamente la desarrollada para New England, basada en las cities-towns, y no en los counties, como en el resto de USA. La adopción de la metodología New England se basó por la mayor semejanza de su estructura administrativa con la existente en Europa continental.

[33] Véase CPSV (2001).

[34] Véase Roca *et al.* (2005).

[35] La aproximación utilizada para la delimitación de las AM españolas, extendida ahora a Madrid a los simples efectos de comparación, utiliza un criterio iterativo de agregación municipal basado en los flujos residencia/trabajo:

- En primer lugar se agregan al municipio (place) cabecera (que debe poseer al menos 50.000 habitantes) los municipios cuyos residentes se desplazan a trabajar en una determinada proporción al centro. La opción inicial fue de un 15% de la población ocupada residente (POR), siguiendo el criterio del Census Bureau para New England.
- Dichos municipios, junto al cabecera, forman una agrupación, la cual ocupa el papel de nuevo “centro” en una segunda iteración; en ésta se vuelve a calcular de nuevo la proporción de residentes de los municipios no agregados que van a trabajar diariamente a la primera agregación, generando, los que superan el umbral establecido, una nueva agrupación, junto con los municipios de la primera iteración.
- Proceso que se vuelve a repetir hasta un total de cuatro veces, generando al final un ámbito de residencia/trabajo, autocontenido en una elevada proporción (más de un 90% en la mayor parte de casos).

[36] Boix (2007), partiendo de los datos del Censo de 2001, identifica 67 *unidades metropolitanas*: 5 de población superior a 1.000.000 de habitantes (Madrid, Barcelona, Valencia, Sevilla y Bilbao), 10 entre 500.000 y 1.000.000 (Oviedo, Málaga, Zaragoza, Las Palmas, Alicante, Murcia, Vigo, Santa Cruz de Tenerife, Granada y Palma de Mallorca), 14 entre 250.000 y 500.000, 24 entre 100.000 y 250.000, así como 14 entre 50.000 y 100.000 habitantes.

[37] Feria (2010), partiendo de la matriz origen/destino del Censo de 2001 y de los municipios de más de 100.000 habitantes (50.000 en el caso de capitales de provincia), delimita 46 áreas metropolitanas. 5 de población superior a 1.000.000 de habitantes (Madrid, Barcelona, Valencia, Sevilla y Bilbao), 7 entre 500.000 y 1.000.000 (Oviedo-Gijón-Avilés, Málaga, Las Palmas, Zaragoza, Bahía de Cádiz-Jerez de la Frontera, Vigo y Murcia), 18 entre 250.000 y 500.000, y el resto entre 100.000 y 250.000.

[38] A pesar de que en un inicio (1997-1999) Urban Audit partió de un criterio de densidad para delimitar las aglomeraciones urbanas, Eurostat sugirió una nueva redefinición de las mismas en 2006, las llamadas LUZ a partir de criterios de carácter funcional: “The larger urban zone (LUZ) allows a comparison between the city and its surroundings. The goal was to have an area from a significant share of the resident commute into the city, a concept known as the “functional urban region”. To ensure a good data availability, the Urban Audit works with administrative boundaries that approximate the functional urban region”. Urban Audit delimita en la actualidad 24 LUZ en España de más de 500.000 habitantes.

[39] La afirmación acerca de la incapacidad de las aproximaciones morfológica y de densidad para alcanzar una delimitación eficiente de los sistemas urbanos debe ser tomada con la mayor de las prudencias. Trabajos como el de Salom *et al.* (2010), que desarrolla la noción de densidad la red viaria, permiten pensar que tal vez una aproximación más inteligente que la simple contigüidad de la urbanización y la densidad (administrativa) pueda alcanzar logros significativos.

[40] La posibilidad, en España, de desgravar en el impuesto de la renta de las personas físicas la financiación de la primera residencia condujo en el Censo de 2001 a que no pocos hogares declarasen como primera residencia lo que en realidad se trataba de segundas viviendas. Dicha ocultación de la realidad, por lo general poco significativa en el caso de núcleos poblados, deviene crítica en el supuesto de municipios pequeños, en los que unas pocas personas pueden decantar el carácter “metropolitano” de los mismos.

[41] Véase Roca (2003).

[42] Véase Marmolejo *et al.* (2010).

[43] La metodología propuesta se basa en el “valor de interacción” definido en Roca y Moix (2005), siguiendo a Coombes y Openshaw (1982).

[44] La condición crítica para el “cierre” del protosistema es que todas las entidades, incluida la “cabecera” (la de mayor masa o densidad en lugares de trabajo), tengan su máximo valor de interacción con otra entidad del mismo protosistema. En caso contrario, la agregación va ampliándose hasta que el sistema “cierre” del modo indicado. Los protosistemas, por tanto, garantizan una máxima interacción “interna” de todos sus componentes.

[45] Se entiende por autocontención el porcentaje de población ocupada residente (POR) que trabaja en el propio municipio (o protosistema).

[46] Ese 50% es la única condición impuesta a los sistemas urbanos. Por tanto no se impone ninguna condición *administrativa* del tipo de umbral mínimo de población o de número de empleos.

[47] La adopción del umbral del 1 por mil es una decisión ciertamente arbitraria. En realidad se produce una reducción monótona decreciente en el valor de interacción resultante de las uniones de los sistemas urbanos consolidados. El 1 por mil se adopta porque es el umbral en el que mejor se identifica el área metropolitana de Barcelona, según conocimiento local. Pero ese valor no tendría porque ser el mismo en distintas metrópolis, de la misma manera que el umbral del 15% o 25% de atracción, en la metodología del censo americano, tampoco reproduce la plural realidad urbana de las distintas áreas metro y micropolitanas. Su adopción es, por tanto, a los simples efectos de comparación. Sin embargo, dada la noción sistémica y a la condición de no frontera discutida en el epígrafe 1 de este trabajo, no parece que la arbitrariedad del 1 por mil en el VI represente un obstáculo epistemológico fundamental.

[48] Véase, por poner sólo algún ejemplo de la muy amplia bibliografía, Berry y Horton (1970) o Krugman (1996).

[49] Véase Roca y Arellano (2010).

[50] Madrid integra Alcobendas, San Sebastián de los Reyes, Coslada, Fuenlabrada, Alcorcón, Getafe, Leganés, Móstoles, Pozuelo de Alarcón, Rozas de Madrid (Las) y Parla. Por su parte Barcelona hace lo propio con Badalona, Hospitalet de Llobregat (l'), Prat de Llobregat (el), Santa Coloma de Gramenet y Cornellà de Llobregat.

[51] Bilbao integra a Barakaldo, Getxo y Portugalete, por su parte Sevilla integra a Dos Hermanas y a Alcalá de Guadaíra.

[52] Puede ser interesante, por tal de apreciar la escala de la ciudad “real” madrileña, compararla con Greater London (1.600 km²).

[53] Véase Roca, Arellano y Moix (2011).

[54] El mayor, Paterna, alcanzaba tan sólo los 47.687 residentes en 2001.

[55] Sorprende el mayor rango económico de Madrid sobre Barcelona, en comparación a la población. El hecho de que la capital de España sea proporcionalmente más significativa en actividad económica que en población, respecto a la capital catalana, confirma el hecho de que en las últimas décadas el fiel de la balanza económica ha girado hacia el centro de España, invirtiendo el protagonismo que históricamente había adquirido Barcelona, en cuanto capital económica del país.

[56] Zaragoza, con poco más de 700.000 habitantes, ocupa el lugar n. 15 del ranking metropolitano español. Sorprende ese lugar poco destacado, ocupando como ocupa el 5º lugar en el ranking de municipios más poblados. La razón cabe encontrarla en la dificultad de Zaragoza de generar sinergias a su alrededor, debido en buena medida a su acusado monocentrismo.

[57] Sorprende el bajo nivel de policentrismo obtenido por el sistema metropolitano de la Bahía de Cádiz, debido, probablemente, al escaso número de municipios que integra, así como a la elevada envergadura del sistema urbano central.

Bibliografía

ALONSO, W. *Location and Land Use*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1964.

ANAS, A., ARNOTT, R. y SMALL, K. A. Urban spatial structure. *Journal of Economic Literature*, 1998, nº 36, p. 1426-1464.

ANAS, A. y KIM, I. General equilibrium models of polycentric urban land use with endogenous congestion and job agglomeration. *Journal of Urban Economics*, 1996, nº 40, p. 232-256.

ARELLANO, B. y ROCA, J. El Urban Sprawl, ¿Un fenómeno de alcance planetario?, Los ejemplos de México y España. *Architecture, City and Environment*, 2010, año IV, febrero, nº 12, p. 115-147.

ASHER, F. *Metápolis ou l'avenir des villes*. Paris: Odile Jacob, 1995.

BAUER, G. y ROUX, J.M. *La rurbanization, ou la ville éparpillée*. París: Ed. du Seuil, 1976.

BERG, L. van den. *Urban Europa. A study of Growth and Decline*. Oxford: Pergamon, 1982.

BERRY, B.J.L. The Counterurbanization Process: Urban American since 1970. In BERRY, B.J.L. (ed). *Urbanization and Counterurbanization*. Beverly Hills: Sage, 1976.

BERRY, B.J.L. y HORTON, F.E. *Geographic perspectives on urban systems*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 1970.

BOGART, W. T. y FERRY, W. C. Employment centres in Greater Cleveland: evidence of evolution in a formerly monocentric city. *Urban Studies*, 1999, nº 36, p. 2099-2110.

BOIX, R. Concepto y Delimitación de áreas metropolitanas: una aplicación a las áreas metropolitanas de España. In Seminario Centro de Estudios Andaluces. *Las grandes áreas metropolitanas españolas en una perspectiva comparada*. Sevilla: Consejería de Presidencia, 2007.

BOVENTER, E. von. Transportation costs, accessibility and agglomeration economies: centers, subcenters and metropolitan structure. *Papers of the Regional Science Association*, 1976, nº 37, p. 167-184.

BUREAU OF THE BUDGET. *Standard Metropolitan Statistical Areas*. Washington DC: Government Printing Office, 1964.

BUREAU OF THE CENSUS. *Sixteenth Census of the United States: 1940*. Washington DC: US Government Printing Office, 1942.

CARRERAS, J.M., OTERO, M. y RUIZ, E. Aglomeracions Metropolitanas Europees. *Papers*, 2009, nº 50, p. 246.

CERVERO, R. *America's Suburban Centers: The Land Use Transportation Link*. Boston, MA: Unwin Hyman, 1989.

CERVERO, R. y WU, K.L. Polycentrism, commuting and residential location in the San Francisco Bay area. *Environment and Planning A*, 1997, nº 29, p. 865-886.

COOMBES, M. y OPENSHAW, S. The use and definition of travel-to-work areas in Great Britain: some comments, *Regional Studies*, 1982, nº 16, p. 141-149.

CPSV. *La caracterización territorial y funcional de las áreas metropolitanas españolas*. Barcelona: CPSV, UPC, 2001.

CRAIG, S. G. y NG, P. T. Using quantile smoothing splines to identify employment subcenters in a multicentric urban area. *Journal of Urban Economics*, 2001, nº 49, p. 100-120.

DEMATTEIS, G. Sistema locali nucleari e sistema a rete. Un contributo geografico all'interpretazioni delle dinamiche urbana. In BERTUGLIA, C. y LA BELLA, A. (ed). *I sistema urbani*. Milano: Franco Angeli, 1991, p. 417-441.

DEZERT, B., METTON, A. y STEINBERG, L. *La periurbanization en France*. Paris: Sedes, 1991.

DIRECCIÓN GENERAL DE URBANISMO. *Áreas Metropolitanas de España en 1960*. Madrid: Ministerio de la Vivienda, 1965.

ERICKSON, R. A. y GENTRY, M. Suburban nucleations. *Geographic Review*, 1985, nº 75, p. 96-121.

FERIA, J. M. Un ensayo metodológico de definición de las áreas metropolitanas de España a partir de la variable residencia-trabajo. *Investigaciones Geográficas*, 2008, nº 46, p. 49-68.

FERIA, J. M. (a). La delimitación y organización espacial de las áreas metropolitanas españolas: una perspectiva desde la movilidad residencia-trabajo. *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*, 2010, vol. XLII, nº 164, p. 189-210.

FERIA, J. M. (b). La movilidad residencial y los procesos de urbanización metropolitanos en España. In FERIA, J. M. y ALBERTOS, J.M. (ed). *La Ciudad Metropolitana en España: procesos urbanos en los inicios del siglo XXI*. Pamplona: Civitas-Thomson Reuters, 2010, p. 23-47.

FUJITA, M. A monopolistic competition model of spatial agglomeration: differentiated products approach. *Regional Science and Urban Economics*, 1988, nº 18, p. 87-124.

FUJITA, M. y MORI, T. Structural stability and evolution of urban systems. *Regional Science and Urban Economics*, 1997, nº 27, p. 399-442.

FUJITA, M. y OGAWA, H. Multiple equilibria and structural transition of non-monocentric urban configurations. *Regional Science and Urban Economics*, 1982, nº 12, p. 161-196.

GARREAU, J. *Edge City: Life on the New Frontier*. New York: Doubleday, 1991.

- GEMACA (Group for European Metropolitan Area Comparative Analysis). *Les Régions Métropoles de l'Europe du Nord-Ouest; limites géographiques et structures économiques*. Paris: IAURIF-GEMACA, 1996.
- GIULIANO, G., REDFEARN, C., AGARWAL, A. *et al.* Employment concentrations in Los Angeles, 1980–2000. *Environment and Planning A*, 2007, n° 39, p. 2935-2957.
- GORDON, P. y RICHARDSON, H. W. Beyond polycentricity: the dispersed metropolis, Los Angeles 1970–1990. *Journal of the American Planning Association*, 1996, n° 62, p. 289-295.
- GORDON, P., RICHARDSON, H. W. y GIULIANO, G. *Travel trends in non-CBD activity centers*. Washington, DC: Report Ca-11-0032, Urban Mass Transit Administration, US Department of Transportation, 1989.
- GIULIANO, G. y SMALL, K. A. Subcenters in the Los Angeles region. *Regional Science and Urban Economics*, 1991, n° 21, p. 163-182.
- GREENE, D. L. Recent trends in urban spatial structure. *Growth and Change*, 1980, n° 11, p. 29-40.
- GRIFFITH, D. A. (a). Evaluating the transformation from a monocentric to a polycentric city. *Professional Geographer*, 1981, n° 33, p. 189-196.
- GRIFFITH, D. A. (b). Modelling urban population density in a multi-centered city. *Journal of Urban Economics*, 1981, n° 9, p. 298-310.
- HARTWICK, P. y HARTWICK, J. Efficient resource allocation in a multi-nucleated city with intermediate goods. *Quarterly Journal of Economics*, 1974, n° 88, p. 340-352.
- HARVEY, D. Cities or urbanization? In HARVEY, D. *City: Analysis of Urban Trends, Culture, Theory, Policy, Action*. Taylor & Francis, 1996, n° 1-2, p. 38-61.
- HEIKILA, E., GORDON, P., KIM, J. I. *et al.* What happened to the CBD-distance gradient? Land values in a polycentric city. *Environment and Planning A*, 1989, n° 21, p. 221-232.
- HENDERSON, J. V. y MITRA, A. The new urban landscape: developers and edge cities. *Regional Science and Urban Economics*, 1996, n° 26, p. 613-643.
- INDOVINA, F. *et al.* *La città diffusa*. Venezia: Daest, 1990.
- KRUGMAN, P. *The Self-organizing Economy*. Cambridge, MA: Blackwell, 1996.
- MARMOLEJO, C., AGUIRRE, C. y RUIZ, M. ¿Hacia un sistema de metrópolis españolas policéntricas?: caracterización de su estructura metropolitana. In LEY, A. y ARELLANO, B. *Proceedings del VI Congreso Ciudad y Territorio Virtual*. Mexicali: Universidad Autónoma de Baja California, 2010.
- McDONALD, J. F. The identification of urban employment subcenters. *Journal of Urban Economics*, 1987, n° 21, p. 242-258.
- McDONALD, J. F. y McMILLEN, D. P. Employment subcenters and land values in a polycentric urban area: the case of Barcelona. *Environment and Planning A*, 1990, n° 22, p. 1561-1574.
- McDONALD, J. F. y PRATHER, P. J. Suburban employment centres: the case of Barcelona. *Urban Studies*, 1994, n° 31, p. 201-218.
- McMILLEN, D. P. One hundred fifty years of land values in Chicago: a nonparametric approach. *Journal of Urban Economics*, 1996, n° 40, p. 100-124.
- McMILLEN, D. P. Non-parametric employment subcenter identification. *Journal of Urban Economics*, 2001, n° 50, p. 448-473.
- McMILLEN, D. P. The return of centralization to Barcelona: using repeat sales to identify changes in house price distance gradients. *Regional Science and Urban Economics*, 2003, n° 33, p. 287-304.
- McMILLEN, D. P. Employment densities, spatial autocorrelation, and subcenters in large metropolitan areas. *Journal of Regional Science*, 2004, n° 44, p. 225-243.
- McMILLEN, D. P. y LESTER, T. W. Evolving subcenters: employment and population densities in Barcelona, 1970–2020. *Journal of Housing Economics*, 2003, n° 12, p. 60-81.
- McMILLEN, D. P. y McDONALD, J. F. A nonparametric analysis of employment density in a polycentric city. *Journal of Regional Science*, 1997, n° 37, p. 591-612.
- McMILLEN, D. P. y McDONALD, J. F. Suburban subcenters and employment density in metropolitan Chicago. *Journal of Urban Economics*, 1998, vol. 43, n° 2, p. 157-180.
- MINISTERIO DE FOMENTO. *Atlas Estadístico de las Áreas Urbanas en España*. Madrid: Ministerio de Fomento, 2000.
- MINISTERIO DE LA VIVIENDA. *Atlas Estadístico de las Áreas Urbanas en España*. Madrid: Ministerio de la Vivienda, 2005.
- MINISTERIO DE LA VIVIENDA. *Atlas Estadístico de las Áreas Urbanas en España*. Madrid: Ministerio de la Vivienda, 2007.
- MINISTERIO DE LA VIVIENDA. *Atlas Estadístico de las Áreas Urbanas en España*. Madrid: Ministerio de la Vivienda, 2009.
- MUÑIZ, I., GALINDO, A. y GARCÍA-LÓPEZ, M. A. Cubic spline density functions and satellite city delimitation: the case of Barcelona. *Urban Studies*, 2003, n° 40, p. 1303-1321.
- MUTH, R. F. *Cities and Housing: the spatial pattern of urban residential land use*. Chicago, IL: University of Chicago Press, 1969.
- NEL·LO, O. Los confines de la ciudad sin confines. Estructura urbana y límites administrativos en la ciudad difusa. In MOCLÚS, F. J. (ed.). *La ciudad dispersa*. Barcelona: Centre de Cultura Contemporània de Barcelona, 1998, p. 17-33.
- NEL·LO, O. *Cataluña, ciudad de ciudades*. Lleida: Ed. Milenio, 2002.
- NUREC. *Atlas of Agglomerations in the European Union*. Vol. II. Spain. Duisburg: NUREC, 1994.
- ODLAND, J. The conditions for multi-center cities. *Economic Geography*, 1978, n° 54, p. 234–244.
- OGAWA, H. y FUJITA, M. Equilibrium land use patterns in a non-monocentric city. *Journal of Regional Science*, 1980, n° 20, p. 455-476.
- PORTAS, N. y DOMINGUES, A. La Región Atlántica Norte de Portugal: ¿Metrópolis o metápolis?. In MONCLÚS, F. J. (ed.). *La ciudad dispersa*. Barcelona: Centre de Cultura Contemporània de Barcelona, 1998.
- REDFEARN, C. L. The topography of metropolitan employment: identifying centers of employment in a polycentric urban area. *Journal of Urban Economics*, 2007, n° 61, p. 519-561.

ROCA, J. La delimitación de la ciudad ¿una cuestión imposible?. *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*, 2003, vol. XXXV, nº 135, p. 17-36.

ROCA, J. y ARELLANO, B. La Distribución del tamaño de las Ciudades. La Ley de Zipf revisitada. In LEY, A. y ARELLANO, B. *Proceedings del VI Congreso Ciudad y Territorio Virtual*. Mexicali: Universidad Autónoma de Baja California, 2010.

ROCA, J., ARELLANO, B. y MOIX, M. Estructura Urbana, Policentrismo y Sprawl. Los ejemplos de Madrid y Barcelona. *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*, 2011 forthcoming.

ROCA, J., BURNS, M. y MOIX, M. *Las Áreas Metropolitanas Españolas. Evolución 1991-2001*. Barcelona: CPSV, UPC, 2005.

ROCA, J. y CLUSA, J. *La Delimitació de l'Àrea Metropolitana de Barcelona*. Barcelona: CPSV, UPC, 1997.

ROCA, J., MARMOLEJO, C. y MOIX, M. Urban Structure and Polycentrism: Towards a redefinition of the Sub-centre concept. *Urban Studies*, 2009, vol. 46, nº 13, p. 2841-2868.

ROCA, J. y MOIX, M. The interaction value: its scope and limits as an instrument for delimiting urban systems. *Regional Studies*, 2005, nº 39, p. 359-375.

SALOM, J. y ALBERTOS, J. M. Densidad de La red viaria y forma urbana: Delimitación del espacio urbano en ocho aglomeraciones españolas. In FERIA, J. M. y ALBERTOS, J.M. (ed). *La Ciudad Metropolitana en España: procesos urbanos en los inicios del siglo XXI*. Pamplona: Civitas-Thomson Reuters, 2010, p. 49-94.

SERRA, J., OTERO, M. y RUIZ, E. Grans aglomeracions metropolitanes europees. *Papers, Regió Metropolitana de Barcelona*, 2002, nº 37, p. 11-165.

WHITE, M. J. Firm suburbanization and urban subcenters. *Journal of Urban Economics*, 1976, nº 3, p. 323-343.

© Copyright Josep Roca Cladera, Montserrat Moix Bergadà y Blanca Arellano Ramos, 2012.

© Copyright Scripta Nova, 2012.

Edición electrónica del texto realizada por [Jenniffer Thiers](#).

Ficha bibliográfica:

ROCA CLADERA, Josep; Montserrat MOIX BERGADÀ y Blanca ARELLANO RAMOS. El sistema urbano en España. *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*. [En línea]. Barcelona: Universidad de Barcelona, 20 de marzo de 2012, vol. XVI, nº 395. <<http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-395.htm>>. [ISSN: 1138-9788].



[Índice de Scripta Nova](#)

[Menú principal](#)

ACE 16

Electronic offprint

Separata electrónica

LA DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE LAS CIUDADES, LA LEY DE ZIPF REVISITADA

JOSEP ROCA CLADERA

BLANCA ESMARAGDA ARELLANO RAMOS

ACE: Architecture, City and Environment = Arquitectura, Ciudad y Entorno [en línea]. 2011, Año 6, núm. 16 Junio. P. 199-222

ISSN: [1886-4805](https://doi.org/10.1080/18864805)

Website access: http://www-cpsv.upc.es/ace/Articles_n16/articles_pdf/ACE_16_SE_27.pdf

UPCommons Access: <http://hdl.handle.net/2099/10540>

ACE

Architecture, City, and Environment
Arquitectura, Ciudad y Entorno

C

SIZE DISTRIBUTION OF CITIES, ZIPF'S LAW REVISITED

ROCA CLADERA, Josep
ARELLANO RAMOS, Blanca¹

First received: 6-10-2011

Final version: 20-6-2011

Key words: Zipf's Law, city size, metropolitan areas.

Abstract

Several authors (Berry 1970, Krugman 1996 or Eaton and Eckstein 1997, among many others) have experienced amazement how in most places the law of "least effort" established by Zipf (1949) is met very clearly. Cities, ranked by population, seem to follow almost exactly a function log/log, in which the logarithm of the "mass" (population, density, number of employees, etc..) correlates almost perfectly with the logarithm of the order of that mass. This function log/log, advanced by Pareto in the nineteenth century, has attracted quite a number of researchers, to occur in scenarios, both natural phenomena (earthquakes, meteorites, living species, ...) as derivatives of society (language, or distribution of cities), which has led to investigate its theoretical basis (Simon 1955, Brakmar *et al.* 1999, Gabaix 1999).

While some authors (Rosen and Resnick 1980, Fan and Casetti 1994) have discussed the linear validity of Zipf's Law, introducing nonlinear models, technical literature has focused on the "upper tail" of the urban hierarchy, cities or large metropolitan areas, tending to silence the fact that the function log/log at all seems to be a general model. This paper attempts to show that when taking into account all the cases (ie, all populated localities in a particular territory), the log / log model seems to be only a special case of "the big." In fact it shows that the log/lin model tends to be more efficient, even with "folded tails." This has led to the hypothesis that tries to be tested in this study, that the logarithm of the urban mass tends to have a "normal distribution", leading its cumulative distribution (and ordered by rank) to be distributed according to a logistical structure, called "S".

In this sense, the observation repeated of fulfillment of the Law of Zipf in the size of the cities would be just "the tip of the iceberg", in which cities of small and medium size also take its part, and where a "law" of a higher level appears.

The presented research questions if this "normal" emergency of the logarithm of the mass could be shaped in a simple and elegant form, and tries an experiment in this regard.

¹ **Blanca Esmaragda Arellano Ramos:** Centro de Política de Suelo y Valoraciones, Universidad Politécnica de Cataluña. Avenida Diagonal, 649 4ªPlanta, 08028, Barcelona, España. Email de contacto: blanca.arellano-ramos@upc.edu

LA DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE LAS CIUDADES, LA LEY DE ZIPF REVISITADA

ROCA CLADERA, Josep
ARELLANO RAMOS, Blanca²

Remisión inicial: 6-10-2011

Remisión definitiva: 20-6-2011

Palabras Clave: Ley de Zipf, tamaño de ciudades, áreas metropolitanas.

Resumen

Diversos autores (Berry, 1970; Krugman, 1996; Eaton y Eckstein, 1997; entre muchos otros) han experimentado asombro acerca de cómo en la mayor parte de lugares se cumple con una claridad meridiana la ley del “mínimo esfuerzo” establecida por Zipf (1949). Las ciudades, ordenadas por población, parecen seguir casi al pie de la letra una función log/log, en la que el logaritmo de la “masa” (población, densidad, número de trabajadores, etc.) se correlaciona de forma casi perfecta con el logaritmo del orden de dicha masa. Esa función log/log, avanzada ya por Pareto en el siglo XIX, ha seducido a no pocos investigadores, al producirse, en hipótesis, tanto en fenómenos naturales (terremotos, meteoritos, especies vivas, etc.) como derivados de la sociedad (lenguaje o distribución de ciudades), lo que ha llevado a indagar en sus fundamentos teóricos (Simon, 1955; Brakman *et al.*, 1999; Gabaix, 1999).

Si bien algunos autores (Rosen y Resnick, 1980; Fan y Casetti, 1994) han discutido la validez lineal de la Ley Zipf, introduciendo modelos no lineales, la literatura especializada se ha concentrado en la “cola superior” de la jerarquía urbana, las ciudades o áreas metropolitanas grandes, tendiendo a callar el hecho de que la función log/log en absoluto parece ser un modelo de alcance general. El presente artículo intenta mostrar que cuando se tiene en cuenta la totalidad de casos (es decir, la totalidad de localidades pobladas en un determinado territorio), el modelo log/log parece ser tan sólo un caso singular propio de “los grandes”. De hecho, se pone en evidencia que un modelo log/lin tiende a ser más eficiente, aunque se “dobla por las colas”. Ello ha conducido a la hipótesis que intenta ser contrastada en esta investigación que el logaritmo de la masa urbana tiende a tener una “distribución normal”, conduciendo su distribución acumulada (y ordenada por rango) a distribuirse de acuerdo con una estructura de carácter logístico, en “S”.

En este sentido la observación reiterada del cumplimiento de la Ley de Zipf en el tamaño de las ciudades sería tan sólo la punta emergida de un “iceberg” más profundo, en el que ciudades medias y pequeñas tienen también su protagonismo, y donde una “ley” de carácter más general emerge.

² Blanca Esmaralda Arellano Ramos: Centro de Política de Suelo y Valoraciones, Universidad Politécnica de Cataluña. Avenida Diagonal, 649 4ªPlanta, 08028, Barcelona, España. Email de contacto: blanca.arellano-ramos@upc.edu

La investigación presentada se interroga acerca de si puede modelarse de forma sencilla y elegante esa emergencia “normal” del logaritmo de la masa e intenta algún experimento en este sentido.

1. Introducción

Una de las cuestiones que más ha atraído a los especialistas urbanos, en especial a los economistas, ha consistido en la comprensión de la jerarquía espacial inherente a la distribución de los tamaños de las ciudades. Desde hace décadas es bien conocido que la distribución de las grandes ciudades en muchos lugares del mundo puede ser descrita por una ley de tipo exponencial, descrita en su forma más popular por Zipf (1949)³, según la cual el número de ciudades con una población mayor que “ P ” es aproximadamente proporcional a P^{-a} , estando “ a ” muy próximo a 1. Zipf, estudiando la frecuencia de uso de las palabras de lengua inglesa, en función a su complejidad (el número de letras), llegó a formular una “ley” que denominó de “mínimo esfuerzo”, según la cual la frecuencia de una palabra, P_n , ordenada en el orden n tendría una frecuencia igual a:

$$P_n \sim 1/n^a$$

Dicha “ley” ha sido contrastada para multitud de fenómenos naturales o artificiales. Desde la frecuencia de los terremotos en virtud a su magnitud, hasta al tamaño de las ciudades.

La razón de por qué la distribución del tamaño de las ciudades sigue la “ley” de Zipf ha intrigado a no pocos teóricos (Simon, 1955; Henderson, 1974; Krugman, 1996; Brakman et al., 1999; Gabaix, 1999⁴), lo que ha llevado a Krugman (1999:223) a decir:

“Llegados a este punto, no tenemos en nuestro haber ninguna explicación de la asombrosa regularidad que presentan las distribuciones del tamaño de las ciudades. Debemos reconocer que este hecho supone un verdadero desafío intelectual”.

El origen de la “ley” descrita por Zipf parece encontrarse en el estudio de la distribución de rentas llevado a cabo por Pareto (1896), y según la cual se produciría el conocido efecto “80-20”⁵. Ya en 1913, Auerbach (1913) propuso que la distribución del tamaño de las ciudades podría estar muy cercana a una distribución de Pareto. Entonces si ordenamos las ciudades desde la más grande (rango 1) a la más pequeña (rango N), el rango de una ciudad de población P , $r(P)$, sería:

$$r(P) = AP^{-\alpha}$$

En logaritmos:

³ Ya en 1682, Alexandre Le Maitre reconoció la existencia, en Francia, de una clara estructura en la distribución del tamaño de las ciudades. Pero no fue sino hasta 1913 que Felix Auerbach que se estableció formalmente la estructura de la relación matemática, que más tarde Zipf generalizaría en la función exponencial con exponente -1.

⁴ Desde Simon (1955) se ha venido a discutir la vinculación entre la distribución de Pareto con el principio desarrollado por Gibrat (1931), según el cual no existe relación entre la tasa de crecimiento (de las ciudades en nuestro caso) y la dimensión inicial, razón por la cual no se puede deducir comportamiento regular alguno.

⁵ Es decir, que el 20% de la población acumularía el 80% de la riqueza.

$$\ln r(P) = \ln A - \alpha \ln P$$

Siendo $\alpha = 1$, un caso particular de la distribución de Pareto, en la interpretación dada por Zipf.

El trabajo empírico realizado a lo largo de varias décadas (Berry, 1961; Berry & Horton, 1970; Rosen & Resnick, 1980; Carroll, 1982; Guérin-Pac, 1995; Eaton & Eckstein, 1997; Chesire, 1999; Dobkins & Ioannides, 2000) parece llegar a la conclusión de que, *en las grandes ciudades*, la distribución de las ciudades sigue, por regla general, la distribución de Pareto. Respecto a si $\alpha = 1$, algunos autores, especialmente Krugman (1996), han defendido con ardor la validez de la tesis de Zipf. Mientras que otros, como Alperovich (1993), la han rechazado.

También en España, Lasuén *et al.* (1967), primero, y Lanaspá *et al.* (2004), más recientemente, han confirmado la validez de la distribución exponencial de Pareto. Según estos últimos, que han estudiado la serie temporal de la población de los municipios más grandes españoles desde 1900 a 1999, los grados de ajuste de los modelos logarítmicos desarrollados son óptimos, con niveles de explicación (R^2) superiores al 0,98; siendo siempre el *exponente de Pareto* significativo estadísticamente. Respecto a la "ley" de Zipf su trabajo concluye que el parámetro α es, en todos los modelos ensayados, estadísticamente diferente a uno, con lo que afirman que, para el caso español, no existe evidencia a favor de la citada "ley".

En los últimos años la mayor parte de la literatura, aceptado el principio de Pareto, ha ido dirigida al análisis de *la forma de esa distribución*. Dobkins & Ioannides (2000) han encontrado que el coeficiente α ha disminuido a lo largo del siglo XX para las ciudades de Estados Unidos de América (en adelante, por sus siglas en inglés, USA). Resultados similares a los obtenidos por Lanaspá *et al.* (2004), los cuales encuentran caídas regulares del *coeficiente de Pareto* desde 1900 hasta 1970, así como incrementos en la citada pendiente a partir de esa fecha, lo que es interpretado como una demostración de los cambios operados en la estructura urbana española⁶. Siguiendo a Suárez-Villa (1988), dichos autores interpretan la evolución del coeficiente de Pareto como *índice de metropolitanización*, confirmando para el caso español la hipótesis de Parr (1985) acerca de la evolución en "U" de dicho exponente a lo largo del tiempo en los países desarrollados.

En el análisis de la forma de distribución del tamaño/rango de las ciudades, algunos autores han propuesto transformaciones respecto al modelo clásico de Pareto. La literatura especializada (Lanaspá *et al.*, 2004) ha destacado que si bien las distribuciones paretianas se ajustan razonablemente bien a la distribución del tamaño de las ciudades, se puede plantear de forma complementaria la posibilidad de que la relación entre rango y tamaño no sea de carácter lineal (Rosen y Resnick, 1980; Fan y Casetti, 1994). Particularmente ha tenido amplia difusión la transformación cuadrática:

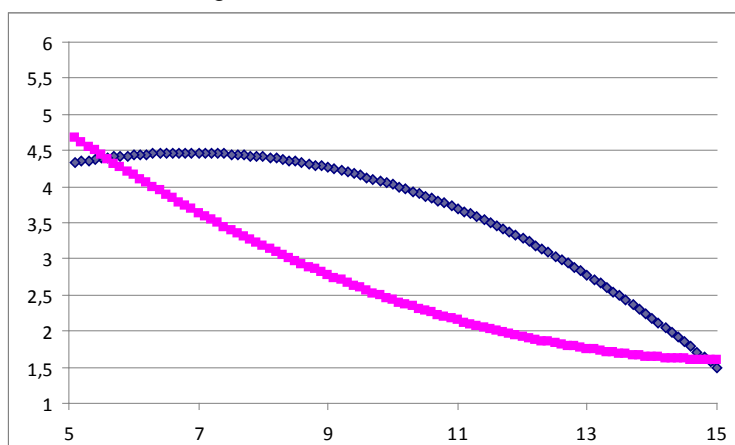
⁶ Para los autores citados, "la estructura urbana española experimenta un profundo cambio en su evolución alrededor de mediados de los años setenta. Hasta esa fecha la distribución es cada vez menos igualitaria, de forma que se acentúan las diferencias entre los tamaños de las ciudades, siendo éstas mayores en la parte alta (ciudades más grandes) de la distribución. (...) A mediados de los setenta, y hasta 1999, el panorama se altera y la concentración de la población en los mayores núcleos llega a su tope. La distribución de los tamaños de las ciudades se vuelve en su conjunto menos desigual, de forma que son las aglomeraciones pequeñas y medianas las que ahora crecen más deprisa" (Lanaspá *et al.*, 2004:13-14).

$$\ln r(P) = \ln A - \alpha \ln P + \beta \ln P^2$$

Donde β permitiría comprender la constatada curvatura de las “colas” de la distribución rango/tamaño.

El planteamiento teórico sugiere, siguiendo a Pareto, que el coeficiente α debiera ser positivo, ponderando el β el grado de metropolitanización de la estructura del sistema urbano: creciente (es decir con elevada “macrocefalia”), en caso de ser de signo positivo (color lila en la Figura 1) y decreciente (en estructuras tendentes a una mayor dispersión), si negativo (color azul en la Figura 1)⁷.

Figura 1. Modelos cuadráticos



Fuente: Elaboración propia.

El contraste empírico de esta estructura no lineal ha sido confirmada estadísticamente para los principales municipios españoles por Lanaspá *et al.* (2004), con R^2 sorprendentemente altas (superiores a 0,99) y con un acusado cambio en la curvatura de las colas (β pasa de tener signo positivo a negativo, a partir de 1970).

La mayor parte de los trabajos empíricos desarrollados, sin embargo, parecen obedecer a una voluntad implícita de querer demostrar la validez de la “ley” de Zipf, o cuando menos de su versión menos restrictiva de Pareto. La velada advertencia de que la relación log/log es válida sólo para las “ciudades” suele conducir, en el mejor de los casos, a una definición, abstracta a juicio de los autores de este trabajo, de lo que es *ciudad*. Así, por ejemplo, el trabajo de Rosen & Resnick (1980) se centra en las 50 principales ciudades de 44 países. Krugman (1996) se limita a las 130 principales áreas metropolitanas de USA. Dobkins y Ioannides (2000) al conjunto de áreas metropolitanas, desconociendo el hecho de las ciudades menores. Lanaspá

⁷ Para Lanaspá *et al.* (2004), si $\beta = 0$ nos encontraríamos con la Ley de Gibrat (1931).

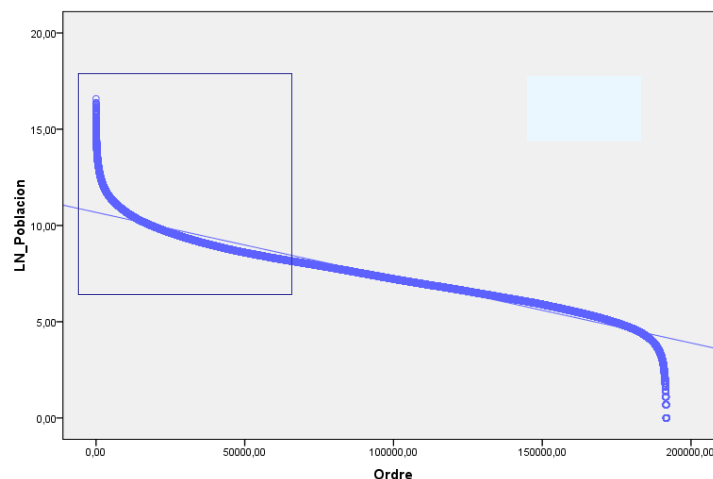
et al. (2004) a los 100-300-700 municipios mayores de España. Y así casi en toda la literatura. Berry y Horton (1970:64) se refieren al límite de 250.000 habitantes como “the size of urban region (...) to constitute the minimum threshold scale for economic and social viability in contemporary, metropolitanized America”.

Rosen and Resnick (1980), en su trabajo acerca de la literatura desarrollada entre 1950 y 1970, subrayan la importancia de la definición de ese “lower threshold size for cities”, aspecto que también ha sido subrayado, de forma más reciente, por Dobkins y Ioannides (2000) así como por Black y Henderson (2003). Sin embargo, desde 1980, no se ha profundizado de forma significativa acerca de la definición de “ciudad”, que estaría detrás de las fuerzas económicas que conducen a la distribución de Pareto. La limitación a umbrales de población, o a conceptos administrativos de *área metropolitana*, no parece el camino a seguir en la investigación.

Este trabajo se centra en la discusión de la validez de la “ley” de Zipf, así como de la distribución de Pareto, cuando se analiza la *totalidad del sistema urbano*, y no tan sólo su “cola” superior. En ese caso emergen formas muy distintas de la relación rango/tamaño, en las que la relación log/log es tan sólo una parte singular de las mismas: limitada al “upper tail” de la distribución completa. La distribución de Pareto, en este caso, se limitaría a explicar la punta del iceberg, haciendo necesaria una teoría más completa que se plantee comprender acerca de si existen regularidades en la relación rango/tamaño de las ciudades, así como las causas inherentes a las mismas.

En este sentido, en este trabajo se propone, siguiendo a Eeckhout (2004), que el aparente cumplimiento de la distribución de Pareto en los sistemas urbanos de gran magnitud (p.e. > 1.000.000 habitantes) obedece en realidad a la visión sesgada del “upper tail” del sistema territorial completo, el cual, aparentemente, seguiría, en su totalidad, una distribución log-normal (ver Figura 2).

Figura 2. ¿Una singularidad del “upper tail”?



Fuente: Elaboración propia.

Como ha indicado Eeckhout (2004:1432): “At the very upper tail of the distribution, there is no dramatic difference between the density function of the lognormal and the Pareto. Now both the truncated lognormal and the Pareto density are downward sloping and similar (the Pareto is slightly more convex). As a result, both the Pareto and the truncated lognormal trace the data relatively closely”. Aparentemente podrían producirse simultáneamente, por tanto, ambas leyes: la distribución log/log de Pareto en el “upper tail”, como una singularidad parcial del conjunto normal del logaritmo del tamaño. Basado en los datos del U.S. Census 2000 data, Eeckhout (2004) sostiene que el conjunto de la distribución de las ciudades norteamericanas adopta una forma log-normal antes que paretiana, contrastando dicha hipótesis mediante la aplicación del test de Kolmogorov-Smirnov (en adelante, KS) para distribuciones normales.

Dicha propuesta, criticada por Levy (2009)⁸, es actualmente objeto de discusión por parte de la literatura especializada. González-Val *et al.* (2008) han encontrado evidencias de la distribución log-normal para el conjunto de las unidades urbanas de Italia, España y USA, de 1900 a la actualidad, utilizando para ella una aplicación específica del test de Wilcoxon sobre verificación de la hipótesis nula de igualdad entre distribuciones. Por su parte Malevergne *et al.* (2009) confirman la validez estadística de la distribución de Pareto para las primeras 1.000 ciudades de USA, si bien sugieren que para las de menor tamaño la distribución log-normal es más eficiente.

El trabajo que aquí se presenta, busca mostrar evidencias empíricas acerca del citado debate, sugiriendo vías alternativas de desarrollo. Especialmente se sostiene que la ley log-normal aparece de forma más evidente cuando se considera las *ciudades reales* antes que las simples *unidades administrativas*, revelándose como un instrumento eficiente para la comprensión del fenómeno de distribución del tamaño de los sistemas urbanos.

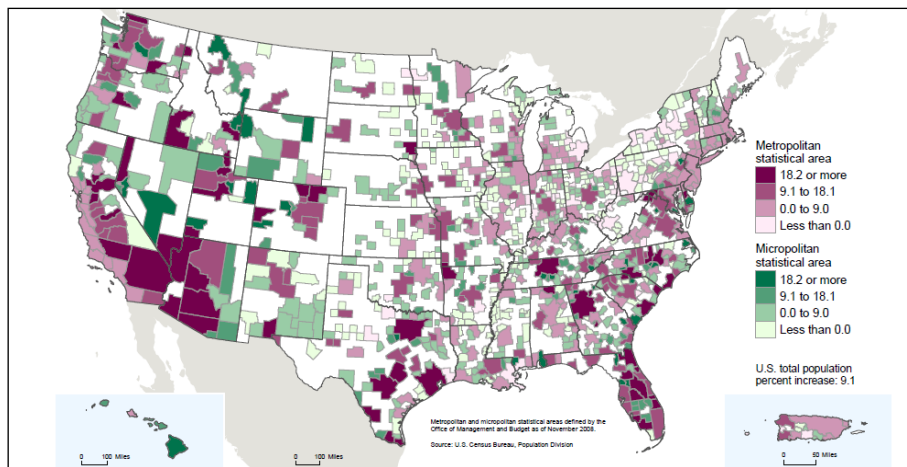
2. Un primer análisis empírico: las áreas metro y micropolitanas de USA

En primer lugar se replicará el análisis de la distribución tamaño/rango de los sistemas urbanos en USA, sin la restricción de referirnos al “upper tail” de las áreas metropolitanas (en adelante, Metro). A tal fin incluiremos no sólo las Metro sino también las áreas micropolitanas (en adelante, Micro)⁹, tal como las definió el Census Bureau para 2000. Eso nos permite trabajar no sólo con los sistemas de más de 100.000 habitantes (385 Áreas Metropolitanas), sino con los 940 sistemas urbanos que superan los 10.000 habitantes, según datos de 2009 (ver Figura 3).

Figura 3. Evolución de la población de las áreas micro y metropolitanas (2000-2009)

⁸ Levy (2009) argumenta que el 0.6% superior de las ciudades norteamericanas, el cual agrupa más del 23% de la población se separa drásticamente de la distribución lognormal, mostrando una mayor congruencia con la hipótesis log/log de Pareto. Para Levy, si bien el grueso de la distribución sigue la ley lognormal, en el upper tail no puede ser confirmada mediante la aplicación de los 2-test convencionales. El no rechace, por Eeckhout (2004), de la hipótesis lognormal proviene, para Levy, del uso del test de Lilienfords (L test), el cual viene dominado por el centro de la distribución, antes que por sus colas, “where the interesting action occurs”.

⁹ El Censo USA diferencia las áreas metropolitanas de las micropolitanas. Las primeras con un county o ciudad central de 50.000 o más habitantes, que agrega un sistema urbano (en su conjunto) de más de 75.000 habitantes. El área metropolitana se consolida a partir de los counties (o ciudades) que envían más de un determinado porcentaje de sus residentes a trabajar al corazón del sistema urbano. Por su parte las áreas micropolitanas se delimitan siguiendo un procedimiento similar, si bien el centro urbano puede alcanzar un umbral mínimo de 10.000 habitantes.



Fuente: US Census Bureau, 2009.

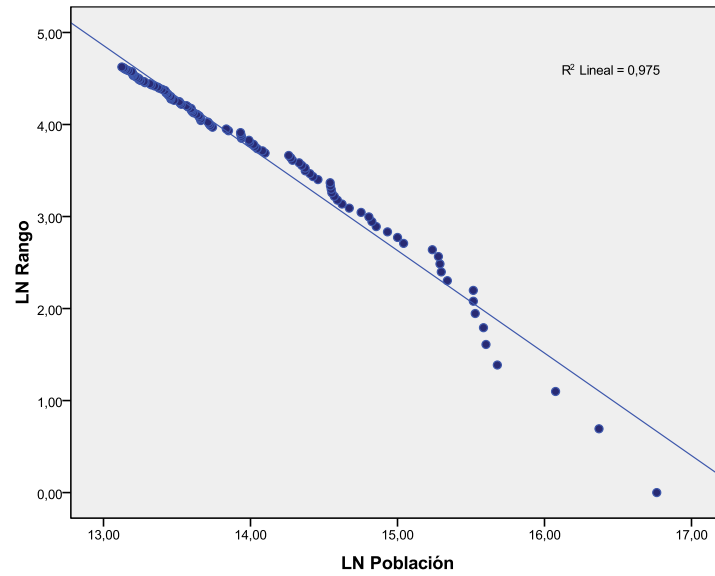
La Figura 4 nos muestra el resultado de aplicar la distribución de Pareto para los sistemas urbanos de más de 500.000 habitantes (102 Metro). Como se puede observar la relación log/log parece confirmarse ($R^2 = 0,975$), aunque no tanto la “ley” de Zipf, ya que el exponente de Pareto es estadísticamente distinto a 1 (-1,114).

En apariencia, el modelo log/log continúa funcionando bien ($R^2 = 0,974$), cuando se considera el conjunto de sistemas urbanos mayores de 10.000 habitantes, aún cuando la “ley” de Zipf sigue sin ser confirmada ($\alpha = -0,795$). Sin embargo, la Figura 5 evidencia la clara concavidad inferior de la distribución, confirmada por el modelo cuadrático ensayado ($R^2 = 0,997$; $\alpha = 0,913$; $\beta = -0,070$)¹⁰. Dicho modelo permite poner en duda la validez de la distribución de Pareto no tanto porque sea significativamente más eficiente que la log/log, sino por el evidente cambio de signo experimentado por el coeficiente α ¹¹. Dicho cambio se debe a una razón más profunda que la colinearidad existente entre el logaritmo de la población y el cuadrado de ese logaritmo. El cambio se debe a que la verdadera relación que subyace a la muestra estudiada es no tanto la relación log/log, sino log/log². El logaritmo de la población explica los residuos no explicados por el logaritmo al cuadrado, y no al revés, como sería de esperar si la distribución de Pareto fuese cierta.

Figura 4. **Áreas Metropolitanas en USA (> 500.000 habitantes, 2009)**

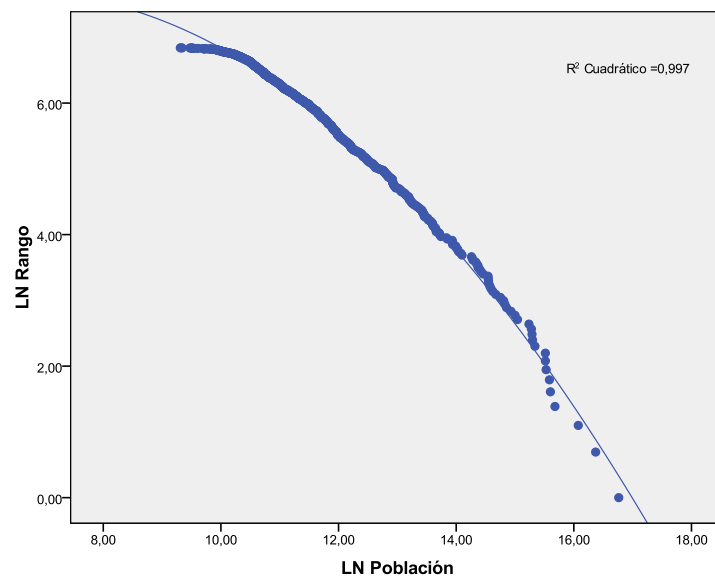
¹⁰ Otros trabajos, con datos anteriores, habían dado para las Áreas Metropolitanas USA resultados similares. Así Rosen and Resnick (1980) encontraron, para datos de 1980, esa misma downward concavity.

¹¹ Idéntico resultado cóncavo inferior se obtiene si la muestra estudiada se limita a las Áreas Metropolitanas mayores de 500.000 habitantes.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. **Sistemas Micro y Metropolitanos en USA (>10.000 habitantes, 2009)**



Fuente: Elaboración propia.

La nada intuitiva interpretación de la ecuación cuadrática del logaritmo, parece sugerir que algo oculto permanece en la distribución rango/tamaño de las ciudades, más allá de la interpretación dada por Pareto.

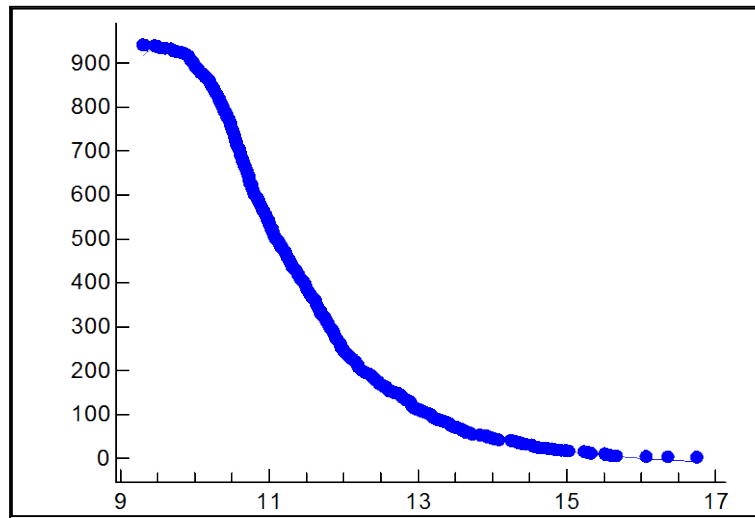
Lo anterior conduce a analizar la relación rango/tamaño desde una perspectiva no paretiana, del tipo lin/log. En ese caso se hace evidente una distribución en “S”, que viene contrastada con el buen rendimiento de los modelos de tipo sigmoideo, como el representado en la Figura 6

($R^2 = 0,999$). Forma en “S” que recuerda de forma acusada la distribución acumulada de una distribución normal (cdf en la literatura especializada).

Figura 6. Distribución de “Racional”¹²

Fuente: Elaboración propia.

Lo anterior conduce a las siguientes preguntas:



- ¿Nos encontramos, simplemente, ante una distribución normal del logaritmo de la población?
- ¿La distribución de Zipf/Pareto no sería, entonces, simplemente el “upper tail” de dicha distribución normal acumulada?

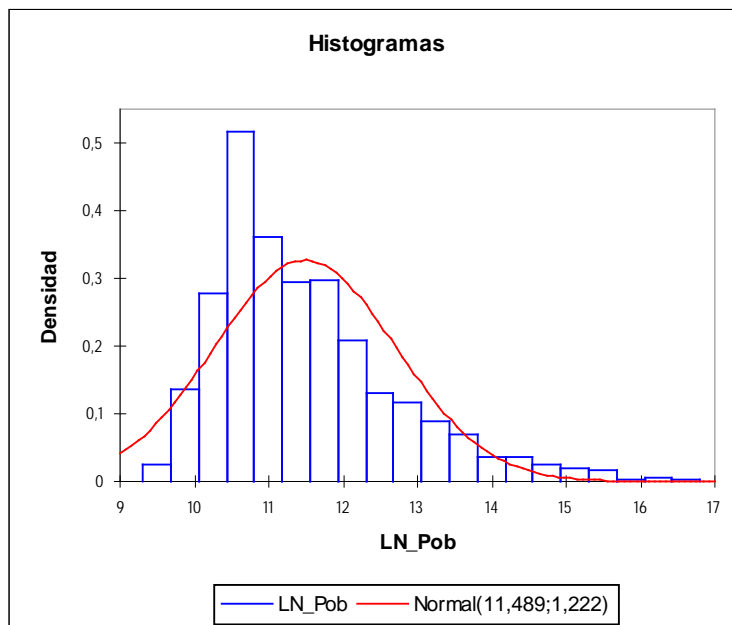
El test de KS no permite confirmar la hipótesis nula, con lo que parece confirmarse que la distribución del logaritmo de las Áreas Metro y Micropolitanas se aleja de la normalidad¹³. Por otra parte, el análisis del histograma adjunto tampoco permite asegurar la estructura normal del logaritmo de la población. A pesar de que la tendencia del histograma claramente sugiere una estructura normal, la mayor frecuencia de las ciudades situadas en el rango de población (logaritmo) situado entre 10 y 11, respecto al rango “central”, entre 11 y 12, permite dudar que realmente la distribución del logaritmo del tamaño obedezca a una ley normal.

¹² La distribución “Racional” ensayada puede ser expresada del modo que sigue:

$R(P) = ((A+(B*x))/((1+(C*x))+(D*(x^2))))$, siendo A, B, C y D constantes.

¹³ El test devuelve un valor $D = 0,097$, lo que corresponde a un p-value $< 0,0001$, por lo que la hipótesis nula de igualdad con la distribución normal debe ser rechazada.

Figura 7. Histograma del LN de la Población



Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, el test KS, como ha destacado la doctrina, tiende a devolver resultados negativos en muestras relativamente grandes, lo que conduce a la búsqueda de recursos alternativos, como por ejemplo el test de Wilcoxon (en adelante, W), sugerido por Lanaspá *et al.* (2004), para demostrar la igualdad entre dos distribuciones.

La aplicación del test W implica contrastar la distribución de los rangos obtenidos del tamaño de la población (ordenados de menor a mayor) con la que correspondería si fuese normal. A tal fin: a) se calcula por máxima verosimilitud la distribución normal acumulada (cdf) correspondiente a la de la población empíricamente observada ($\mu = 11,489$; $\sigma = 1,222$); b) se obtiene por mínimos cuadrados el rango teórico que correspondería a dicha cdf ($R^2 = 0,967$); y c) finalmente se aplica el test W a ambas distribuciones (los rangos ordenados 1, 2 ... 940 de forma creciente; y los rangos resultantes del análisis de regresión obtenidos por la cdf). Los resultados de la aplicación de esa última técnica permite, a diferencia del test KS, considerar la hipótesis de normalidad ($p\text{-value} > \alpha$). Las dos distribuciones de rango observadas, puede afirmarse, corresponden a un mismo patrón.

Tabla 1. Comparación de distribuciones por el método de Wilcoxon

V	210459
Esperanza	221135,000
Varianza (V)	69325822,500
p-valor (bilate)	0,200
alfa	0,05

Donde:

El p-valor exacto no ha podido ser calculado

El p-valor se ha calculado por aproximación

Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, ya como más adelante se discutirá, tampoco el test de Wilcoxon muestra resultados muy fiables, dada su naturaleza intrínsecamente ordinal.

Cabe concluir, por tanto, que para la muestra estudiada no existe una comprobación definitiva acerca de la normalidad de la distribución del logaritmo de la población de las áreas metropolitanas y micropolitanas de USA¹⁴. *La aplicación, no obstante, del test W sugiere la posible existencia de una estructura oculta de la distribución del logaritmo de la población tendente a la normalidad.*

La Tabla 2 resume los principales resultados de los diferentes tests ensayados para verificar la normalidad del logaritmo de la población, así como la hipótesis alternativa, relativa a la ley de Pareto.

Tabla 2. **Tests de contraste**

Hipótesis	Log-Normal	Log-Normal	Log-Normal	Log-Log	Log-Log	Log-Normal
Test	1 (W)	2 (W)	3 (W)	4 (W)	5 (W)	6 (W)
Contraste	O_I Pred Cdf ¹	O_I Pred cdf ¹	O_I_Pred cdf ²	O_Pred pareto ³	O_Pred pareto ⁴	Prob. Acum. ⁵
Tamaño	940	102	102	102	940	940
p-value	0,200	< 0,0001	0,526	0,276	<0,0001	0,730
alfa	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Resultado	Positivo	Negativo	Positivo	Positivo	Negativo	Positivo

Donde: ¹ Se trata del rango creciente predicho (para las 940 áreas Metro y Micropolitanas) a partir de la cdf. ² Rango creciente predicho para las 102 áreas Metropolitanas (más de 500.000 habitantes) a partir de la cdf. ³ Rango decreciente predicho a partir del modelo log/log (Pareto) para las 102 áreas Metropolitanas. ⁴ Rango decreciente predicho a partir del modelo log/log para el conjunto de las 940 áreas. ⁵ Probabilidad acumulada de la distribución empírica.

Fuente: Elaboración propia.

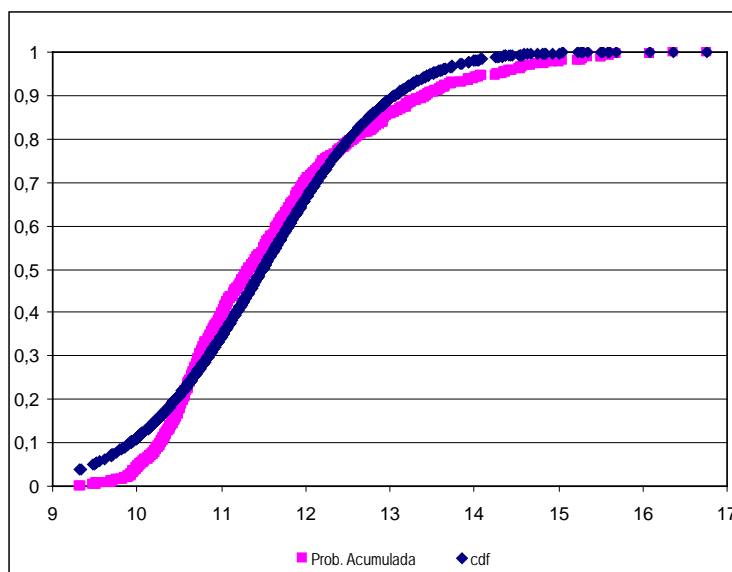
Como se puede observar de la Tabla 2, si bien el test 1 W permite hipotizar la estructura normal del logaritmo de la población *para el conjunto de la muestra* (las 940 áreas metro y micropolitanas), cuando se aplica al “upper tail”, las 102 áreas metropolitanas (2 W), dicha hipótesis no puede ser confirmada. En cambio, sí se confirma la distribución de Pareto (log/log, 4 W) para la cola alta, pero no así para el conjunto de la población (5 W). El presente trabajo permite contrastar, así, las conclusiones avanzadas por Malevergne *et al.* (2009) relativas a la corroboración de la distribución log-normal avanzada por Eeckhout (2004) para el conjunto de las ciudades de USA, pero no para la “upper tail”, segmento en el que, en cambio, sería de aplicación la distribución log/log.

¹⁴ La falta de demostración concluyente tal vez se deba a la estructura misma de la información empleada: las áreas metro y micropolitanas. Faltaría en esa información la población de los sistemas urbanos menores de 10.000 habitantes, los cuales son muy numerosos en USA. Cabe recordar que, referida a *places* (>25.000 places en todo el país), Eeckhout (2004) demostró la validez de la distribución log-normal.

Los resultados parecen ser congruentes con la idea asentada de que las distribuciones de Pareto y log-normal exhiben diferencias cualitativas en sus respectivos upper tails. La densidad log-normal tiende a cero, en la cola alta, más rápidamente que cualquier densidad paretiana, lo que debería permitir distinguir las claramente.

Ello, no obstante, la hipótesis de normalidad del logaritmo de la población permanece con fuerza. El modelo 6 W, confirma la hipótesis nula relativa a la identidad de las distribuciones normales acumuladas (cdf) y empíricas acumuladas (ver Figura 8)¹⁵.

Figura 8. Distribuciones normal y empírica acumuladas



Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, el test 3 W sugiere que, cuando el rango creciente se ajusta mediante un modelo de regresión con la cdf como variable dependiente tan sólo para el “upper tail”, parece confirmarse la identidad de ambas distribuciones. La cola alta de la distribución empírica podría denotar, por tanto, una distribución basada en la normalidad. Sin embargo, dicho resultado no es congruente con el obtenido para el conjunto de la muestra.

3. La distribución de las ciudades en España

En segundo lugar se replica el estudio para los municipios y sistemas urbanos españoles. Los datos utilizados serán la población (referida a 2005) de los 8.109 municipios, así como la relativa (a 2009) de los 1.316 sistemas urbanos delimitados de acuerdo a la metodología que se expone más adelante. La razón de utilizar los sistemas urbanos, complementando a los municipios, consiste en contrastar si las estructuras reales (los *sistemas urbanos*) mejoran o no

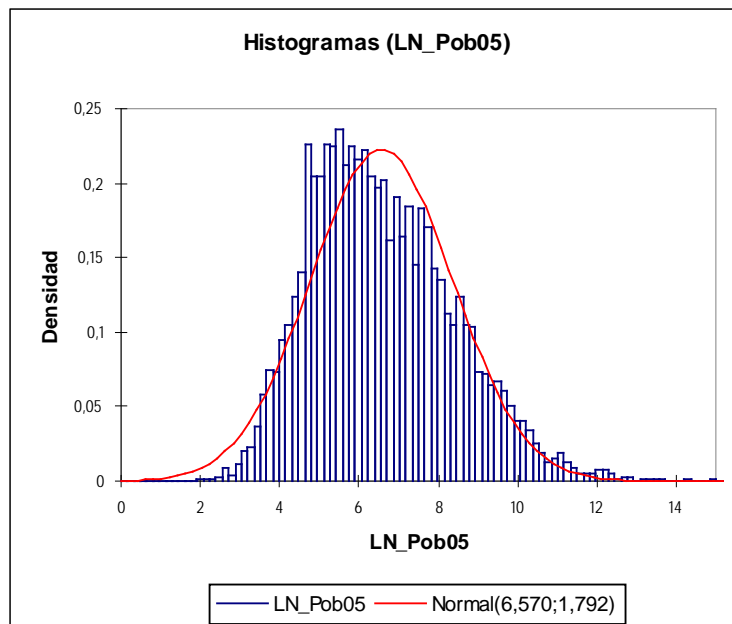
¹⁵ El modelo de regresión de ambas variables devuelve una $R^2 = 979$.

su rendimiento en relación a las estructuras de carácter administrativo, históricamente heredadas (los *municipios*).

3.1 Los municipios españoles

El conjunto de pruebas clásicas relativas a comprobar la normalidad del logaritmo de la población vuelven a dar, como en el caso de las áreas metro y micropolitanas americanas, un resultado negativo, no permitiendo confirmar, prima facie, la hipótesis log-normal que parcialmente sugiere el histograma de la frecuencia de la población (ver Figura 9)¹⁶.

Figura 9. Histograma del LN de la población de los municipios españoles

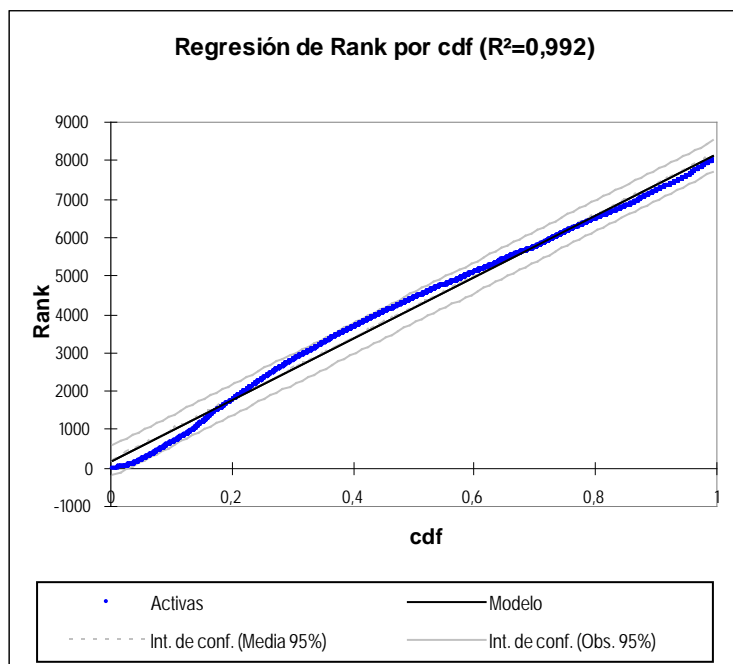


Fuente: Elaboración propia.

A pesar del elevado poder explicativo ($R^2 = 0,992$) del modelo de regresión, con el rango creciente como variable dependiente y la cdf como variable independiente, el test KS no permite verificar la identidad entre la distribución de dicho rango y el valor predicho por el modelo de regresión resultante de la normal acumulada, tal como se deduce de la siguiente Tabla n. 3 (en test 1 KS). Identidad que, en cambio, si puede ser hipotizada en virtud del test W, de carácter ordinal (test 2 W de la Tabla 3).

Figura 10. Modelo basado en la cdf (totalidad de la muestra)

¹⁶ De nuevo, el histograma muestra una relativa falta de simetría en la distribución del logaritmo de la población. Los municipios con un logaritmo de su población situado entre 5 y 6 son significativamente más abundantes que los situados entre 6 y 7, haciendo dudar del carácter normal de la distribución, a pesar de su apariencia formal.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Tests de contraste para la población de los municipios (2005)

Hipótesis	Log-Normal	Log-Normal	Log-Log	Log-Log	Log-Normal	Log-Normal
Test	1 KS	2 W	3 KS	4 W	5 W	6 W
Contraste	O_I pred. cdf	O_I pred. cdf	O_pred. pareto	O_pred. pareto	O_I_N / cdf	O_pred. Pareto
Tamaño	8.109	8.109	58	58	8.109	58
p-value	< 0,0001	0,355	0,919	0,264	< 0,0001	0,927
alfa	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Resultado	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Negativo	Positivo

Fuente: Elaboración propia.

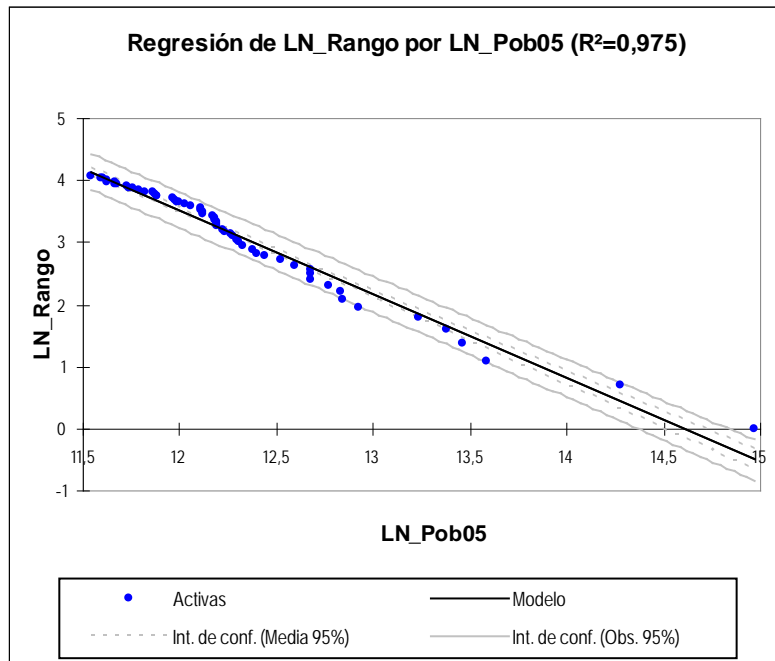
De nuevo, para el “upper tail” (en este caso los municipios con más de 100.000 habitantes), tanto el test KS (test 3 KS de la Tabla 3), como el de Wilcoxon (test 4 W de la Tabla 3) confirman la adecuación de la función log/log (que alcanza una bondad de ajuste del 0,975; ver Figura 11). La Ley de Pareto queda, así, confirmada para los municipios más grandes españoles. No así la “ley” de Zipf, debido a que el coeficiente de regresión se muestra alejado de la hipótesis -1 (- 1,355)¹⁷.

En cambio, y como ya sucedía en el caso de las áreas micro y metropolitanas en USA, el modelo log/log fracasa cuando intenta explicar la distribución del conjunto de la muestra. La R², del 0,900 se aleja considerablemente del ajuste mostrado por el modelo log-normal,

¹⁷ Llama profundamente la atención la diferencia observada entre el coeficiente en los modelos de las áreas urbanas en USA y los municipios españoles. La mayor pendiente del modelo español sugiere una mayor macrocefalia en relación a la distribución de la población en USA.

confirmándose, de esta manera, que la Ley de Pareto deja rápidamente de ser eficiente para la explicación de la distribución del conjunto de la estructura urbana, a diferencia de lo que sucede con la cdf resultante de la hipótesis de normalidad

Figura 11. Modelo log-log de los municipios españoles (100.000 habitantes)



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, cabe indicar que si se replica un modelo de regresión del orden decreciente para los 58 municipios del “upper tail” con la cdf, se obtiene una bondad de ajuste relativamente elevada ($R^2 = 0,952$), si bien inferior a la alcanzada por la distribución log/log. El hecho, no obstante, que tanto el test de KS como el de W (6 W en la Tabla 3) sean positivos, sugiere un comportamiento no deficiente de la cdf si se ajusta un modelo específico para el “upper tail”.

El ejercicio para los municipios españoles, por tanto, sugiere la validez de la hipótesis de normalidad del logaritmo de la población. Sin embargo, el “upper tail” sigue mostrando una estructura que tiende a escaparse de la distribución log-normal, sugiriendo la existencia de elementos de singularidad en los municipios más grandes. Singularidad que sólo la hipótesis log/log de Pareto parece capaz de explicar.

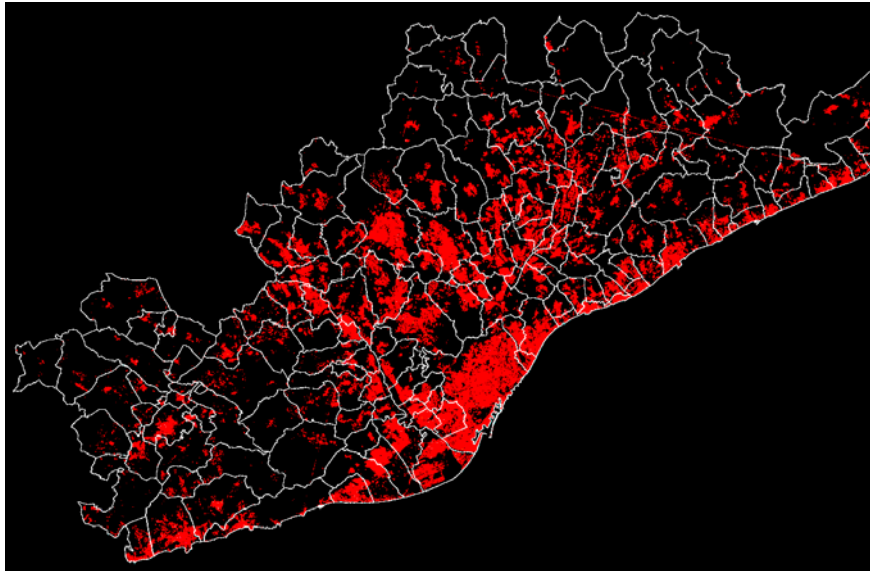
3.2 Los sistemas urbanos

A fin de perfilar el análisis anterior con ciudades *reales*, y no con simples unidades administrativas (los municipios), se ha realizado una tarea encaminada a delimitar *sistemas urbanos*, más allá de los límites fijados administrativamente.

Por poner un solo ejemplo, decir que la “Barcelona” real corresponde al municipio de Barcelona (100 km² y 1.593.080 habitantes, en 2005) casi es tan absurdo como decir que “Londres”

corresponde a la City of London, única entidad *local* británica que lleva el nombre de la capital del Reino Unido. La figura 12 muestra como la realidad urbana de Barcelona desborda, con mucho, su límite municipal (grafiado en blanco).

Figura 12. Suelo artificializado en la Región Metropolitana de Barcelona



Fuente: Centro de Política de Suelo y Valoraciones (CPSV) de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC).

La dificultad, sin embargo, consiste en obtener una metodología fiable de delimitación de las ciudades reales. No es objetivo de este trabajo profundizar en la discusión de formas alternativas de concreción de estas ciudades reales. Simplemente afirmar que no se propondrá que esas ciudades se identifiquen con las áreas metropolitanas. Las áreas metropolitanas se caracterizan por incorporar distintas realidades urbanas, físicamente continuas o no, caracterizadas por mantener entre ellas fuertes lazos de interacción. Sin embargo, las metrópolis van más allá de la “ciudad”. Son auténticas “ciudades de ciudades”. Por ese motivo no se cree adecuada su utilización, del mismo modo que no lo son tampoco los municipios o entidades administrativas menores¹⁸.

Para este trabajo se ha adoptado como metodología de delimitación la utilizada por Roca *et al.* (2009), relativa a la delimitación de *protosistemas* y *sistemas urbanos consolidados*, basada en la aplicación de la técnica del *valor de interacción* (Roca y Moix, 2005). Dicha metodología puede ser resumida por medio de los siguientes elementos fundamentales:

- Dada la matriz de flujos residencia/trabajo de base municipal (8.019 x 8.109) se calcula la matriz *i/j* de “valores de interacción” por medio de la ecuación:

¹⁸ Como por ejemplo los “places”, utilizados en la reciente literatura dedicada a la discusión de las leyes de Pareto y Gibrat.

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

Donde VI_{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 ambos municipios.

- Posteriormente se agregan los municipios en *protosistemas* en virtud de su máximo valor de interacción, de forma que estos protosistemas se cierran tan solo en el caso de que todos los municipios tengan su máximo valor de interacción con otro municipio de protosistema y que el conjunto sea físicamente continuo.

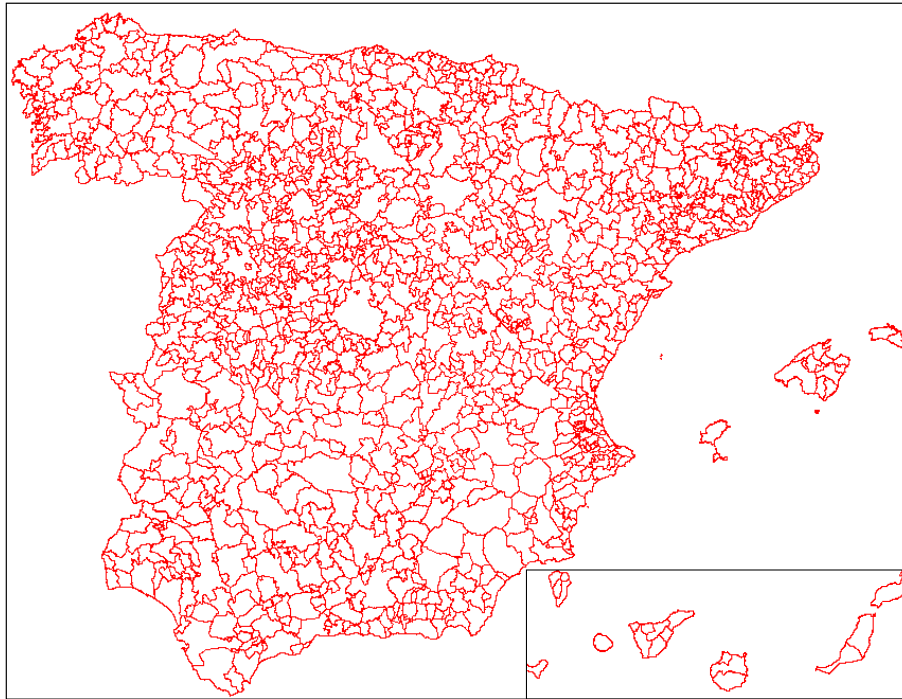
- Finalmente los protosistemas se consolidan en *sistemas urbanos* en caso de que la *autocontención*¹⁹ sea igual o supere el 50%, puesto que los autores entienden que sólo puede llamarse “ciudad” aquellos sistemas urbanos capaces de retener al menos un 50% de la población ocupada residente²⁰.

Lo anterior permite la identificación de 1.531 *protosistemas*, de los cuales 218 no cumplen la condición de autocontención mínima (fijada en un 50%), lo que conduce a una delimitación definitiva de 1.316 protosistemas consolidados, que a los efectos del presente trabajo, serán considerados como *sistemas urbanos* reales. La figura 13 presenta los resultados de dicha delimitación.

Figura 12. **Sistemas urbanos delimitados por medio del valor de interacción**

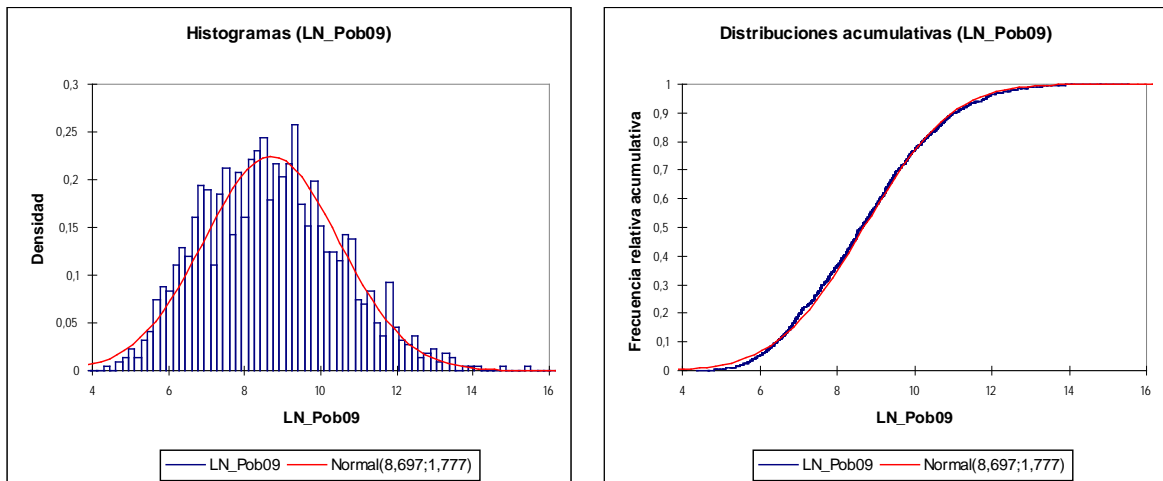
¹⁹ Se entiende por autocontención el porcentaje de población ocupada residente que trabaja en el propio municipio (o protosistema).

²⁰ Este 50% es la única condición impuesta a los sistemas urbanos. Por tanto no se impone ninguna condición *administrativa* del tipo de umbral mínimo de población o LTL.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 14. Histograma

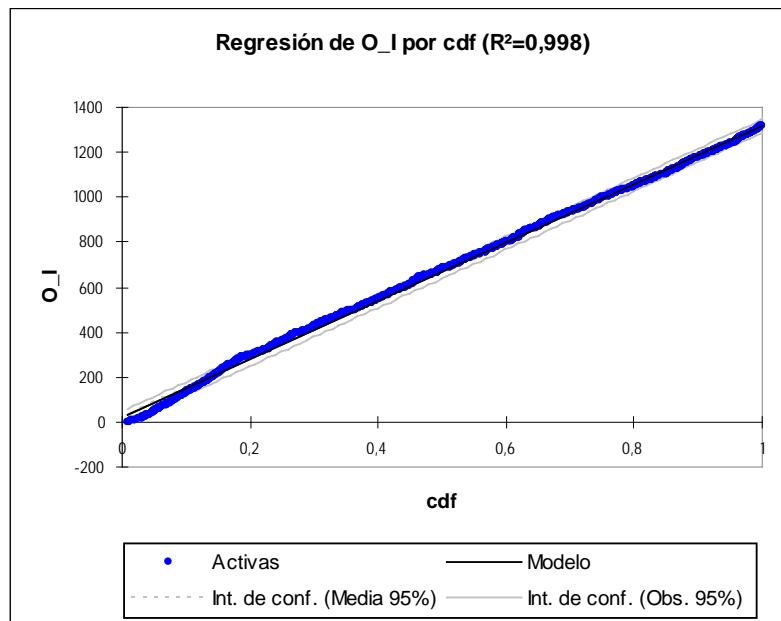


Fuente: Elaboración propia.

A pesar de que el histograma (Figura 14) muestra una distribución que se acerca poderosamente a la normalidad, de nuevo el test estándar, de carácter paramétrico, no permite confirmar que la distribución del logaritmo de la población responda plenamente a una estructura normal, lo que obliga a buscar mecanismos alternativos de validación.

El ajuste de un modelo de regresión con el orden creciente (O_I) como variable dependiente y la cdf del logaritmo de la población, como variable independiente, permite alcanzar una R² realmente espectacular: 0,9984; lo que permite hipotizar que efectivamente la población guarda una estructura log-normal (ver Figura 15).

Figura 15. Modelo de Regresión con la cdf como variable independiente



Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, y tal como se deduce de la siguiente Tabla 4, el test de W (1 W) no permite, a diferencia de lo que sucedía en el caso de los municipios españoles y las áreas micro y metropolitanas en USA, asegurar la identidad de ambas distribuciones (el orden creciente y el orden predicho resultante del modelo de regresión con la densidad normal acumulada calculada a partir del logaritmo de la población como variable explicativa). Dicho resultado negativo podría entenderse como una constatación de la no-normalidad del logaritmo de la población. Sin embargo, y en virtud de lo que se indica a continuación no puede concluirse tal cosa, sino, al contrario, aparecen serias dudas de la validez del test de W para la corroboración de la identidad de distribuciones, dada su naturaleza intrínsecamente ordinal.

Tabla 4. Tests de contraste para la población de los sistemas urbanos españoles (2009)

Hipótesis	Log-Normal	Log-Normal	Log-Normal	Log-Normal	Log-Log	Log-Log
Test	1 W	2 KS	3 KS	4 MW	5 KS	6 KS
Contraste	O _I pred. cdf	Distribución Normal	O _I pred. cdf	O _I pred. cdf	Orden pred. Pareto	O _I N pred. cdf

Tamaño	1.316	1.316	1.316	1.316	88	88
p-value	0,005	0,130	0,478	0,999	0,987	0,986
alfa	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Resultado	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo

Fuente: Elaboración propia.

La aplicación del test de KS, de carácter no paramétrico, para contrastar el ajuste a una distribución normal del logaritmo de la población (2 KS en la Tabla 4), obtiene un resultado positivo ($p\text{-value}=0,1304$), de forma similar al test KS dirigido a comprobar la identidad entre la distribución correspondiente al orden creciente (O_I) y la resultante del modelo de regresión con la cdf como variable dependiente (3 KS en la Tabla 4). Como el p-valor calculado (0,478) es mayor que el nivel de significación $\alpha=0,05$; se puede aceptar la hipótesis nula de identidad entre ambas distribuciones. La contradicción de resultados entre los tests W y KS pone en duda la metodología basada en la comparación simplemente ordinal. En el mismo sentido, la prueba de Mann-Whitney / prueba bilateral (ver modelo 4 MW de la Tabla 4) otorga resultados positivos a la comparación entre el orden creciente y la resultante del modelo de regresión con la cdf.

El conjunto de pruebas confirma, por tanto, la hipótesis log-normal de la población de los sistemas urbanos, con una contundencia antes no alcanzada para los municipios o las áreas metro y metropolitanas. *La estructura de la población de las ciudades reales parece ajustarse a una distribución log-normal.*

El contraste de la ley de Pareto se concentra en los 88 sistemas urbanos de más de 100.000 habitantes. El logaritmo de la población obtiene una $R^2 = 0,991$; con el logaritmo del rango (orden decreciente), confirmando una vez más el excelente comportamiento del modelo log/log en el "upper tail". Por su parte, el test no paramétrico KS (5 KS en la Tabla 4), como también el de W, permite confirmar la identidad entre la distribución del logaritmo del rango y el valor predicho del mismo resultante del modelo de regresión con el logaritmo de la población como variable independiente.

Sin embargo, el modelo del "upper tail", con la cdf como variable independiente y el orden inverso normalizado (O_I_N), otorga la sorpresa de alcanzar un nivel de explicación aún más elevado ($R^2 = 0,993$), así como la confirmación, por los tests de KS (6 KS de la Tabla 4) y W, de correspondencia entre ambas distribuciones.

4. Conclusiones

La realización de los estudios precedentes permiten, para las áreas micro y metropolitanas en USA, obtener las siguientes conclusiones:

- La estructura de la población del conjunto de las áreas urbanas en USA de más de 10.000 habitantes parece corresponder a una distribución log-normal, tal como ha propuesto Eeckhout (2004) para el conjunto de las ciudades en USA.

- Dicha conclusión no parece poder elevarse al “upper tail”, segmento en el que, en cambio, sería de aplicación la distribución log/log, tal como ha sugerido Malevergne, *et al.* (2009).

Idénticos resultados parecen observarse del estudio de la estructura de la población de los municipios españoles. De nuevo para el conjunto de la muestra el modelo log-normal viene a ser confirmado. Sin embargo, en el “upper tail” continúa dando muestras de debilidad, mostrando una clara supremacía el modelo log/log.

Sin embargo, las conclusiones anteriores no pueden ser dadas como definitivas, dada la naturaleza de los datos estudiados en las dos series anteriores. En ninguno de ellos se han considerado las *ciudades reales*. En el caso de USA, puesto que si bien las áreas metro y micropolitanas podrían obedecer a ciudades reales, no han podido ser considerados los sistemas urbanos de menos de 10.000 habitantes, muy abundantes fuera de los entornos metropolitanos. En el caso de España, puesto que los municipios responden a entidades administrativas, no representan un reflejo fiel de la realidad de la estructura urbana del país.

De forma alternativa se ha contrastado la metodología desarrollada por Roca *et al.* (2009), relativa a la delimitación de sistemas urbanos por medio del sistema del valor de interacción. Y el resultado parece confirmar la hipótesis de que *cuando nos encontramos con ciudades reales, la distribución de la población responde de forma más acentuada a una estructura log-normal*. La mejora de prácticamente todos los indicadores empleados (ver Tabla 5) sugiere, de forma contundente, la necesidad de mejorar los trabajos empíricos utilizando no sólo la totalidad del universo urbano, sino, además, la consideración de sistemas urbanos reales.

Tabla 5. Indicadores para delimitación de sistemas urbanos

Muestra	R ² OIN-cdf ¹	KS Norm ²	KS OIN-cdf ³	KS OI-pred_cdf ⁴	MW OIN-cdf ⁵	MW OI-pred_cdf ⁶
Municipios	0,992	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,00244041	0,99116671
Sistemas Urbanos	0,998	0,13038	0,47755912	0,47774589	0,00462283	0,99872660

Donde: ¹ Modelo de regresión entre el orden inverso normalizado (OIN) y la densidad normal acumulada (cdf) del logaritmo de la población. ² Contraste de normalidad de Kolmogorv-Smirnov. ³ Comparación de identidad de las distribuciones del OIN y la cdf por medio del test de Kolmogorov-Smirnov (KS). ⁴ Comparación por medio del test KS de la identidad de las distribuciones del rango creciente (OI) y la predicción del mismo a partir de un modelo de regresión con la cdf como variable independiente. ⁵ Comprobación, por el test Mann-Whitney (MW), de la identidad entre el OIN y la cdf. ⁶ Comprobación por el test MW de la identidad entre el rango creciente y la predicción del mismo a partir de un modelo de regresión con la cdf como variable independiente.

Fuente: Elaboración propia.

Bibliografía

ALPEROVICH, G. *An Explanatory Model of the City-Size Distribution: Evidence from Cross country Data*. En: *Urban Studies*, 30: 1591–1601.

BERRY, B.J.L. *City Size Distributions and Economic Development*. En: *Economic Development and Cultural Change*, 9: 593–587.

BLACK, D. y Henderson, J.V. *Urban Evolution in the USA*. En: Journal of Economic Geography, 3: 343-372.

BERRY, B.J.L. y HORTON, F.E. *Geographic perspectives on urban systems*. New Jersey, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, 1970.

CARROLL, G. *National city size distributions: what do we know after 67 years of research?* En: Progress in Human Geography, 6: 1-43.

CHESHIRE, P. *Trends in Sizes and Structure of Urban Areas*. En: CHESHIRE, P. y MILLS, E. S. (eds) Handbook of Regional and Urban Economics. Amsterdam, Elsevier Science, B. V., 1999.

DOBKINS, L.H. y IOANNIDES, Y.M. *Dynamic Evolution of the US City Size Distribution*. En: THISSE, J.F. y HURIOT, J.M. (eds.) The Economics of Cities. Cambridge, Cambridge University Press, 2000.

ECKHOUT, J. *Gibrat's law for (all) cities*. En: American Economic Review, 94: 1429-1451.

ECKHOUT, J. *Gibrat's law for (all) cities: Reply*. En: American Economic Review, 99(4): 1676-1683.

KRUGMAN, P. *El tamaño de las ciudades*. En: FUJITA, M.; KRUGMAN, P. y VENABLES, A.J. (eds.) The Spatial Economy. Massachusetts Institute of Technology, 1999.

GABAIX, X. *Zipf's Law for Cities: An Explanation*. En: Quarterly Journal of Economics, CXIV: 739-767.

GIBRAT, R. *Les inégalités économiques*. París, Librairie du Recueil Sirey, 1931.

GONZÁLEZ-VAL, R.; LANASPA, L. y SANZ, F. *Nueva Evidencia sobre la Ley de Gibrat en Ciudades*. Zaragoza, Universidad de Zaragoza, 2008.

KRUGMAN, P.R. *The Self-Organizing Economy*. Oxford, Blackwell Publishers, 1996.

LASUÉN, J. R.; LORCA, A. y ORIA, J. *City-Size Distributions and Economic Growth*. En: Ekistics, 24: 221-226.

LANASPA, L.; PERDIGUERO, A.M. y SANZ, F. *La distribución Del tamaño de las ciudades en España*. En: Revista de Economía Aplicada, XII(34): 5-16.

LEVY, M. *Gibrat's law for (All) cities, A Comment*. En: American Economic Review, en publicación.

MALEVERGNE, Y.; PISARENKO, V. y SORNETTE, D. *Gibrat's Law for Cities: Uniformly Most Powerful Unbiased Test of the Pareto Against the Lognormal*. En: Swiss Finance Institute

Research Paper, 9(40) [en línea] [fecha de consulta: Septiembre 2009]. Disponible en: <http://ssrn.com/abstract=1479481>.

PARETO, V. *Cours d'Economie Politique*. Geneva, Droz, 1896.

PARR, J. *A Note on the Size Distribution of Cities over Time*. En: Journal of Urban Economics, 18: 199-212.

ROCA, J.; MARMOLEJO, C. y MOIX, M. *Urban Structure and Polycentrism: Towards a Redefinition of the Sub-centre Concept*. En: *Urban Studies*, 46: 2841–2868.

ROCA, J. y MOIX, M. *The interaction value: its scope and limits as an instrument for delimiting urban systems*. En: Regional Studies, 39: 357-373.

ROSEN, K.T. y RESNICK, M. *The size distribution of cities: an examination of the Pareto law and primacy*. En: *Journal of Urban Economics*, 8: 165-186.

SUÁREZ-VILLA, L. *Metropolitan Evolution, Sectoral Economic Change, and the City Size Distribution*. En: Urban Studies, 25: 1-20.

ZIPF, G. *Human Behavior and the Principle of Least Effort*. New York, Addison-Wesley, 1949.

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.

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

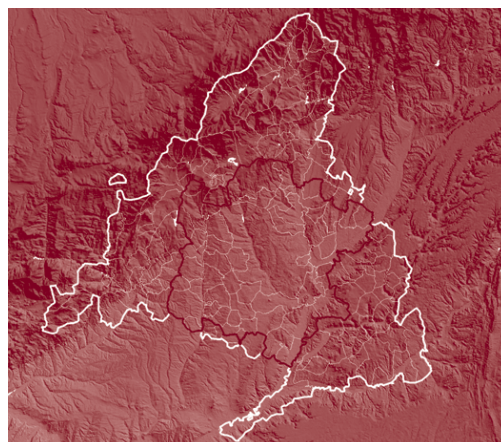


FIG. 1/ Madrid (CCAA-ámbito Ministerio de Vivienda)

Fuente: Elaboración propia

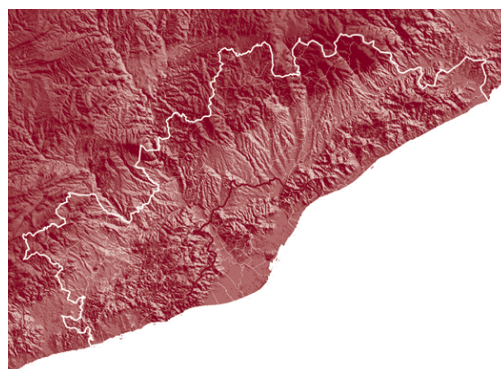


FIG. 2/ Barcelona (RMB-CMB)

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*¹ (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.

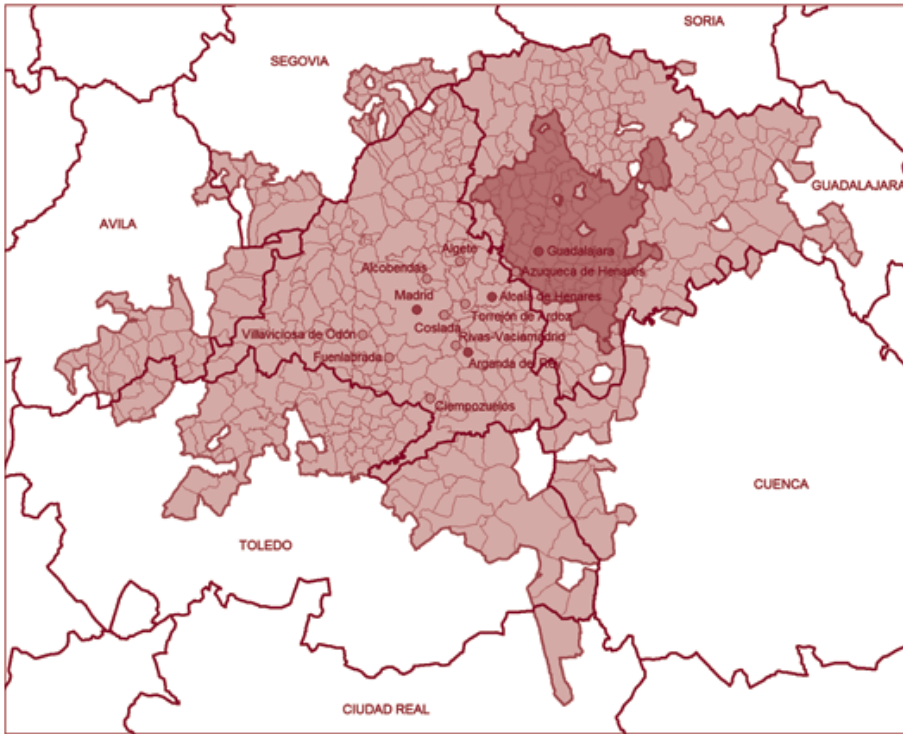


FIG. 3/ CMA de Madrid

Fuente: CPSV

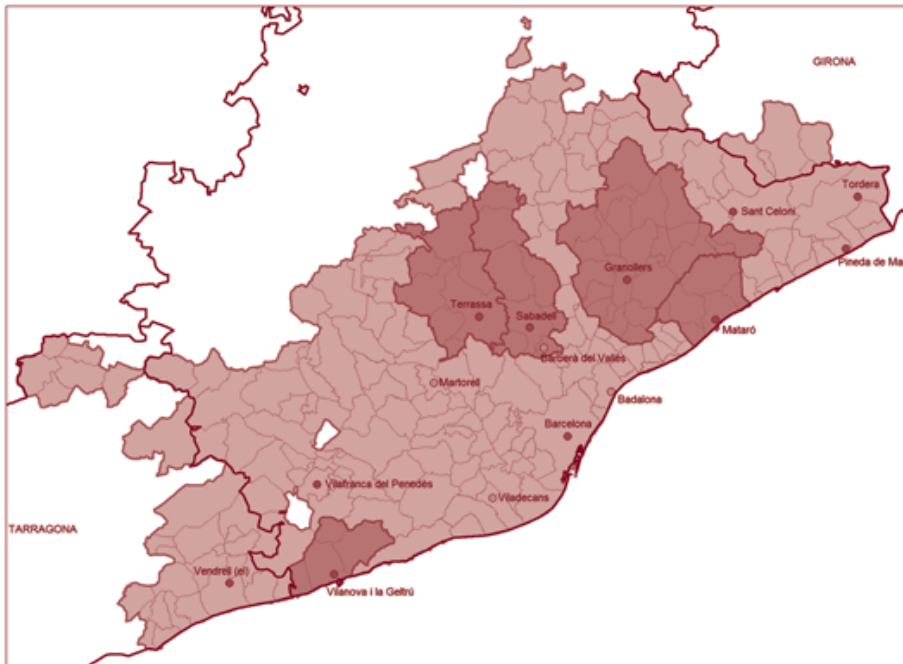


FIG. 4/ CMA de Barcelona

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 aceptado², 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:

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

² 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*³ 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 residente⁴. 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 km², y 5.439.588 habitantes (2001), muy por debajo, especial-



FIG. 6/ Sistema metropolitano de Madrid

Fuente: Elaboración propia.

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

⁴ 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 ²)	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 km², 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 Autonomía⁵. Por su parte el área madrileña no llega a ago-

tar la Comunidad de Madrid, extendiéndose, eso sí, hasta Guadalajara⁶, 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:

⁵ 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.

⁶ 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)

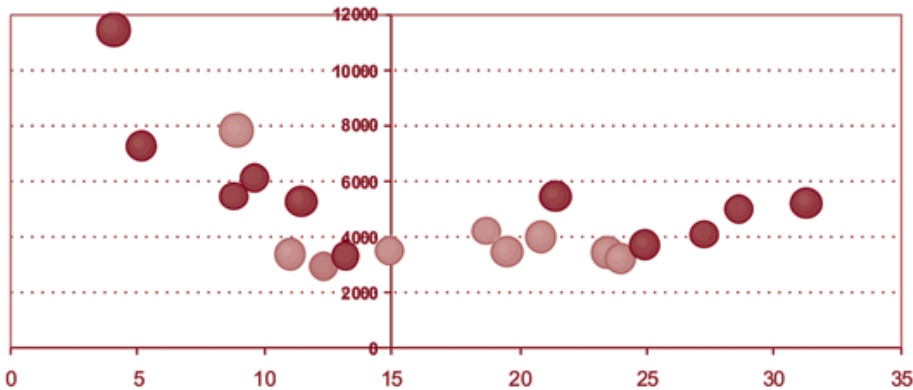


FIG. 10/ Densidad vs. distancia al CBD de los candidatos a subcentro según el criterio de los umbrales de densidad y empleo

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 km²) respecto al de Barcelona (100 km²). 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)

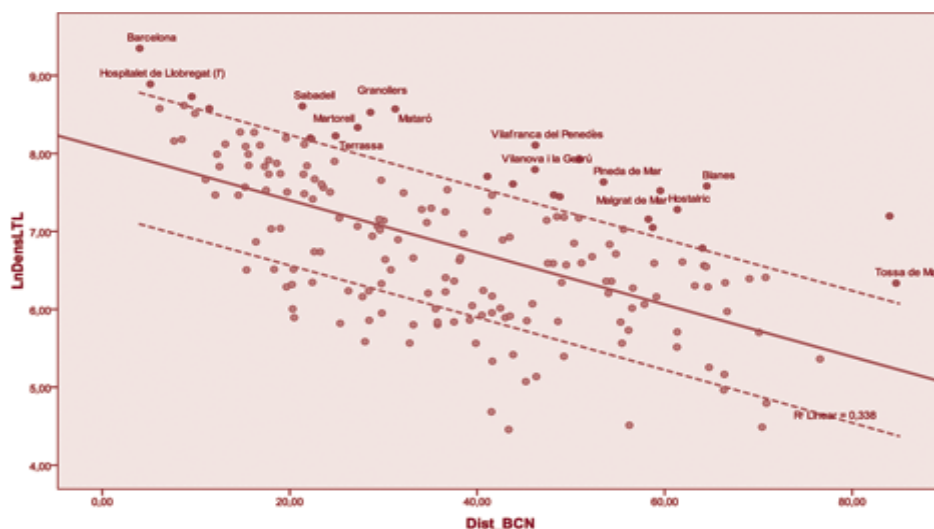


Fig. 12/ **Barcelona, candidatos a subcentro según el modelo estándar**

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

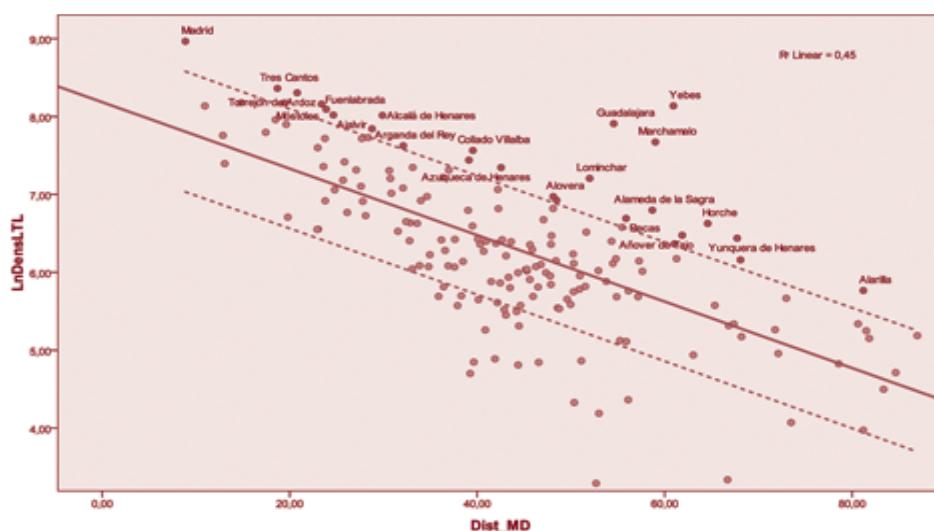


Fig. 13/ **Madrid, candidatos a subcentro según el modelo estándar**

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

Una vez excluidos los municipios con una masa crítica pequeña (< 2.000 LTL)⁷, 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-

⁷ 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*⁸. 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	Barcelona	1.505,325	78	0,8128	0,8128
	Badalona	208.994	3	0,3236	0,4254
	Sabadell	185.170	6	0,0702	0,6082
	Terrassa	174.756	7	0,0652	0,6985
	Mataró	107.191	5	0,0654	0,7081
	Viladecans	57.132	2	0,2126	0,3311
	Granollers	53.681	5	0,0733	0,5458
	Vilanova	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	Madrid	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
	Guadalajara	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)

⁸ 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.

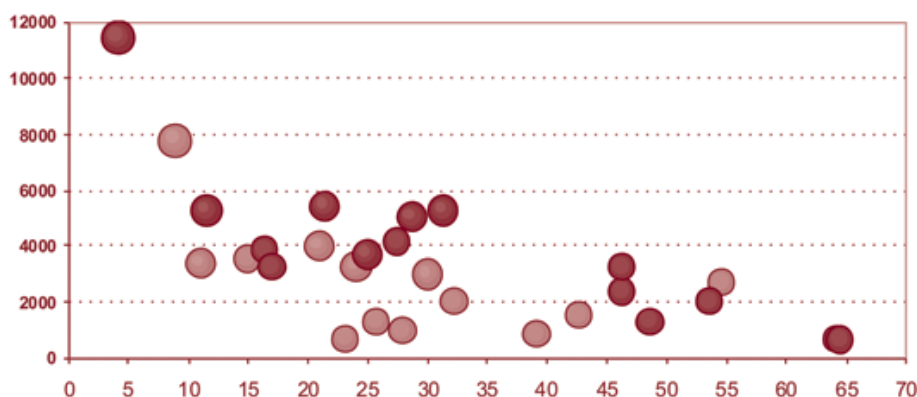


FIG. 15/ Densidad vs. distancia al CBD de los candidatos a subcentro según el criterio del Censo USA (centros metro y micropolitanos)

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 km²) no permite una comparación fidedigna con el de Barcelona (100 km²)⁹. 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 catalana¹⁰. 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 km² 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 km² 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 km¹¹. En ese ámbito, la capital de España agrupa 1.698.031 lugares de trabajo, un 51,73% más que la ciudad condal.

⁹ 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.

¹⁰ 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 km²) muy por debajo del municipio de Madrid.

¹¹ 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 madrileño¹² 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 ²)	Barcelona LTL	Barcelona (m ²)	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)

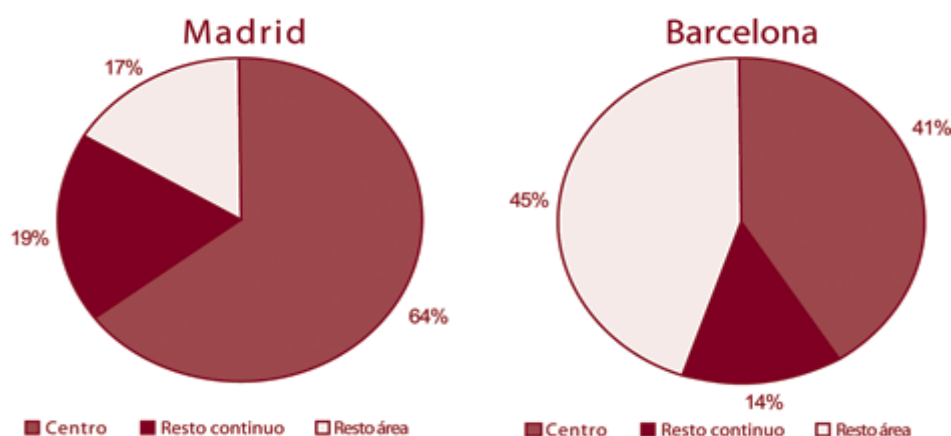


FIG. 17/ Centro y Periferia en las Áreas Metropolitanas de Barcelona y Madrid

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

¹² 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 Torreloredones. 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 km² conurbados, frente a una superficie artificializada del municipio de 15,10 km²).

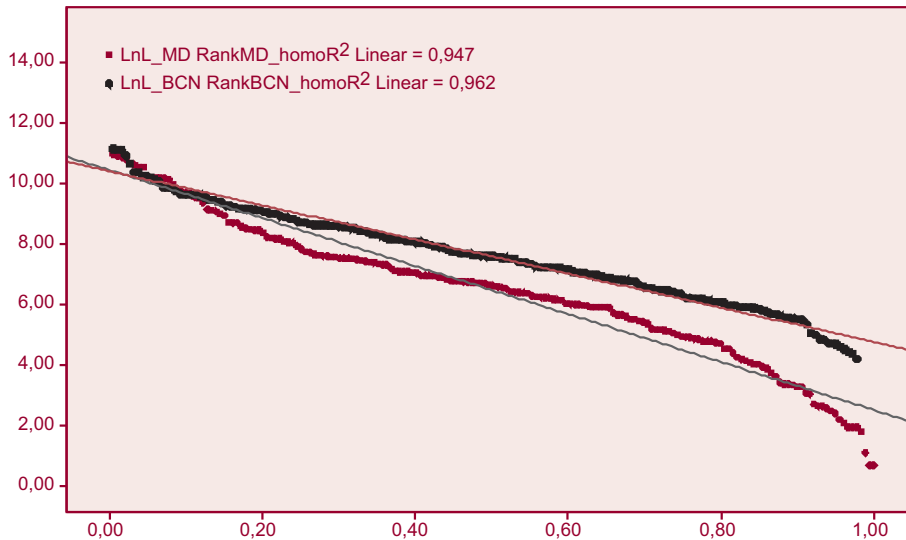


FIG. 18/ Lugares de trabajo para las áreas de Madrid y Barcelona

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 protosistemas¹³, 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 protosistemas¹⁴, 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.

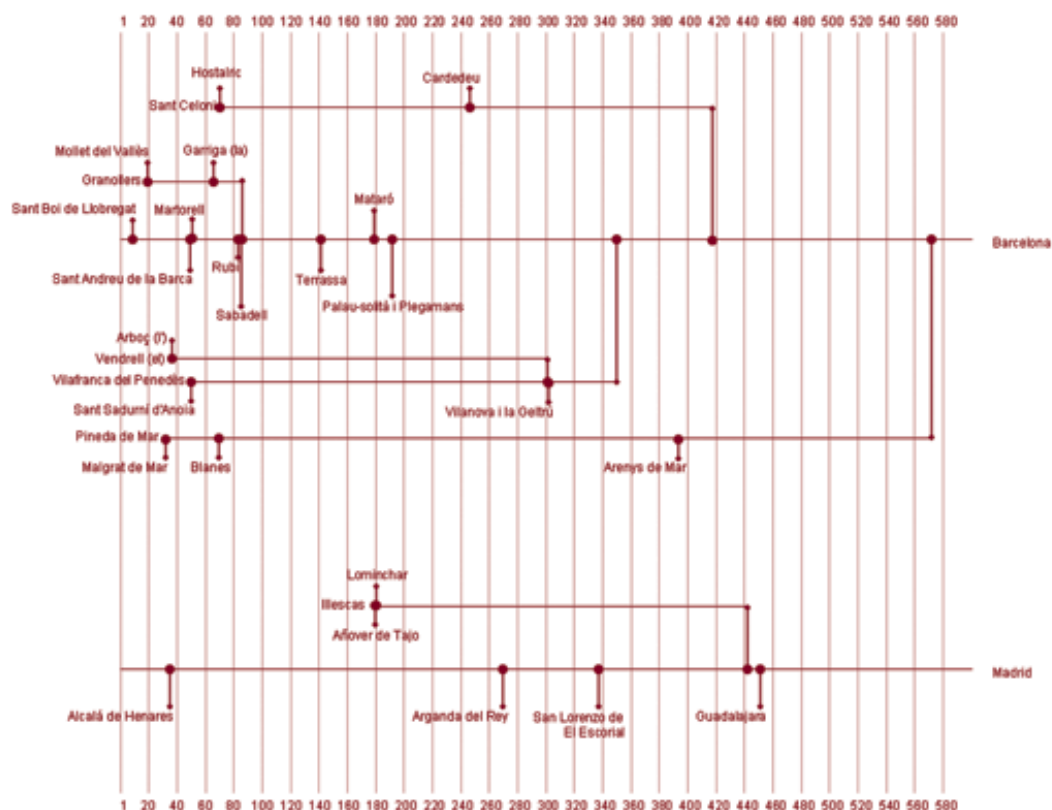


Fig. 19/ Árbol jerárquico de los sistemas urbanos integrantes de las áreas metropolitanas de Madrid y Barcelona

Fuente: Elaboración propia

¹³ 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).

¹⁴ 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	Madrid	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	Barcelona	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 CO₂, 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 m² 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 paradójico¹⁵ 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 m² de suelo por habitante (186,42 por LTL), en el de Barcelona dicho consumo baja a 53,57 m² (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 m² por habitante (902,25 por LTL), por 253,69 m² Barcelona (632,16 por LTL).

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

	Madrid		Barcelona	
	m ² /hab	m ² /LTL	m ² /hab	m ² /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
Área Metropolitana	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 pequeñísimas 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.

¹⁵ 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.

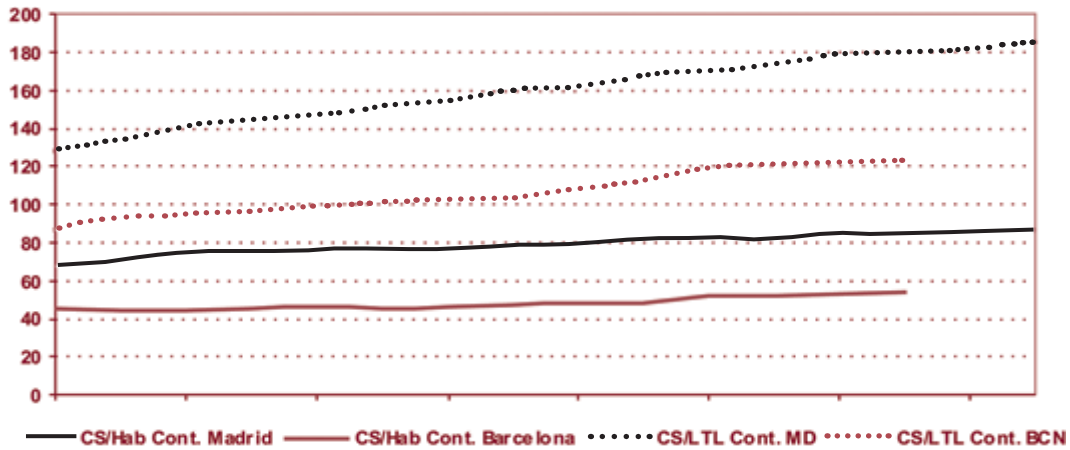


Fig. 22/ Consumo de suelo por habitante en los continuos urbanos de Madrid y Barcelona

Fuente: Elaboración propia y Padrón (INE, 2001)

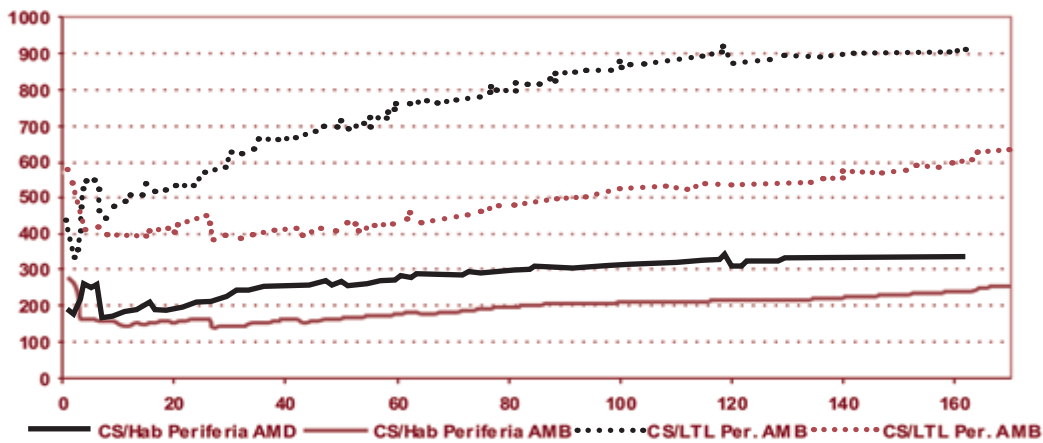


Fig. 23/ Consumo de suelo por habitante en la periferia de Madrid y Barcelona

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 km² 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/km², 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.
- HEIKKILÄ, 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.

**Towards a New Methodology to evaluate the Urban Structure of the Metropolitan Systems
Chicago and Barcelona Metropolitan Areas as Examples**

B. Arellano, M. Moix & J. Roca¹

The specialized researches have proposed various approaches to the delimitation of urban and metropolitan systems. Administrative aspects (administrative units historically inherited), morphological (urban continuum), some linked to the economies of agglomeration (population and employment density, urban economic activities, ...) or functional interaction (home-work commuting) have been used for the definition of a metropolitan area. At the same time it has developed in recent years, an extensive research that has come to reveal the progressive trend of the metropolitan areas to the polycentrism. There is no doubt that the monocentric city paradigm, structured around a single CBD, is broken. The contemporary metropolises have seen the emergence of the phenomenon of the sub centers. This changes in the internal structure of many cities has extended the hypothesis that the polycentric city is more efficient than conventional monocentric city, from an environmental perspective (ETE, 1999), representing usually shorter home-work trips, thus contributing to more sustainable mobility. However, few efforts have been directed to address the three aspects together: a) the metropolitan boundaries, b) analysis of its internal structure, and c) contrasting the hypothesis of the environmental efficiency of polycentric systems.

This paper addresses the challenge of defining an integrated way of both metropolitan areas and their internal composition, structured or not around different sub centers. The methodology developed of the Interaction Value simultaneously allows delimiting these two levels of urban structure: the metropolitan system as a whole and the subsystems articulated around the emerging sub centers, by measuring the functional relationships between housing and workplaces. At the same time, the Interaction Value assesses the degree of polycentrism beyond the simple identification of sub centers developed in the literature. And, so, support the hypothesis that the polycentric city structure is more efficient, from an environmental perspective, than the monocentric.

In this way, and taking the cases of Chicago and Barcelona metropolitan areas as examples of different types of urban structure, the efficiency of their metropolitan systems will be evaluated from the dual perspective of land consumption and sustainable mobility.

1.- Introduction

The definition of the historic agglomerations called metropolis has concentrated, since the middle of last century especially, a significant attention in the specialized research (View Roca, 2003).

In just a century there has been a radical transformation of the city. The walled city, close to the outside, an "island" for economic activities and population density within the rural land, has led to the spread of urban life and urban networks in almost all the territory.

¹ Polytechnic University of Catalonia

There was, as said Margalef (1999), "a topological inversion of the landscape". The "urban" has gone from being an island in the ocean of rural land vastness, to represent the totality of the space in which are inserted natural and rural "systems".

The transgression of the administrative city limits because of the urbanization process has overcoming the old concept of "city" and replaced by others that have tried to understand the urban phenomenon. Micro and metropolitan areas, urban agglomerations, conurbations, daily urban systems, local labor markets, functional urban regions, mega-city regions, are someone of the concepts than have become used to explain and replace the outdated knowledge of "city".

Since 1910 when the metropolitan districts were regulated by the USA Census Bureau, there have been efforts to define and to delimitate that what is instead our old and beloved cities. To define the metropolises, the idea of urban morphology and specially the urban continuum was followed by other criteria such as demographics and economics. There is no doubt that the definition focused on the functional systems, especially the relationship workplace/home, has been the most widespread and used over the past decades.

The further development of the urbanization processes on a global scale, particularly the urban sprawl beginning in the 70's of the past century, has questioned the actuality of these urban structures, the metropolises, which had changed the concept of city.

The researches in geography have tried to understand these urban processes, beyond the simple metropolitan fact. Thus it has developed many ways to define and describe the urban phenomenon at the end of last century: the counter-urbanization (Berry 1976), the des-urbanization (Berg 1981), and the rur-urbanization (), lately the diffuse city (Indovina & alt., 1990), the peri-urbanization (Dezert & alt., 1991), the edge cities (Garreau, 1991) or the meta-polis (Asher, 1995) among others. All, concepts, around a central idea: the fall of Christaller's Theory (Portas & alt., 1998) based on the attraction of the central place.

These researches have resulted in many authors (Harvey, 1996, Nello 1998) who are complaint if in the age of the urban sprawl almost throughout the entire territory is possible to set limits to the endless city of these urbanization process. The sprawl makes confuse the boundaries and the differences between town and country, center and suburb, metropolitan and non metropolitan land. In this way, it seems hard or almost impossible to redefine the metropolis or the cities.

Meanwhile, the researches in economics have different approaches about leaving aside o replace the concept of the city or its modern equal, the metropolis. Although the studies has shown that the contemporary urban development has progressively moved away urban structures of the metropolitan areas from the standard model of a location economy and found, in regional scale, a more complex structures Christaller's model, it is true that there is no discussion on the concept in which these models (regional or interurban) are continents of the economies of agglomeration, in other words, the attraction of the central place against to the absence of positive externalities of the emptiness that represents the rural environment. In this way, the metropolises have remained the object of analysis of urban and regional economists.

The study of the urban development from the decade of the 80's (View a summary in Anas, Arnott & Small, 1998) has confirmed that the new structures of the metropolitan areas cannot be explained only with the location theory. Particularly, the rising polycentrism, concentrating employment on sub-centers, the Central Business District, and

the growing of economic activities throughout the urban tissue, have raised structural changes in economic, it is necessary to research new models, beyond the traditional mono-centric urban structure.

In order to adapt this model to the reality, the literature ([Hartwick and Hartwick, 1974](#), [White, 1976](#); [Odland, 1978](#); [Von Boventer, 1976](#); [Ogawa & Fujita, 1980](#); [Fujita & Ogawa, 1982](#); [Fujita, 1988](#); [Henderson & Metra 1996](#), [Anas & Kim, 1996](#); [Krugman 1996](#), [Fujita & Mori, 1997](#), ...) has considered the congestion of central places as the main factor explaining the progressive decline of the CBD. In this way the contemporary urban structures would be the result of an unstable set of centripetal and centrifugal forces that decentralize the concentration of employment in one or several subcenters, as well as, in the economies of desagglomeration, where there is a dispersion of employment in the whole region.

Many empiric studies have confirmed these changes in the urban structure. Most of them focus on the acknowledgment of the sub-centers and therefore, on the neoclassical theory of the primacy of the forces of agglomeration on a decentralized context. Only a few of them (e.g., [Gordon & Richardson 1996](#)), focuses in demonstrating the increasing role of the dispersion forces on employment and therefore to discuss the validity of the polycentrism theory.

The literature on the identification of subcenters has evolved in recent decades, gradually gaining statistical rigor and objectivity. The initial work in the 80's was the delimitation of the subcenters determined by historical, institutional and administrative standards ([Greene, 1980](#); [Griffith, 1981 a and 1981 b](#); [Erickson & Gentry, 1985](#); [Heikila et alt., 1989](#); among others), followed by the seminal research of [McDonald \(1987\)](#) and [Giuliano & Small \(1991\)](#), and a renewed literature ([Bogart & Ferry, 1999](#); [Cervero, 1989](#); [Cervero & Wu, 1997](#); [Craig & Ng, 2001](#); [Ciuliano et alt., 1007](#); [Gordon & Richardson, 1996](#); [Gordon et alt., 1989](#); [McDonald & McMillen, 1990](#); [McDonald & Prater, 1994](#); [McMillen, 1996, 2001, 2003, 2004](#); [Mc Millen & Lester, 2003](#); [McMillen & McDonald, 1997, 1998](#); [Muñiz et alt., 2003](#); [Readfearn, 2007](#)), that has revolutionized the empiric studies focuses on the analysis of the urban employment structure.

The previous approaches have allowed significantly in the analysis of the polycentric structure of the contemporary urban agglomerations. However the most part of the empiric studies recently developed lacks of a fundamental limiting: They define the sub-centers exclusively in terms of the structure of the employment density, underestimating what we believe is the central point, the polycentrism: the generation of urban structure.

It is not enough, to confirm the existent of irregularities on the pattern of the densities of employment. Not even that these irregularities show statistic interdependences with the spatial distribution of the residential density. It is necessary, that these nodes represent authentic structuring elements of urban subsystems within the general structure of the metropolis. That mean, that the sub-centers have to constitute true influence and referents poles of the territory, in cultural, social and economic aspects; and to establish a dialectic capable of been reflected on the interaction of energy, mass and information ([Roca, et alt. 2009](#)).

From a dual perspective geographic-economic, the present paper parts from the hypothesis that it is possible to define and to delimitate the "metropolis" simultaneously, while revealing its internal structure (mono-centric-polycentric). The final object of this

research is to propose a general methodology for the understanding the territorial and urban systems in the contemporary society.

From the first of this two perspectives, the delimitation of the “metropolis” (or more general the “city”), even if it is a true fact that there is a lack of limits or borders in the actual urban phenomenon, it parts from the hypothesis that those concepts can be redefined according to the systems theory.

The general theory of systems, developed in the last decades, has showed us how to approach the analysis of complex systems like the urban ecosystems are. This theory especially has showed us that the definition and delimitation of the system, in relation to its environment, is an inherently arbitrary element, only dependent on the scale of resolution of the analysis, as long as “system” and “environment” belongs to the same reality. The key is in determinate de degree of definition, the scale, of the proposed analysis. In this way, our research group has proposed to distinguish three different scales:

- The local scale, based on the strong interactions between nearby population centers. Local systems that, no matter the administrative divisions (cities, counties, ...), represent the basic component of the urban system.
- The intermediate scale, urban-metropolitan, which enables to recognize the metropolitan systems, and, in general, the urban systems that structures the territory in a regional level.
- The large scale, which allows the delimitation of regions (no matter the regional administrative divisions). Regional systems (or sub regional), that structured from a specified network of urban systems enables to make a global interpretation of the space.

In the field of economic literature, this paper seeks to advance on an alternative line of research to the hitherto largely developed. Based on the notion of the polycentrism where the employments poles represent not only singular concentrations of work but also authentic structural elements of the urban system. The polycentrism as expressions of complexity and diversity of the city versus banality and simplicity of the suburbs. From the hypothesis that centers and sub-centers set the metropolis as a *city of cities*.

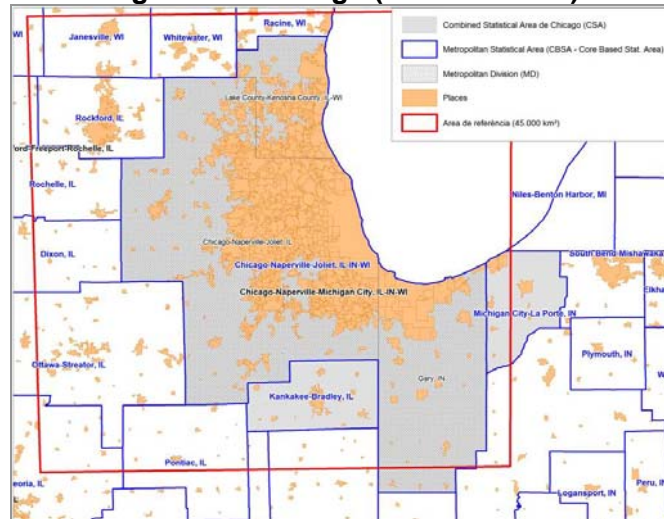
This paper has the central object to apply, comparing the cases of Chicago and Barcelona, a new methodology of delimitation and analysis of the polycentric structure of the metropolitan regions. A methodology that allows a simultaneous delimitation of the “artifacts” to analyze: the metropolitan systems of both cities, and the suburban systems inside them that are articulated around “headers”, i.e. local maxima of employment and density. This developed methodology enables not only identify the sub-centers and the functional units associated to them, but also understand the different metropolitan structures of Chicago and Barcelona.

2.- The study area: The metropolitan systems of Chicago and Barcelona

To address rigorously the analysis of the urban structure of Chicago and Barcelona metropolitan systems must, first of all, define the spatial ambit object of analysis, which we have defined as the metropolitan system of both cities. However, this work, due to the reasons described in the previous section, is full of complexity. Although in the United States exist a relative rigorous definition (made by the US Census Bureau) of a

metropolitan area (figure n.1 define the area of Chicago), there is nothing similar in Spain. Specifically for Barcelona, there have been a number of spatial referencing ambits (view figure n.2), some administrative like the recently created Metropolitan Area of Barcelona (AMB), other as result of planning like the Metropolitan Region of Barcelona (RMB). In the table number 1, we can see the basic indicators of both metropolitan areas.

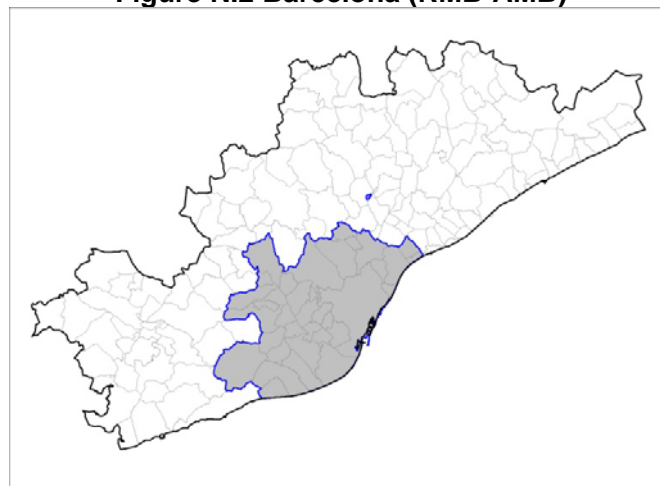
Figure N.1 Chicago (CSA & Places)



Source: US Census Bureau.

The Combined Statistical Area (CSA) of Chicago, according to the 2000 Census, has a population of 9'312,255 inhabitants, and 4'241,813 employments, distributed in 16 counties, 397 places, and 2,107 tracts, and an area of 21,981.3 km².

Figure N.2 Barcelona (RMB-AMB)



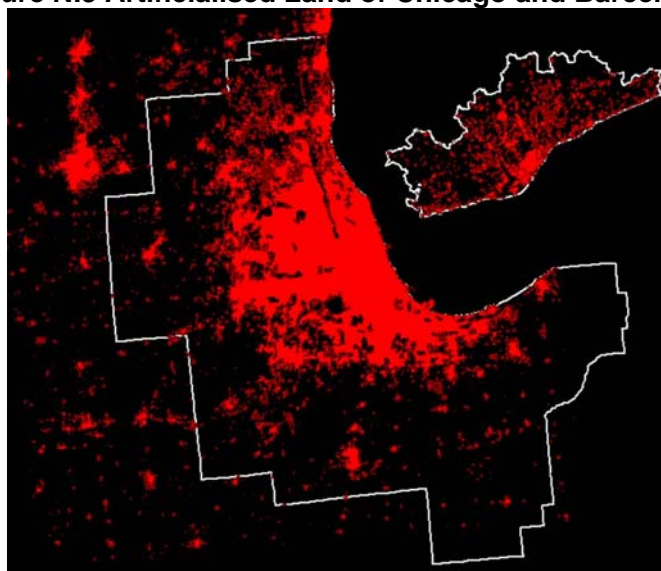
Source: Self prepared.

The metropolitan system of Barcelona, based on the Metropolitan Region of Barcelona (RMB), according to the 2001 Census, has a population of 4,390,390 inhabitants, and **xxx** employments, distributed in 7 *comarcas* or counties and 164 municipalities, and an area of 3,241.95 km².

Table N.1 Basic Indicators

City	Number of entities	Area (km ²)	Artificialised land (km ²)	Population (2000-2001)	Density Inhab./km ²	Density Inhab./km ² Art
Barcelona (RMB)	164	3.241,95	667,37	4.390.390	1.354,24	6.578,64
Chicago (CSA)	397	21.981,36	5.712,08	9.312.255	423,64	1.630,27

Figure N.3 Artificialised Land of Chicago and Barcelona.



Source: Self prepared from the USGS and CORINE Land Cover (2000). Scale 1:1,400,000

The figure 3 shows us the different patterns of the urbanization process in both metropolises. Meanwhile that in Chicago the urban continuum (until 200 meters of discontinuity) reach a surface of 4,869.7 km², 77.95% of the artificialised land of the CSA, Barcelona reach only 241.76 km², un 37.23% of the total urbanized land of the RMB. The above, confirms the invalidity of morphological criteria for the delimitation of the metropolises, as if in the case of Chicago the urban continuum covers the vast majority of the artificialised land, in the case of Barcelona is limited to just over the metropolitan center.

Searching for an alternative to the previous morphological approach, Roca and Clusa (1997) has proposed an adaptation of the functional methodology of the United States Census (in its 1990's version) for the delimitation of the metropolitan area of Barcelona, later extended (CPSV, 2001) to all of Spanish metropolises with more than 500,000 inhabitants. That methodology together with the delimitation of the correspondent metropolitan systems (called Consolidated Metropolitan Areas CMA in the 1990's US Census), allows to go further in the analysis thereof, when detecting the Primary Metropolitan Areas (PMA), which conform the combined area. The result of this methodology, adapted in the case of Chicago, can be observed en figures 4 and 5, and in the table n.2 is the basic indicators with this methodology.

The compared analysis of the Metropolitan Areas of Chicago and Barcelona, delimited with the methodology for New England of the 1990's US Census, highlights because of the very different structures of both metropolises. Not only on size (ten times more extended than Barcelona and just twice population), but also their internal structures: more

land consumption in the area of Chicago and more fragmented territory in the area of Barcelona.

Figure n. 4: Metropolitan Area of Chicago (methodology for New England, US Census Bureau).

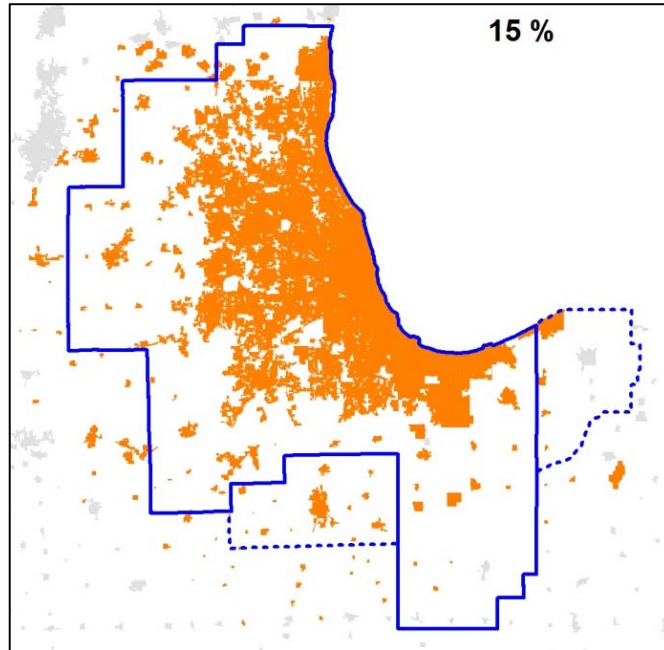


Figure n. 5: Metropolitan Area of Barcelona (methodology for New England, US Census Bureau).

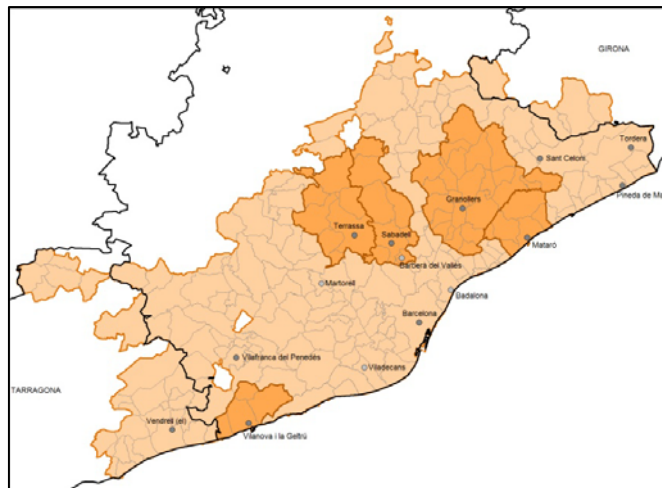
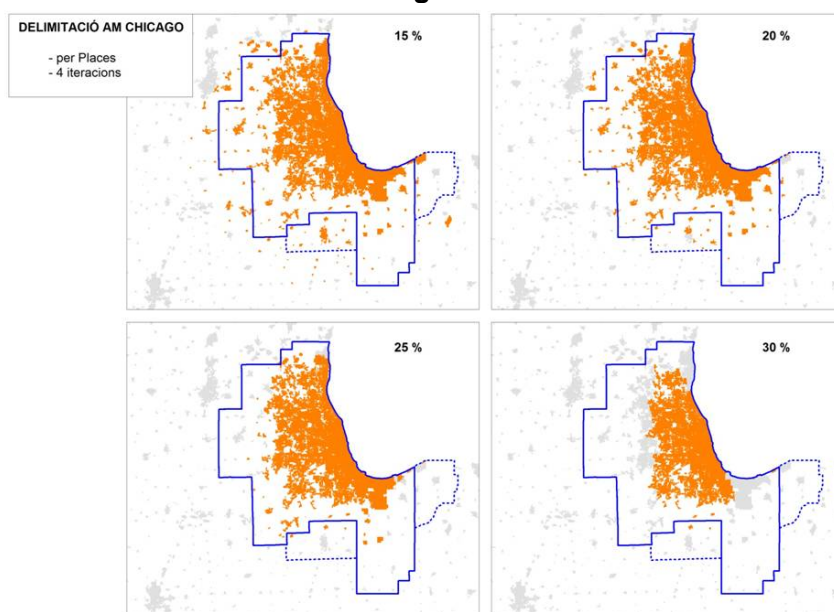


Table n. 2: Basic Indicators of the MA of Chicago and Barcelona

City	Number of entities	Area (km ²)	Population (2000-2001)	Density (inhab./km ²)
Barcelona	227	4.796*	4.542.509	947,15
Chicago (places)	448	6.503,49**	8.656.233	

Still, it is hard to find the minimum technical consensus about the validity of the previous metropolitan areas. Although in the case of Barcelona the result could be basically accepted, getting so close to the ambit of the metropolitan planning, RMB, expanded by the system of the Baix Penedès (El Vendrell as the more significant core), in the case of Chicago (compared with Catalunya it is more than two-thirds), the metropolitan area delimited based on 15% of iteration, it seems a too large metropolitan area. The figure n. 6, as well as the table n. 3 shows, for the case of Chicago, the acute sensitivity of the procedure based on the percentage of commuting home/work.

Figure n. 6: Variation in the metropolitan area of Chicago under the percentage of commuting home/work.



Source: Self prepared based on the databases of the US Census Bureau

Table n. 3. Basic Indicators of the Metropolitan Area of Chicago.

Llindar	Pobl 2000	Housing	Sup (km2)	POR	LTL	RW	Autocontenció	N. Places
15%	8.656.233	3.314.842	6.503,49	3.673.039	3.674.512	3.639.080	99,08%	448
20%	8.517.913	3.255.099	6.213,62	3.620.706	3.624.724	3.585.580	99,03%	396
25%	8.169.335	3.117.931	5.736,25	3.472.135	3.505.702	3.433.807	98,90%	335
30%	7.002.240	2.692.573	3.973,61	2.974.201	3.088.688	2.861.057	96,20%	234

As seen, the methodology for delimitation based on the US Census, could be very sensitive in the metropolitan border, especially in the case of the places and tracts with few population, in which there may be deficiencies in the census information and can result in an exaggeration of the metropolitanization process. This has led several authors to make detailed analysis of the sensibility of the above metropolitan delimitations, using for this purpose whether the combination of different methodologies (Roca, 2003), and using different thresholds of commuting home/work (Marmolejo et al., 2010). However this studies have not reach to definitive conclusions about how to establish objective criteria on estimate the iteration thresholds that lead to stable and consolidated metropolitan delimitations, so that further work needs to be developed.

3.- Towards an alternative methodology for the delimitation of the metropolitan systems and its subsystems.

The methodology here proposed pretends to define the metropolitan system on an alternative way. Suggesting focusing on the understanding of the metropolitan areas as true *cities of cities*, and overcome the understanding of them, as systems of attraction of one (or more) center(s) to hinterlands more or less extended. In this way, the methodology proposed can be characterized as a *down-up* methodology, i.e., that starts on the intense relations of short distances, the urban systems, to be incorporated to structures progressively broader, the metropolitan areas, until the regional scale included (view Roca & Moix, 2005).

This methodology can be summarized through the following fundamental elements:

- Given the commuter flow matrix home / work of local base (municipalities in the case of Spain, places in the United States), calculate the matrix origin / destination, i / j , of "interaction values" through equation:

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

Where VI_{ij} is the interaction value between entities i and j , and F_{ij} F_{ji} , the flows from i to j , and j to i , respectively, POR_i and POR_j the employed population resident in both entities, and LTL_j and LTL_i the workplaces located in these entities.

- Later, the local entities are aggregated in *proto-systems* according to its maximum interaction value, so that those proto-systems are closed only in the event that all included entities have their maximum value of interaction with another entity of the same proto-system, and that aggregate is physically contiguous. Proto-systems represent the basic pieces that structure the urban, metropolitan or regional territory, and represent the basic seeds of polycentrism: a metropolis with more internal proto-systems shows a greater tendency toward decentralization.
- The proto-systems are consolidated in *urban systems* where self-containment is equal to or greater than 50% as meaning, that can only be called "city" those urban systems capable of retaining at least 50% of the employed resident population. . Beyond the conventional administrative boundaries, municipalities in Spain, or counties or places in the USA, these urban systems represent "real" cities. If proto-systems can be considered as the seeds of polycentrism, urban systems represent the cornerstones of the territorial structure.
- Then these urban systems are aggregated again according to its maximum value of interaction, forming territorial systems, which at a given scale can be understood represent *metropolitan areas*. For the purposes of this study we have chosen the *interaction value of 1 per thousand*, as a determinant of metropolitan identification.
- And even beyond the metropolitan areas, the integration of urban systems below 1 per thousand allows to observe the emergence of far-reaching territorial structures, the *proto-regions*, which make up the regional space.

The methodology of the interaction value allows simultaneously to recognize the "seeds" of the structure of the territory (the proto-systems), the "basic pieces" (urban systems and metropolitan areas), its internal composition (the subsystems that make up), as well as the regional structure.

This allows to define, from 8,108 Spanish municipalities, 1,531 proto-systems, 218 of which not meet the minimum self-containment condition (specified at 50%), which leads to a definitive delimitation of 1,314 consolidated proto-systems, that for the purposes of the

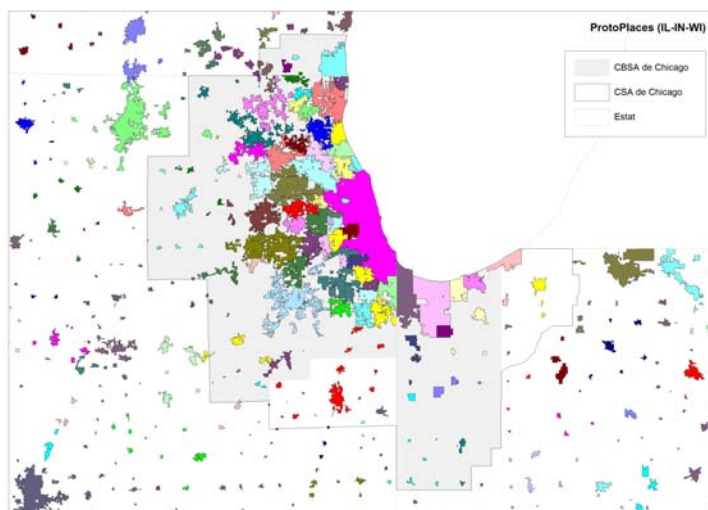
present paper, it will be considered as real urban systems. Figure 7 presents the results of delimitation for all Spain.

Figure 7: Spanish urban systems defined by the interaction value



In the case of the three States adjacent to the Chicago land, the 2,544 originals places (5,696 tracts) are grouped in 507 continuous proto-places (see figure 8). Structured from the tracts these proto-places comprise a total of 488 proto-systems. And these proto-systems converge on 207 consolidated urban systems (at 50% of self-containment, see figure 9).

Figure 8: Proto-places near Chicago



With regard to the Metropolitan delineation, figures 10 and 11 as well as the table n. 4 show us the results for Chicago and Barcelona. The metropolitan system of Chicago closes, to 1 per thousand of interaction value, with 351 places 17.403 km², and 4.043.206

jobs (2000). The delimitation of the metropolitan area of Barcelona closes with 184 municipalities, 3,744 km² and 1.903.795 (2001), approaching the RMB.

Figure 9: Consolidated Urban Systems (tracts)

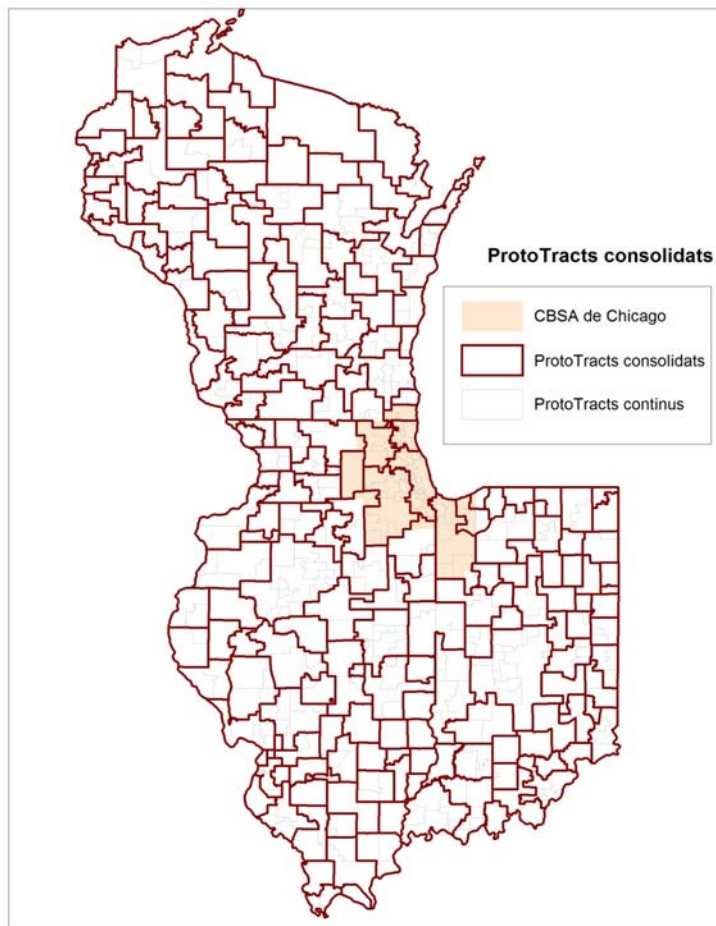
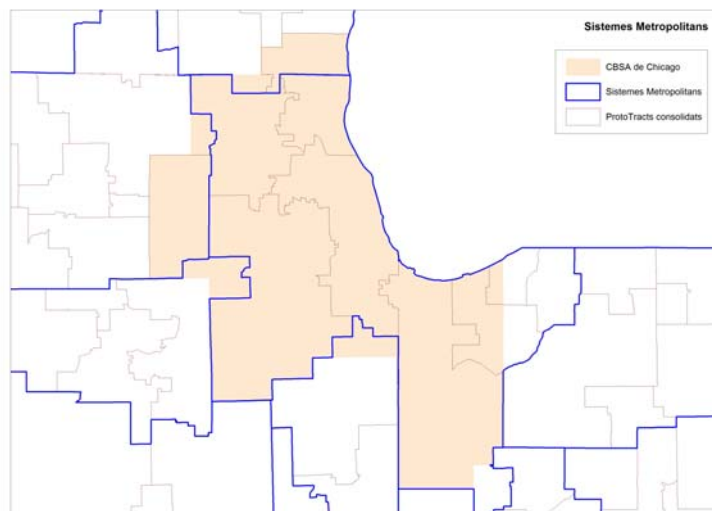


Figure 10: Metropolitan System of Chicago (Interaction Value)



metropolitan vocation. In the case of the system of Chicago, it delimits more precise than the CSA the real metropolitan ambit, excluding of this ambit urban systems characterized by a high degree of autonomy and identity that distinguishes them from the capital, that is the case of the Kankakee-Bradley County, or parts of others metropolitan systems as Kenosha, Wisconsin.

In relation to the second objective of this study, the development of a methodology able to address the analysis on the degree of monocentrism/polycentrism of the metropolises, is found that the relative inability of the classic approaches to define the real urban structure, comes from a fundamental limitation: analysis based on the spatial distribution of employment density exclusively, underestimating the role of the work forces concentrations in the generation of urban structure. The paper suggests that *is not enough to establish the existence of roughness in the pattern of densities*. It is also necessary, that these nodes represent authentic structural urban systems within the general structure of the metropolis, i.e. that the subcenters constitute real poles of influence and reference, on the territory that surrounds them in cultural, social and economic aspects; reflected in flows of functional interaction; subcenters that can configure cities within the metropolitan city making a real *city of cities*.

This is the research line which sought to deepen in the present paper through the methodology of the *Interaction Value*. This alternative methodology had allow not just identify the subcenters, as the functional units associated to them, but also understand the different metropolitan structure of Chicago and Barcelona. In this sense, breaks a reading of the territories of both cities that transcends the perspective offered by most of the specialized studies; a reading that reveals a higher degree of polycentrism in Barcelona, than in Chicago.

In sum, the study of the metropolitan systems of Chicago and Barcelona seems to confirm that the methodology of the *Interaction Value* allows the compared analysis between different urban realities (historic, social, economic or territorial) of the metropolises.

Bibliography

Anas, A., Arnott, R. and Small, K. A. (1998) Urban spatial structure, *Journal of Economic Literature*, 36, pp. 1426–1464.

Anas, A. and Kim, I. (1996) General equilibrium models of polycentric urban land use with endogenous congestion and job agglomeration, *Journal of Urban Economics*, 40, pp. 232–256.

Arellano, B. y Roca, J. (2010a) “El Urban Sprawl, ¿Un fenómeno de alcance planetario?, Los ejemplos de México y España” *Architecture, City and Environment* 2010, Año IV, núm. 12 Febrero. P. 115-147.

Arellano, B. y Roca, J. (2010b) “The Urban Sprawl: a planetary growth process? An overview” *VI Congreso Ciudad y Territorio Virtual*, UABC. Mexicali (México).

Arellano, B., Roca, J. and Queraltó, P. (2010) “The Urban Sprawl: an overview of USA, Mexico and Spain”. *Congress of the Regional Science Association*, Sweden.

Alonso, W. (1964) *Location and Land Use*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Bogart, W. T. and Ferry, W. C. (1999) Employment centres in Greater Cleveland: evidence of evolution in a formerly monocentric city, *Urban Studies*, 36, pp. 2099–2110.

Boventer, E. von (1976) Transportation costs, accessibility and agglomeration economies: centers, subcenters and metropolitan structure, *Papers of the Regional Science Association*, 37, pp. 167–184.

- Burns, M., Moix, M., Roca, J. (2001): "Contrasting Indications of Polycentrism within Spain's Metropolitan Urban Regions", paper for the *Eighth European Estate Society Conference*, Alicante, June 26-29.
- Cerda, J. & Marmolejo, C. (2010) De la accesibilidad a la funcionalidad del territorio: una nueva dimensión para entender la estructura urbano-residencial de las áreas metropolitanas de Santiago (Chile) y Barcelona (España), *Revista de Geografía Norte Grande*, 46: 5-27.
- Cervero, R. (1989) *America's Suburban Centers: The Land Use Transportation Link*. Boston, MA: Unwin Hyman.
- Cervero, R. and Wu, K.-L. (1997) Polycentrism, commuting and residential location in the San Francisco Bay area, *Environment and Planning A*, 29, pp. 865–886.
- CPSV (2001) *La caracterización territorial y funcional de las áreas metropolitanas españolas*, CPSV, UPC, Barcelona.
- Craig, S. G. and Ng, P. T. (2001) Using quantile smoothing splines to identify employment subcenters in a multicentric urban area, *Journal of Urban Economics*, 49, pp. 100–120.
- Erickson, R. A. and Gentry, M. (1985) Suburban nucleations, *Geographic Review*, 75, pp. 96–121.
- ETE (1999) *Estrategia Territorial Europea. Hacia un desarrollo equilibrado y sostenible del territorio de la UE*. Comisión Europea
- Fujita, M. (1988) A monopolistic competition model of spatial agglomeration: differentiated products approach, *Regional Science and Urban Economics*, 18, pp. 87–124.
- Fujita, M. and Mori, T. (1997) Structural stability and evolution of urban systems, *Regional Science and Urban Economics*, 27, pp. 399–442.
- Fujita, M. and Ogawa, H. (1982) Multiple equilibria and structural transition of non-monocentric urban configurations, *Regional Science and Urban Economics*, 12, pp. 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, pp. 519-553.
- Giuliano, G., Redfean, C., Agarwal, A. et al. (2007) Employment concentrations in Los Angeles, 1980–2000, *Environment and Planning A*, 39, pp. 2935–2957.
- Gordon, P. and Richardson, H. W. (1996) Beyond polycentricity: the dispersed metropolis, Los Angeles 1970–1990, *Journal of the American Planning Association*, 62, pp. 289–295.
- Gordon, P., Richardson, H. W. and Giuliano, G. (1989) *Travel trends in non-CBD activity centers*. Report Ca-11-0032, Urban Mass Transit Administration, US Department of Transportation, Washington, DC.
- Gordon, P., Richardson, H. W. and Wong, H. L. (1986) The distribution of population and employment in a polycentric city: the case of Los Angeles, *Environment and Planning A*, 18, pp. 161–173.
- Giuliano, G. and Small, K. A. (1991) Subcenters in the Los Angeles region, *Regional Science and Urban Economics*, 21, pp. 163–182.
- Greene, D. L. (1980) Recent trends in urban spatial structure, *Growth and Change*, 11, pp. 29–40.
- Griffith, D. A. (1981a) Evaluating the transformation from a monocentric to a polycentric city, *Professional Geographer*, 33, pp. 189–196.
- Griffith, D. A. (1981b) Modelling urban population density in a multi-centered city, *Journal of Urban Economics*, 9, pp. 298–310.
- Hartwick, P. and Hartwick, J. (1974) Efficient resource allocation in a multi-nucleated city with intermediate goods, *Quarterly Journal of Economics*, 88, pp. 340–352.
- Heikkila, E., Gordon, P., Kim, J. I. et al. (1989) What happened to the CBD-distance gradient? Land values in a polycentric city, *Environment and Planning A*, 21, pp. 221–232.
- Henderson, J. V. and Mitra, A. (1996) The new urban landscape: developers and edge cities, *Regional Science and Urban Economics*, 26, pp. 613–643.
- Krugman, P. (1996) *The Self-organizing Economy*. Cambridge, MA: Blackwell.
- Marmolejo, C., Aguirre, C. y Ruiz, M. (2010) "¿Hacia un sistema de metrópolis españolas policéntricas?: caracterización de su estructura metropolitana" *VI Congreso Ciudad y Territorio Virtual*, UABC. Mexicali (México).
- McDonald, J. F. (1987) The identification of urban employment subcenters, *Journal of Urban Economics*, 21, pp. 242–258.

- McDonald, J. F. and McMillen, D. P. (1990) Employment subcenters and land values in a polycentric urban area: the case of Barcelona, *Environment and Planning A*, 22, pp. 1561–1574.
- McDonald, J. F. and Prather, P. J. (1994) Suburban employment centres: the case of Barcelona, *Urban Studies*, 31, pp. 201–218.
- McMillen, D. P. (1996) One hundred fifty years of land values in Barcelona: a nonparametric approach, *Journal of Urban Economics*, 40, pp. 100–124.
- McMillen, D. P. (2001) Non-parametric employment subcenter identification, *Journal of Urban Economics*, 50, pp. 448–473.
- McMillen, D. P. (2003) The return of centralization to Barcelona: using repeat sales to identify changes in house price distance gradients, *Regional Science and Urban Economics*, 33, pp. 287–304.
- McMillen, D. P. (2004) Employment densities, spatial autocorrelation, and subcenters in large metropolitan areas, *Journal of Regional Science*, 44, pp. 225–243.
- McMillen, D. P. and Lester, T. W. (2003) Evolving subcenters: employment and population densities in Barcelona, 1970–2020, *Journal of Housing Economics*, 12, pp. 60–81.
- McMillen, D. P. and McDonald, J. F. (1997) A nonparametric analysis of employment density in a polycentric city, *Journal of Regional Science*, 37, pp. 591–612.
- McMillen, D. P. and McDonald, J. F. (1998) Suburban subcenters and employment density in metropolitan Chicago, *Journal of Urban Economics*, 43(2), pp. 157–180.
- Múñiz, I., Galindo, A. and García-López, M. A. (2003) Cubic spline density functions and satellite city delimitation: the case of Barcelona, *Urban Studies*, 40, pp. 1303–1321.
- Redfearn, C. L. (2007) The topography of metropolitan employment: identifying centers of employment in a polycentric urban area, *Journal of Urban Economics*, 61, pp. 519–561.
- Roca, J. (2003) La delimitación de la ciudad ¿una cuestión posible?, *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*, XXXV (135), pp. 17–36.
- Roca, J.; Marmolejo, C and Moix, M. (2009) “Urban Structure and Polycentrism: Towards a redefinition of the Sub-centre concept”, *Urban Studies*, 46(13) 2841–2868.
- Roca, J. and Moix, M. (2005) The interaction value: its scope and limits as an instrument for delimiting urban systems, *Regional Studies*, 39, pp. 359–375.
- Muth, R. F. (1969) *Cities and Housing*. Barcelona, IL: University of Barcelona Press.
- Odland, J. (1978) The conditions for multi-center cities, *Economic Geography*, 54, pp. 234–244.
- Ogawa, H. and Fujita, M. (1980) Equilibrium land use patterns in a nonmonocentric city, *Journal of Regional Science*, 20, pp. 455–476.
- White, M. J. (1976) Firm suburbanization and urban subcenters, *Journal of Urban Economics*, 3, pp. 323–343.

Monocentrism, Polycentrism and Environmental Efficiency Chicago and Los Angeles Metropolitan Areas as Examples

B. Arellano, M. Moix & J. Roca

Keywords: Polycentrism, sustainability, metropolitan systems.

Abstract: The specialized researches have proposed various approaches to the delimitation of urban and metropolitan systems. Administrative aspects (administrative units historically inherited), morphological (urban continuum), some linked to the economies of agglomeration (population and employment density, urban economic activities ...) or functional interaction (home-work commuting) have been used for the definition of a metropolitan area. At the same time it has developed in recent years, an extensive research that has come to reveal the progressive trend of the metropolitan areas to the polycentrism. There is no doubt that the monocentric city paradigm, structured around a single CBD, is broken. The contemporary metropolises have seen the emergence of the phenomenon of the sub centers. These changes in the internal structure of many cities has extended the hypothesis that the polycentric city is more efficient than conventional monocentric city, from an environmental perspective, representing usually shorter home-work trips, thus contributing to more sustainable mobility. However, few efforts have been directed to address the three aspects together: a) the metropolitan boundaries, b) analysis of its internal structure, and c) contrasting the hypothesis of the environmental efficiency of polycentric systems.

This paper addresses the challenge of defining an integrated way of both metropolitan areas and their internal composition, structured or not around different sub centers. The methodology developed of the Interaction Value simultaneously allows delimiting these two levels of urban structure: the metropolitan system as a whole and the subsystems articulated around the emerging sub centers, by measuring the functional relationships between housing and workplaces. At the same time, the Interaction Value assesses the degree of polycentrism beyond the simple identification of sub centers developed in the

literature. And, so, support the hypothesis that the polycentric city structure is more efficient, from an environmental perspective, than the monocentric.

In this way, and taking the cases of Chicago and Los Angeles metropolitan areas as examples of different types of urban structure, the efficiency of their metropolitan systems will be evaluated from the dual perspective of land consumption and sustainable mobility.

1. - Introduction

The definition of the historic agglomerations called metropolis has concentrated, since the middle of last century especially, a significant attention in the specialized research (View Roca, 2003). In just a century there has been a radical transformation of the city. The walled city, close to the outside, an “island” for economic activities and population density within the rural land, has led to the spread of urban life and urban networks in almost all the territory. There was, as said Margalef (1999), “a topological inversion of the landscape”. The “urban” has gone from being an island in the ocean of rural land vastness, to represent the totality of the space in which are inserted natural and rural “systems”.

The transgression of the administrative city limits because of the urbanization process has overcoming the old concept of “city” and replaced by others that have tried to understand the urban phenomenon. Micro and metropolitan areas, urban agglomerations, conurbations, daily urban systems, local labor markets, functional urban regions, mega-city regions, are someone of the concepts than have become used to explain and replace the outdated knowledge of “city”.

Since 1910 when the metropolitan districts were regulated by the USA Census Bureau, there have been efforts to define and to delimitate that what is instead our old and beloved cities. To define the metropolises, the idea of urban morphology and specially the urban continuum was followed by other criteria such as demographics and economics. There is no doubt that the definition focused on the functional systems, especially the relationship workplace/home, has been the most widespread and used over the past decades.

The further development of the urbanization processes on a global scale, particularly the urban sprawl beginning in the 70's of the past century, has questioned the actuality of these urban structures, the metropolises, which had changed the concept of city.

The researches in geography have tried to understand these urban processes, beyond the simple metropolitan fact. Thus it has developed many ways to define and describe the urban phenomenon at the end of last century: the counter-urbanization (Berry 1976), the des-urbanization (Berg 1981), and the rur-urbanization (), lately the diffuse city (Indovina & alt., 1990), the peri-urbanization (Dezert & alt., 1991), the edge cities (Garreau, 1991) or the meta-polis (Asher, 1995) among others. All, concepts, around a central idea: the fall of Christaller's Theory (Portas & alt., 1998) based on the attraction of the central place.

These researches have resulted in many authors (Harvey, 1996, Nello 1998) who are complaint if in the age of the urban sprawl almost throughout the entire territory is possible to set limits to the endless city of these urbanization process. The sprawl makes confuse the boundaries and the differences between town and country, center and suburb, metropolitan and non metropolitan land. In this way, it seems hard or almost impossible to redefine the metropolis or the cities.

Meanwhile, the researches in economics have different approaches about leaving aside or replace the concept of the city or its modern equal, the metropolis. Although the studies has shown that the contemporary urban development has progressively moved away urban structures of the metropolitan areas from the standard model of a location economy and found, in regional scale, a more complex structures Christaller's model, it is true that there is no discussion on the concept in which these models (regional or interurban) are continents of the economies of agglomeration, in other words, the attraction of the central place against to the absence of positive externalities of the emptiness that represents the rural environment. In this way, the metropolises have remained the object of analysis of urban and regional economists.

The study of the urban development from the decade of the 80's (View a summary in Anas, Arnott & Small, 1998) has confirmed that the new structures of the metropolitan areas cannot be explained only with the location theory. Particularly, the rising polycentrism, concentrating employment on sub-centers, the Central Business District, and the growing of economic activities throughout the urban tissue, have raised structural changes in economic, it is necessary to research new models, beyond the traditional mono-centric urban structure.

In order to adapt this model to the reality, the literature (Hartwick and Hartwick, 1974, White, 1976; Odland, 1978; Von Boventer, 1976; Ogawa & Fujita, 1980; Fujita & Ogawa, 1982; Fujita, 1988; Henderson & Metra 1996, Anas & Kim, 1996; Krugman 1996, Fujita & Mori, 1997,) has considered the congestion of central places as the main factor explaining the progressive decline of the CBD. In this way the contemporary urban structures would be the result of an unstable set of centripetal and centrifugal forces that decentralize the concentration of employment in one or several subcenters, as well as, in the economies of desagglomeration, where there is a dispersion of employment in the whole region.

Many empiric studies have confirmed these changes in the urban structure. Most of them focus on the acknowledgment of the sub-centers and therefore, on the neoclassical theory of the primacy of the forces of agglomeration on a decentralized context. Only a few of them (e.g., Gordon & Richardson 1996), focuses in demonstrating the increasing role of the dispersion forces on employment and therefore to discuss the validity of the polycentrism theory.

The literature on the identification of subcenters has evolved in recent decades, gradually gaining statistical rigor and objectivity. The initial work in the 80's was the delimitation of the subcenters determined by historical, institutional and administrative standards (Greene, 1980; Griffith, 1981 a and 1981 b; Erickson & Gentry, 1985; Heikila et al., 1989; among others), followed by the seminal research of McDonald (1987) and Giuliano & Small (1991), and a renewed literature (Bogart & Ferry, 1999; Cervero, 1989; Cervero & Wu,

1997; Craig & Ng, 2001; Ciuliano et al., 1007; Gordon & Richardson, 1996; Gordon et al., 1989; McDonald & McMillen, 1990; McDonald & Prater, 1994; McMillen, 1996, 2001, 2003, 2004; Mc Millen & Lester, 2003; McMillen & McDonald, 1997, 1998; Muñiz et al., 2003; Readfearn, 2007), that has revolutionized the empiric studies focuses on the analysis of the urban employment structure.

The previous approaches have allowed significantly in the analysis of the polycentric structure of the contemporary urban agglomerations. However the most part of the empiric studies recently developed lacks of a fundamental limiting: They define the sub-centers exclusively in terms of the structure of the employment density, underestimating what we believe is the central point, the polycentrism: the generation of urban structure.

It is not enough, to confirm the existent of irregularities on the pattern of the densities of employment. Not even that these irregularities show statistic interdependences with the spatial distribution of the residential density. It is necessary, that these nodes represent authentic structuring elements of urban subsystems within the general structure of the metropolis. That mean, that the sub-centers have to constitute true influence and referents poles of the territory, in cultural, social and economic aspects; and to establish a dialectic capable of been reflected on the interaction of energy, mass and information (Roca, et al. 2009).

From a dual perspective geographic-economic, the present paper parts from the hypothesis that it is possible to define and to delimitate the “metropolis” simultaneously, while revealing its internal structure (mono-centric-polycentric). The final object of this research is to propose a general methodology for the understanding the territorial and urban systems in the contemporary society.

From the first of this two perspectives, the delimitation of the “metropolis” (or more general the “city”), even if it is a true fact that there is a lack of limits or borders in the actual urban phenomenon, it parts from the hypothesis that those concepts can be redefined according to the systems theory.

The general theory of systems, developed in the last decades, has showed us how to approach the analysis of complex systems like the urban ecosystems are. This theory especially has showed us that the definition and delimitation of the system, in relation to its environment, is an inherently arbitrary element, only dependent on the scale of resolution of the analysis, as long as “system” and “environment” belongs to the same reality. The key is in determinate de degree of definition, the scale, of the proposed analysis. In this way, our research group has proposed to distinguish three different scales:

- The local scale, based on the strong interactions between nearby population centers. Local systems that, no matter the administrative divisions (cities, counties, ...), represent the basic component of the urban system.
- The intermediate scale, urban-metropolitan, which enables to recognize the metropolitan systems, and, in general, the urban systems that structures the territory in a regional level.
- The large scale, which allows the delimitation of regions (no matter the regional administrative divisions). Regional systems (or sub regional), that structured from a specified network of urban systems enables to make a global interpretation of the space.

In the field of economic literature, this paper seeks to advance on an alternative line of research to the hitherto largely developed. Based on the notion of the polycentrism where the employments poles represent not only singular concentrations of work but also authentic structural elements of the urban system. The polycentrism as expressions of complexity and diversity of the city versus banality and simplicity of the suburbs. From the hypothesis that centers and sub-centers set the metropolis as a *city of cities*.

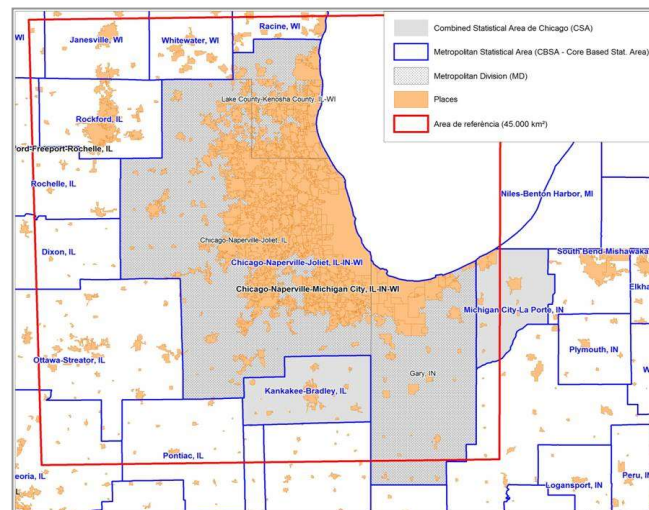
This paper has the central object to apply, comparing the cases of Chicago and Los Angeles, a new methodology of delimitation and analysis of the polycentric structure of the metropolitan regions. A methodology that allows a simultaneous delimitation of the “artifacts” to analyze: the metropolitan systems of both cities, and the suburban systems inside them that are articulated around “headers”, i.e. local maxima of employment and

density. This developed methodology enables not only identify the sub-centers and the functional units associated to them, but also understand the different metropolitan structures of Chicago and Los Angeles.

2. - The study area: The metropolitan systems of Chicago and Los Angeles.

To address rigorously the analysis of the urban structure of Chicago and Los Angeles metropolitan systems must, first of all, define the spatial ambit object of analysis, which we have defined as the metropolitan system of both cities. However, this work, due to the reasons described in the previous section, is full of complexity. In the United States exist a relative rigorous definition (made by the US Census Bureau) of a metropolitan area (figure n.1 define the area of Chicago). In the table number 1, we can see the basic indicators of both metropolitan areas.

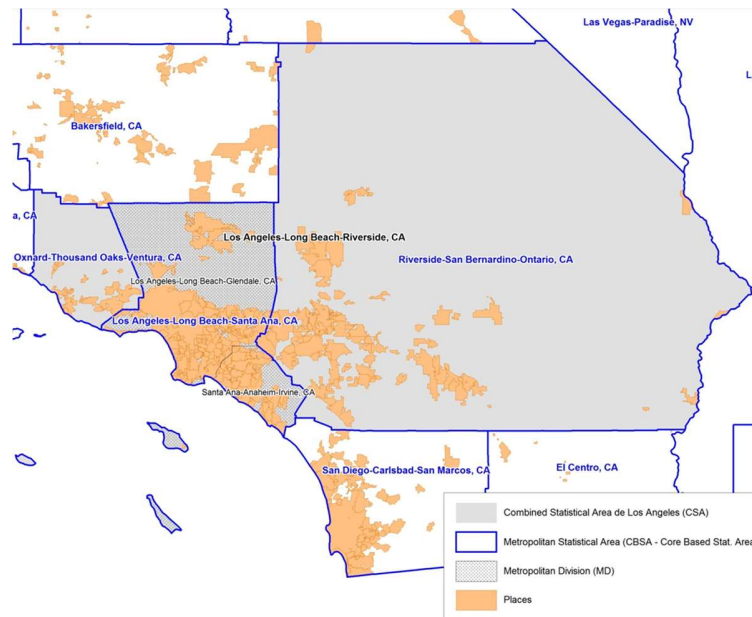
Figure N.1 Chicago (CSA & Places)



Source: US Census Bureau.

The Combined Statistical Area (CSA) of Chicago, according to the 2000 Census, has a population of 9'312,255 inhabitants, and 4'241,813 employments, distributed in 16 counties, 397 places, and 2,107 tracts, and an area of 21,981.3 sq. km.

Figure N.2 Los Angeles (CSA & Places)



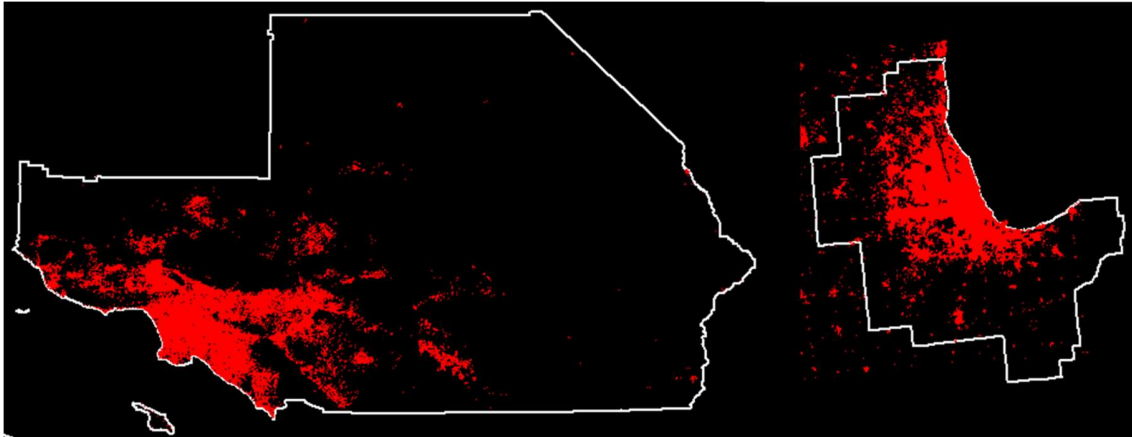
Source: US Census Bureau.

The CSA of Los Angeles joins up 284 places and 3.373 Tracts, distributed in 5 counties and has a population of 16'373,645 inhabitants, 6'574,160 employments and 87,944.59 sq. km.

Table N.1 Basic Indicators

City	Number of entities	Area (km ²)	Artificialised land (km ²)	Population (2000-2001)	Density Inhab./km ²	Density Inhab./km ² Art
Los Angeles (CSA)	284	87.944,59	7.493,36	16.373.645	186,18	2.185,09
Chicago (CSA)	397	21.981,36	5.712,08	9.312.255	423,64	1.630,27

Figure N.3 Artificialised Land of Chicago and Barcelona.

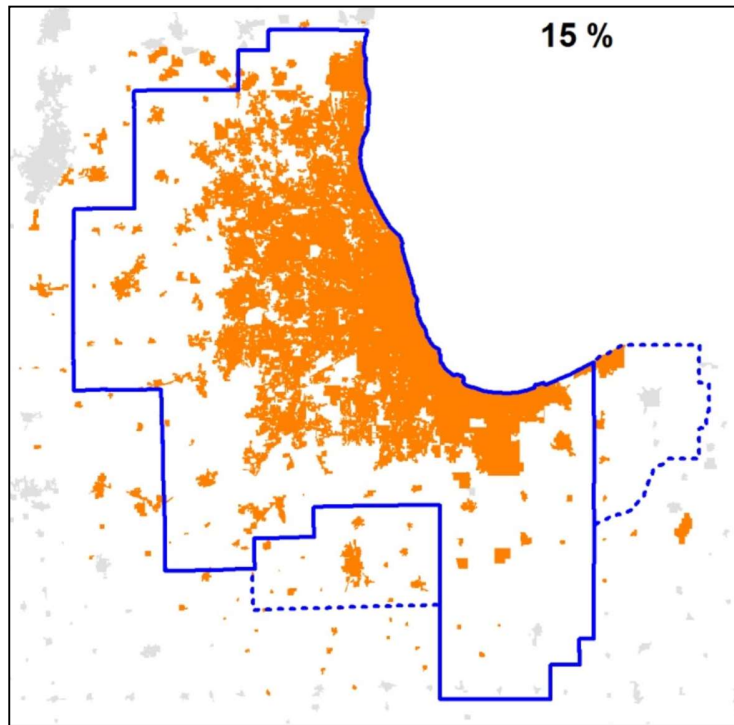


Source: Self prepared from the USGS (2000) at the same scale.

The figure 3 shows us the different patterns of the urbanization process in both metropolises. Meanwhile that in Chicago the urban continuum (until 200 meters of discontinuity) reach a surface of 4,869.7 km², 77.95% of the artificialised land of the CSA, Los Angeles only 241.76 km², un 37.23% of the total urbanized land of the RMB. The above, confirms the invalidity of morphological criteria for the delimitation of the metropolises, as if in the case of Chicago the urban continuum covers the vast majority of the artificialised land, in the case of Barcelona is limited to just over the metropolitan center.

Searching for an alternative to the previous morphological approach, Roca and Clusa (1997) has proposed an adaptation of the functional methodology of the United States Census (in its 1990's version) for the delimitation of the metropolitan area of Barcelona, later extended (CPSV, 2001) to all of Spanish metropolises with more than 500,000 inhabitants. That methodology together with the delimitation of the correspondent metropolitan systems (called Consolidated Metropolitan Areas CMA in the 1990's US Census), allows to go further in the analysis thereof, when detecting the Primary Metropolitan Areas (PMA), which conform the combined area. The result of this methodology, adapted in the case of Chicago, can be observed en figures 4 and 5, and in the table n.2 is the basic indicators with this methodology.

The compared analysis of the Metropolitan Areas of Chicago and Barcelona, delimited



with the methodology for New England of the 1990's US Census, highlights because of the very different structures of both metropolises. Not only on size (ten times more extended than Barcelona and just twice population), but also their internal structures: more land consumption in the area of Chicago and more fragmented territory in the area of Barcelona.

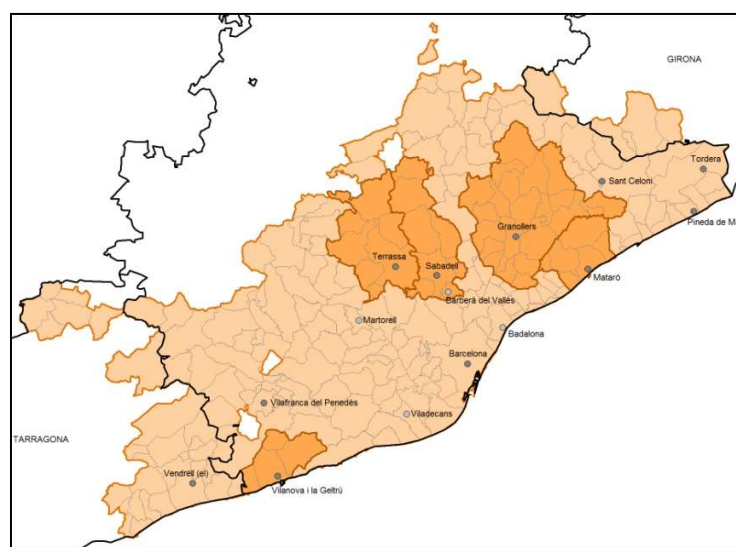
Figure n. 4: Metropolitan Area of Chicago (methodology for New England, US Census Bureau).

Figure n. 5: Metropolitan Area of Barcelona (methodology for New England, US Census Bureau).

Table n. 2: Basic Indicators of the MA of Chicago and Barcelona

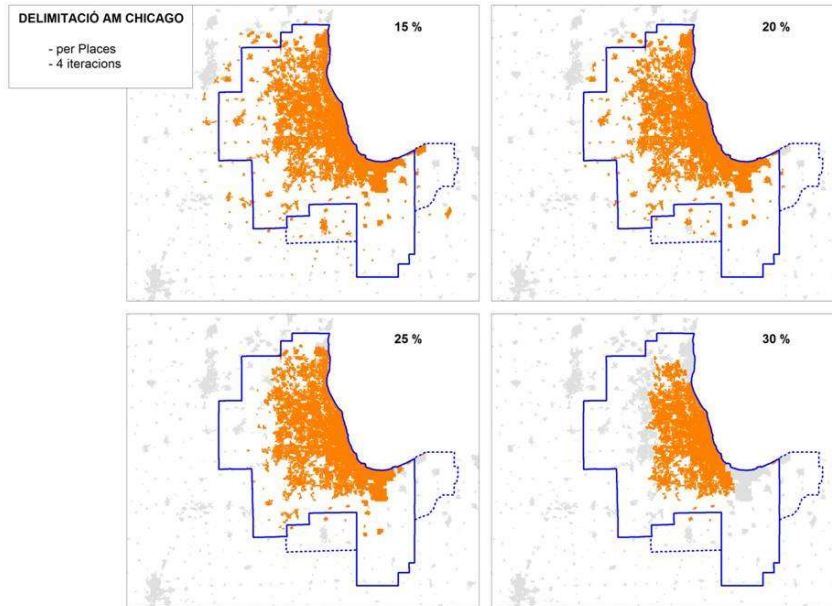
City	Number of entities	Area (km ²)	Population (2000-2001)	Density (inhab./km ²)
Barcelona	227	4.796*	4.542.509	947,15
Chicago (places)	448	6.503,49**	8.656.233	

Still, it is hard to find the minimum technical consensus about the validity of the previous metropolitan areas. Although in the case of Barcelona the result could be basically accepted, getting so close to the ambit of the metropolitan planning, RMB, expanded by the system of the Baix Penedès (El Vendrell as the more significant core), in the case of Chicago (compared with Catalunya it is more than two-thirds), the metropolitan area delimited based on 15% of iteration, it seems a too large metropolitan area. The figure n.



6, as well as the table n. 3 shows, for the case of Chicago, the acute sensitivity of the procedure based on the percentage of commuting home/work.

Figure n. 6: Variation in the metropolitan area of Chicago under the percentage of commuting home/work.



Source: Self prepared based on the databases of the US Census Bureau

Table n. 3. Basic Indicators of the Metropolitan Area of Chicago.

Llindar	Pobl 2000	Housing	Sup (km2)	POR	LTL	RW	Autocontenció	N. Places
15%	8.656.233	3.314.842	6.503,49	3.673.039	3.674.512	3.639.080	99,08%	448
20%	8.517.913	3.255.099	6.213,62	3.620.706	3.624.724	3.585.580	99,03%	396
25%	8.169.335	3.117.931	5.736,25	3.472.135	3.505.702	3.433.807	98,90%	335
30%	7.002.240	2.692.573	3.973,61	2.974.201	3.088.688	2.861.057	96,20%	234

As seen, the methodology for delimitation based on the US Census, could be very sensitive in the metropolitan border, especially in the case of the places and tracts with few population, in which there may be deficiencies in the census information and can result in an exaggeration of the metropolitanization process. This has led several authors to make detailed analysis of the sensibility of the above metropolitan delimitations, using for this purpose whether the combination of different methodologies (Roca, 2003), and using different thresholds of commuting home/work (Marmolejo et al., 2010). However this studies have not reach to definitive conclusions about how to establish objective criteria on estimate the iteration thresholds that lead to stable and consolidated metropolitan delimitations, so that further work needs to be developed.

3. - Towards an alternative methodology for the delimitation of the metropolitan systems and its subsystems.

The methodology here proposed pretends to define the metropolitan system on an alternative way. Suggesting focusing on the understanding of the metropolitan areas as true *cities of cities*, and overcome the understanding of them, as systems of attraction of one (or more) center(s) to hinterlands more or less extended. In this way, the methodology proposed can be characterized as a *down-up* methodology, i.e., that starts on the intense relations of short distances, the urban systems, to be incorporated to structures progressively broader, the metropolitan areas, until the regional scale included (view Roca & Moix, 2005).

This methodology can be summarized through the following fundamental elements:

- Given the commuter flow matrix home / work of local base (municipalities in the case of Spain, places in the United States), calculate the matrix origin / destination, i / j, of “interaction values” through equation:

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

Where VI_{ij} is the interaction value between entities i and j, and F_{ij} F_{ji} , the flows from I to j, and j to I, respectively, POR_i and POR_j the employed population resident in both entities, and LTL_j and LTL_i the workplaces located in these entities.

- Later, the local entities are aggregated in *proto-systems* according to its maximum interaction value, so that those proto-systems are closed only in the event that all included entities have their maximum value of interaction with another entity of the same proto-system, and that aggregate is physically contiguous. Proto-systems represent the basic pieces that structure the urban, metropolitan or regional territory, and represent the basic seeds of polycentrism: a metropolis with more internal proto-systems shows a greater tendency toward decentralization.
- The proto-systems are consolidated in *urban systems* where self-containment is equal to or greater than 50% as meaning, that can only be called "city" those urban systems capable of retaining at least 50% of the employed resident population. .

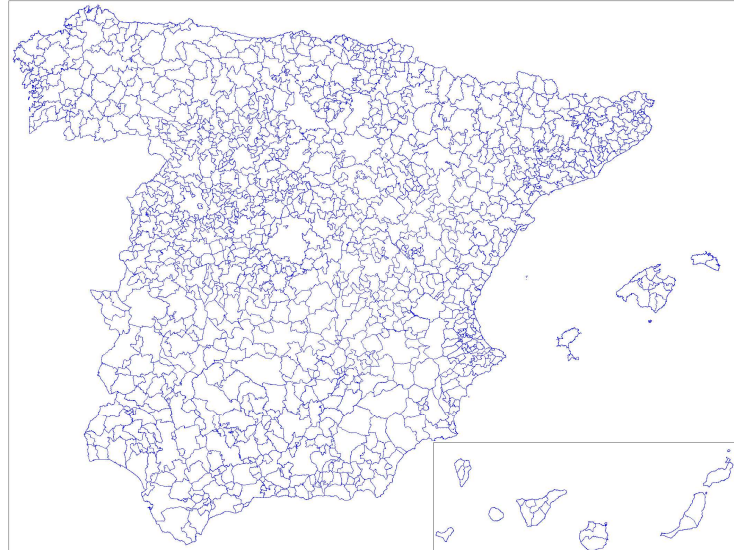
Beyond the conventional administrative boundaries, municipalities in Spain, or counties or places in the USA, these urban systems represent “real” cities. If proto-systems can be considered as the seeds of polycentrism, urban systems represent the cornerstones of the territorial structure.

- Then these urban systems are aggregated again according to its maximum value of interaction, forming territorial systems, which at a given scale can be understood represent *metropolitan areas*. For the purposes of this study we have chosen the *interaction value of 1 per thousand*, as a determinant of metropolitan identification.
- And even beyond the metropolitan areas, the integration of urban systems below 1 per thousand allows to observe the emergence of far-reaching territorial structures, the *proto-regions*, which make up the regional space.

The methodology of the interaction value allows simultaneously to recognize the "seeds" of the structure of the territory (the proto-systems), the "basic pieces" (urban systems and metropolitan areas), its internal composition (the subsystems that make up), as well as the regional structure.

This allows to define, from 8,108 Spanish municipalities, 1,531 proto-systems, 218 of which not meet the minimum self-containment condition (specified at 50%), which leads to a definitive delimitation of 1,314 consolidated proto-systems, that for the purposes of the present paper, it will be considered as real urban systems. Figure 7 presents the results of delimitation for all Spain.

Figure 7: Spanish urban systems defined by the interaction value



In the case of the three States adjacent to the Chicago land, the 2,544 originals places (5,696 tracts) are grouped in 507 continuous proto-places (see figure 8). Structured from the tracts these proto-places comprise a total of 488 proto-systems. And these proto-systems converge on 207 consolidated urban systems (at 50% of self-containment, see figure 9).

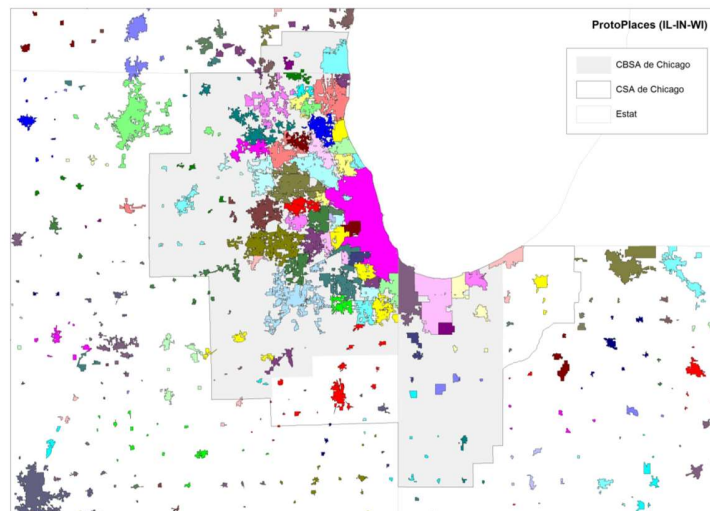
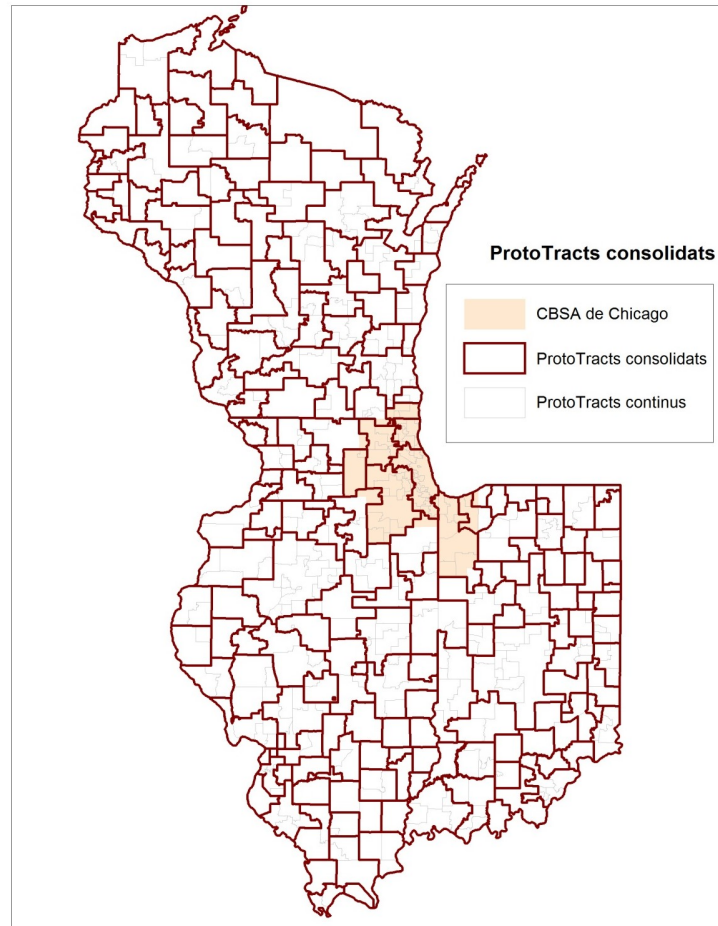


Figure 8: Proto-places near Chicago

With regard to the Metropolitan delineation, figures 10 and 11 as well as the table n. 4 show us the results for Chicago and Barcelona. The metropolitan system of Chicago closes,



to 1 per thousand of interaction value, with places..... km², and... Inhabitants (2000). The delimitation of the metropolitan area of Barcelona closes with 184 municipalities, 3,744 km² and 4.530.254 inhabitants (2001), approaching the RMB.

Figure 9: Consolidated Urban Systems (tracts)

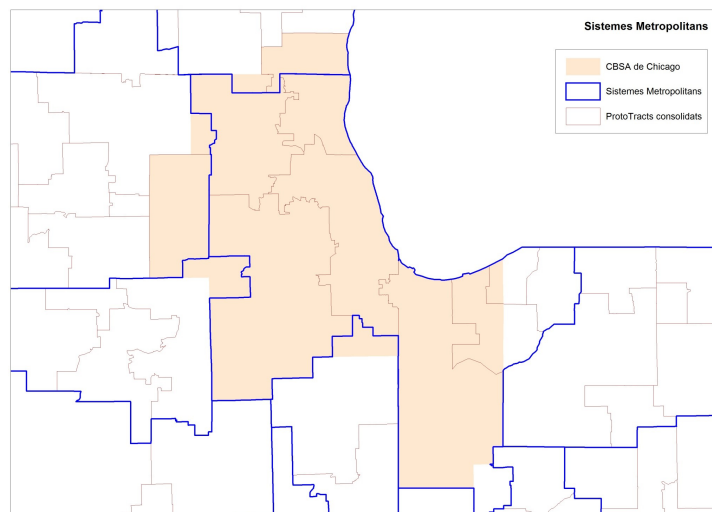
Figure 10: Metropolitan System of Chicago (Interaction Value)

Figure 11: Metropolitan System of Barcelona



Table n. 4. Metropolitan Systems of Barcelona & Chicago

Area	Artificialized Ar.	Num. Entities	Num. Proto-Systems	Num. Urban Systems	Population	Employment	Density
Chicago			66	8		4.043.206	



Barcel	3.7			4.530.2
ona	44	.	184	24
				54

4. – Conclusions

The present paper has had a dual objective. On one hand, the development of a methodology capable to define rigorously the metropolitan territory, in the age of diffusion of the urbanizations networks throughout the territory; and on the other hand, the simultaneously and integrated analysis of the internal structure of the metropolitan systems, through the identification and characterization of the subsystems that make it up.

This methodology allows, in our opinion, the identification of the artifacts that the metropolitan areas are on a more solid and stable form than other approaches. The instability of this delimitations, as a result of the different patterns of urbanization (morphological, from the analysis of the urban continuum), as same as the degree of commuting flows home-work (functional delimitations like the used by the US Census), could be retrieved from the analysis of the degree of real relation between the different base units (the places in Chicago, and municipalities in Barcelona), by using the *Interaction Value*. Assuming the *Interaction Value* of 1 per thousand, as a reference threshold, enables the comparison between metropolises, beyond the size or characteristics of them.

In this sense, it seems to be confirmed that the delimitations obtained through this methodology for two cities so different in history and structure, like Chicago (USA) and Barcelona (Spain), get close to the “real metropolitan system” of each one. The metropolitan system of Barcelona is beyond the Metropolitan Region (RMB), used in the territorial planning, including urban subsystems as Vendrell or Malgrat, with a clear metropolitan vocation. In the case of the system of Chicago, it delimits more precise than the CSA the real metropolitan ambit, excluding of this ambit urban systems characterized by a high degree of autonomy and identity that distinguishes them from the capital, that is the case of the Kankakee-Bradley County, or parts of others metropolitan systems as Kenosha, Wisconsin.

In relation to the second objective of this study, the development of a methodology able to address the analysis on the degree of monocentrism/polycentrism of the metropolises, is found that the relative inability of the classic approaches to define the real urban structure, comes from a fundamental limitation: analysis based on the spatial distribution of employment density exclusively, underestimating the role of the work forces concentrations in the generation of urban structure. The paper suggests that *is not enough to establish the existence of roughness in the pattern of densities*. It is also necessary, that these nodes represent authentic structural urban systems within the general structure of the metropolis, i.e. that the subcenters constitute real poles of influence and reference, on the territory that surrounds them in cultural, social and economic aspects; reflected in flows of functional interaction; subcenters that can configure cities within the metropolitan city making a real *city of cities*.

This is the research line which sought to deepen in the present paper through the methodology of the *Interaction Value*. This alternative methodology had allow not just identify the subcenters, as the functional units associated to them, but also understand the different metropolitan structure of Chicago and Barcelona. In this sense, breaks a reading of the territories of both cities that transcends the perspective offered by most of the specialized studies; a reading that reveals a higher degree of polycentrism in Barcelona, than in Chicago.

In sum, the study of the metropolitan systems of Chicago and Barcelona seems to confirm that the methodology of the *Interaction Value* allows the compared analysis between different urban realities (historic, social, economic or territorial) of the metropolises.

Bibliography

Anas, A., Arnott, R. and Small, K. A. (1998) Urban spatial structure, *Journal of Economic Literature*, 36, pp. 1426–1464.

Anas, A. and Kim, I. (1996) General equilibrium models of polycentric urban land use with endogenous congestion and job agglomeration, *Journal of Urban Economics*, 40, pp. 232–256.

Arellano, B. y Roca, J. (2010a) “El Urban Sprawl, ¿Un fenómeno de alcance planetario?, Los ejemplos de México y España” *Architecture, City and Environment* 2010, Año IV, núm. 12 Febrero. P. 115-147.

Arellano, B. y Roca, J. (2010b) “The Urban Sprawl: a planetary growth process? An overview” *VI Congreso Ciudad y Territorio Virtual*, UABC. Mexicali (México).

Arellano, B., Roca, J. and Queraltó, P. (2010) “The Urban Sprawl: an overview of USA, Mexico and Spain”. *Congress of the Regional Science Association*, Sweden.

Alonso, W. (1964) *Location and Land Use*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

- Bogart, W. T. and Ferry, W. C. (1999) Employment centres in Greater Cleveland: evidence of evolution in a formerly monocentric city, *Urban Studies*, 36, pp. 2099–2110.
- Boventer, E. von (1976) Transportation costs, accessibility and agglomeration economies: centers, subcenters and metropolitan structure, *Papers of the Regional Science Association*, 37, pp. 167–184.
- Burns, M., Moix, M., Roca, J. (2001): “Contrasting Indications of Polycentrism within Spain’s Metropolitan Urban Regions”, paper for the *Eighth European Estate Society Conference*, Alicante, June 26-29.
- Cerda, J. & Marmolejo, C. (2010) De la accesibilidad a la funcionalidad del territorio: una nueva dimensión para entender la estructura urbano-residencial de las áreas metropolitanas de Santiago (Chile) y Barcelona (España), *Revista de Geografía Norte Grande*, 46: 5-27.
- Cervero, R. (1989) *America’s Suburban Centers: The Land Use Transportation Link*. Boston, MA: Unwin Hyman.
- Cervero, R. and Wu, K.-L. (1997) Polycentrism, commuting and residential location in the San Francisco Bay area, *Environment and Planning A*, 29, pp. 865–886.
- CPSV (2001) *La caracterización territorial y funcional de las áreas metropolitanas españolas*, CPSV, UPC, Barcelona.
- Craig, S. G. and Ng, P. T. (2001) Using quantile smoothing splines to identify employment subcenters in a multicentric urban area, *Journal of Urban Economics*, 49, pp. 100–120.
- Erickson, R. A. and Gentry, M. (1985) Suburban nucleations, *Geographic Review*, 75, pp. 96–121.
- ETE (1999) *Estrategia Territorial Europea. Hacia un desarrollo equilibrado y sostenible del territorio de la UE*. Comisión Europea
- Fujita, M. (1988) A monopolistic competition model of spatial agglomeration: differentiated products approach, *Regional Science and Urban Economics*, 18, pp. 87–124.
- Fujita, M. and Mori, T. (1997) Structural stability and evolution of urban systems, *Regional Science and Urban Economics*, 27, pp. 399–442.
- Fujita, M. and Ogawa, H. (1982) Multiple equilibria and structural transition of non-monocentric urban configurations, *Regional Science and Urban Economics*, 12, pp. 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, pp. 519-553.
- Giuliano, G., Redfearn, C., Agarwal, A. *et al.* (2007) Employment concentrations in Los Angeles, 1980–2000, *Environment and Planning A*, 39, pp. 2935–2957.
- Gordon, P. and Richardson, H. W. (1996) Beyond polycentricity: the dispersed metropolis, Los Angeles 1970–1990, *Journal of the American Planning Association*, 62, pp. 289–295.
- Gordon, P., Richardson, H. W. and Giuliano, G. (1989) *Travel trends in non-CBD activity centers*. Report Ca-11-0032, Urban Mass Transit Administration, US Department of Transportation, Washington, DC.
- Gordon, P., Richardson, H. W. and Wong, H. L. (1986) The distribution of population and employment in a polycentric city: the case of Los Angeles, *Environment and Planning A*, 18, pp. 161–173.
- Giuliano, G. and Small, K. A. (1991) Subcenters in the Los Angeles region, *Regional Science and Urban Economics*, 21, pp. 163–182.
- Greene, D. L. (1980) Recent trends in urban spatial structure, *Growth and Change*, 11, pp. 29–40.
- Griffith, D. A. (1981a) Evaluating the transformation from a monocentric to a polycentric city, *Professional Geographer*, 33, pp. 189–196.
- Griffith, D. A. (1981b) Modelling urban population density in a multi-centered city, *Journal of Urban Economics*, 9, pp. 298–310.
- Hartwick, P. and Hartwick, J. (1974) Efficient resource allocation in a multi-nucleated city with intermediate goods, *Quarterly Journal of Economics*, 88, pp. 340–352.
- Heikkila, E., Gordon, P., Kim, J. I. *et al.* (1989) What happened to the CBD-distance gradient? Land values in a polycentric city, *Environment and Planning A*, 21, pp. 221–232.
- Henderson, J. V. and Mitra, A. (1996) The new urban landscape: developers and edge cities, *Regional Science and Urban Economics*, 26, pp. 613–643.
- Krugman, P. (1996) *The Self-organizing Economy*. Cambridge, MA: Blackwell.

- Marmolejo, C., Aguirre, C. y Ruiz, M. (2010) “¿Hacia un sistema de metrópolis españolas policéntricas?: caracterización de su estructura metropolitana” *VI Congreso Ciudad y Territorio Virtual*, UABC. Mexicali (México).
- McDonald, J. F. (1987) The identification of urban employment subcenters, *Journal of Urban Economics*, 21, pp. 242–258.
- McDonald, J. F. and McMillen, D. P. (1990) Employment subcenters and land values in a polycentric urban area: the case of Barcelona, *Environment and Planning A*, 22, pp. 1561–1574.
- McDonald, J. F. and Prather, P. J. (1994) Suburban employment centres: the case of Barcelona, *Urban Studies*, 31, pp. 201–218.
- McMillen, D. P. (1996) One hundred fifty years of land values in Barcelona: a nonparametric approach, *Journal of Urban Economics*, 40, pp. 100–124.
- McMillen, D. P. (2001) Non-parametric employment subcenter identification, *Journal of Urban Economics*, 50, pp. 448–473.
- McMillen, D. P. (2003) The return of centralization to Barcelona: using repeat sales to identify changes in house price distance gradients, *Regional Science and Urban Economics*, 33, pp. 287–304.
- McMillen, D. P. (2004) Employment densities, spatial autocorrelation, and subcenters in large metropolitan areas, *Journal of Regional Science*, 44, pp. 225–243.
- McMillen, D. P. and Lester, T. W. (2003) Evolving subcenters: employment and population densities in Barcelona, 1970–2020, *Journal of Housing Economics*, 12, pp. 60–81.
- McMillen, D. P. and McDonald, J. F. (1997) A nonparametric analysis of employment density in a polycentric city, *Journal of Regional Science*, 37, pp. 591–612.
- McMillen, D. P. and McDonald, J. F. (1998) Suburban subcenters and employment density in metropolitan Chicago, *Journal of Urban Economics*, 43(2), pp. 157–180.
- Múñiz, I., Galindo, A. and García-López, M. A. (2003) Cubic spline density functions and satellite city delimitation: the case of Barcelona, *Urban Studies*, 40, pp. 1303–1321.
- Redfean, C. L. (2007) The topography of metropolitan employment: identifying centers of employment in a polycentric urban area, *Journal of Urban Economics*, 61, pp. 519–561.

- Roca, J. (2003) La delimitación de la ciudad ¿una cuestión posible?, *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*, XXXV (135), pp. 17-36.
- Roca, J.; Marmolejo, C and Moix, M. (2009) “Urban Structure and Polycentrism: Towards a redefinition of the Sub-centre concept”, *Urban Studies*, 46(13) 2841–2868.
- Roca, J. and Moix, M. (2005) The interaction value: its scope and limits as an instrument for delimiting urban systems, *Regional Studies*, 39, pp. 359–375.
- Muth, R. F. (1969) *Cities and Housing*. Barcelona, IL: University of Barcelona Press.
- Odland, J. (1978) The conditions for multi-center cities, *Economic Geography*, 54, pp. 234–244.
- Ogawa, H. and Fujita, M. (1980) Equilibrium land use patterns in a nonmonocentric city, *Journal of Regional Science*, 20, pp. 455–476.
- White, M. J. (1976) Firm suburbanization and urban subcenters, *Journal of Urban Economics*, 3, pp. 323–343.

Introduction

Polycentrism has emerged as a new reality in many metropolitan areas. The topic is of obvious interest because a perfect polycentric system would offer the two major economic advantages of urban systems: the presence of agglomeration economies, which result in increasing returns for companies, and a potential reduction of transport costs (including time), which lead to a reduction in salaries and land rent (McMillen & Smith, 2003; McMillen, 2003; McDonald, 2009). In literature the hegemonic family of sub-centre identification is based on the analysis of density. Huge efforts have been devoted to achieving statistically robust models of employment density, but very little attention has been paid to the conceptualization of polycentrism itself. This paper makes a call for a more integrated approach to the delimitation of sub-centres and urban systems. This approach allows for the identification of hierarchical and diffuse interactions, characteristic of the internal structuring of metropolitan areas and urban systems. This paper seeks to extend the definition of a sub-centre beyond the usual definition as a place with significantly larger employment density that has an effect on the overall employment density of the nearby locations. Together with the previous conditions, it is suggested that it is necessary to include another which represents a structural element of an urban sub-system within the metropolitan configuration; that is, a place with intense spatial interaction with its hinterland. Therefore, a metropolitan area can be seen as one comprising urban sub-systems characterised by greater or lesser polycentrism.

In this paper, a 'bottom-up' methodology based on commuter flows is proposed in order to detect metropolitan areas and sub-centres. It is primarily concerned with the theoretical and practical interest of the concept of the interaction value, as a means to identify metropolitan and urban systems based upon patterns of commuting for employment purposes. Using empirical data from the US Census data, the proposed methodology is tested, comparing its results with those of other commonly used methodologies (cut-offs, parametric and non-parametric models).

The results suggest that the proposed methodology permits optimising the metropolitan areas and sub-centre delimitation process.

4

El Urban Sprawl a escala mundial. Una aproximación a partir de las luces nocturnas

CAPÍTULO IV

EL URBAN SPRAWL A ESCALA MUNDIAL. UNA APROXIMACIÓN A PARTIR DE LAS LUCES NOCTURNAS

En este capítulo se presentan las aportaciones relacionadas con el análisis del *proceso de Urban Sprawl a escala mundial a partir de la explotación y análisis de las luces nocturnas*. La continuidad de la urbanización es una de las aproximaciones clásicas para la identificación de los sistemas urbanos y metropolitanos, y en este sentido la información suministrada por los sensores satelitales es una oportunidad única para el estudio y conocimiento del proceso de urbanización de los siglos XX y XXI. En este capítulo de la tesis se partirá de la hipótesis de que dicha información permite conocer el fenómeno urbano a escala mundial, detectando el cambio de escala producido en la urbanización con el surgimiento de nuevas estructuras urbanizadas, así como evaluar el Urban Sprawl a escala planetaria.

Se compone de 4 aportaciones, que desarrollan el *análisis de los sistemas urbanos mediante la identificación de las luces nocturnas*. La introducción de dicha metodología para el estudio del fenómeno urbano fue introducida por los trabajos seminales de Elvidge et al (2001)¹, Cinzano et al (2001)², y Florida et al (2008)³, entre otros muchos, en los cuales se muestra la utilidad de la información suministrada por las luces nocturna para el análisis de la urbanización a escala mundial. Dichas aportaciones son las que se relacionan a continuación:

10. **Las megaestructuras urbanas del siglo XXI: un ensayo para la identificación y caracterización de las megalópolis.** Artículo publicado en *Architecture, City and Environment*. 2014, 9 (25): 127-158, 2014. Doi: 10.5821/ace.9.25.3963.
11. **Landscapes impacted by light.** Artículo publicado en *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLI-B8, 2016, resultante de una ponencia presentada en el XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic.
12. **Defining urban and rural areas: a new approach.** Ponencia presentada en el congreso de SPIE Remote Sensing, 2017, Warsaw, Poland, y publicado en *Proc. SPIE 10431, Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments II, 104310E (4 October 2017)*; doi: 10.1117/12.2277902.
13. **The urbanization impact in China: A prospective model (1992-2025).** Ponencia presentada en el congreso SPIE Optical Engineering + Applications, 2018, San Diego, California, United States y publicado en *Proc. SPIE 10767, Remote Sensing and Modeling of Ecosystems for Sustainability XV, 107670A (18 September 2018)*; doi: 10.1117/12.2321267.

¹ Elvidge, C.D. *et al* (2001). Night-time lights of the world: 1994-1995. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote sensing*, 56: 81-99, 2001.

² Cinzano, P. *et al* (2001). The first World Atlas of the artificial night sky brightness. *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 328: 689-707, 2001.

³ Florida, R. *et al* (2008). The rise of the mega-region. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 1: 459-476, 2008.

Dichas aportaciones suministran 12 puntos según lo dispuesto en la Normativa para la presentación de Tesis Doctorales según Compendio de Publicaciones del Programa de Doctorado de Gestión y Valoración Urbana y Arquitectónica (PD GVUA), aprobado por la Comissió Permanent de l'Escola de Doctorat de la UPC el 19/07/2019 (Acord núm 2 CP2019/7/19), así como 28 citas, según Google Scholar.

El primer trabajo (décima aportación) representa *la aplicación generalizada de la metodología de las luces satelitales para el estudio de las megalópolis a escala mundial*; dicha aportación identifica de forma rigurosa ese nuevo artefacto urbano que son las megaregiones urbanas, como nueva fase del desarrollo de la urbanización. El segundo (onceava aportación) desarrolla la metodología anterior para *el estudio de los sistemas urbanos y metropolitanos*, igualmente a escala mundial; su principal novedad, además de desarrollar una herramienta útil para la identificación de las metrópolis desde la perspectiva de la continuidad de la urbanización, consiste en identificar los principales *paisajes urbanos*: centros compactos, periferias caracterizadas por un elevado grado de Sprawl, tejidos rurbanos, y espacios rurales. El tercer trabajo (duodécima aportación) se dirige a presentar una *nueva metodología para la definición, a partir de las luces nocturnas, de las áreas urbanas y rurales*, superando la simple aproximación "administrativa" usada por las Naciones Unidas. Metodología que, además, tiene la virtud de poder ser aplicada a escala sub-nacional. Finalmente, el cuarto trabajo (decimotercera aportación), representa una aplicación de la información de las luces nocturnas suministrada por el sensor DMSP-OLS para el *análisis del proceso de urbanización en China entre 1992 y 2012*, así como una estimación prospectiva hasta 2025.

Así, por tanto, los tres primeros trabajos aportan una metodología para el análisis del proceso de urbanización a escala mundial, identificando los sistemas urbanos, metropolitanos y megalopolitanos, las diferentes formas, o "paisajes", que éstos adoptan a escala mundial, diferenciando las áreas centrales, caracterizadas por una mayor compacidad, de las periferias del Urban Sprawl, así como de las áreas rurbanas y rurales. Mientras que el último representa un ejercicio de "caso", mediante la aplicación de dicha metodología a China.

4.1. Las megaestructuras urbanas del siglo XXI: un ensayo para la identificación y caracterización de las megalópolis.

La décima aportación, es el artículo publicado en *Architecture, City and Environment*. 2014, 9 (25): 127-158, 2014 (doi: 10.5821/ace.9.25.3963) por Blanca Arellano y Josep Roca. Su índice de impacto SJR era, en 2014, de 0,164, correspondiendo al 2º cuartil de *Architecture*, aportando, por tanto, 3 puntos a los efectos de la Normativa de Tesis Doctorales por Compendio de Publicaciones del PD GVUIA. Como indicio de calidad adicional, cabe indicar *ha recibido 7 citas según Google Scholar*, habiendo recibido 800 descargas.

Esta aportación, además, ha generado 2 ponencias en congresos internacionales:

- *Un ensayo para la delimitación de las megalópolis*. Ponencia presentada en el 9º Congreso de Ciudad y Territorio Virtual, celebrado en Roma los días 2, 3 y 4 de octubre de 2013.
- *Megalopolis: an assay for the identification of the world urban mega-structures*. Ponencia presentada en el 55th Congress of the European Regional Science Association: "World Renaissance: Changing roles for people and places", 25-28 August 2015, Lisbon,

Portugal. Publicación que ha recibido 2 citas. Los congresos de ERSA son considerados notables por la UPC.

La contribución seleccionada en décimo lugar aborda *uno de los elementos paradigmáticos del proceso urbanizador contemporáneo: la irrupción de las megalópolis*. Si a lo largo del Siglo XX se produjo el desbordamiento de los límites municipales, y la generación subsecuente de las metrópolis, a partir del último cuarto del siglo pasado se produjo un *nuevo cambio de escala* en el proceso urbanizador: la superación de las metrópolis y la generación de un nuevo artefacto urbano jamás antes visto, la metrópolis de metrópolis, las áreas megalopolitanas.

Paradójicamente, el gran impulso urbanizador producido en las siete primeras décadas del siglo pasado parecía haber llegado a su límite. En Europa y América del Norte la expansión urbana pareció evidenciar signos de aparente agotamiento. Primero fueron los grandes centros metropolitanos los que empezaron a perder población, pero, más adelante, fueron las metrópolis enteras las que denotaron síntomas de desaceleración del crecimiento, que llegó a ser negativo en algunos casos. Las estructuras urbanas forjadas a raíz de la revolución industrial del siglo XIX, y caracterizadas por la concentración de la industria y por las migraciones campo/ciudad, parecieron entrar en crisis. Desde esta perspectiva buena parte de los especialistas del fenómeno urbano (especialmente desde el ámbito de la geografía) llegaron a afirmar que el concepto ciudad había devenido obsoleto; de fuente de progreso y desarrollo, las ciudades se habrían convertido en estructuras gigantescas cada vez menos eficientes. De las economías de aglomeración habríamos pasado a las economías de desaglomeración (Krugman, 1996⁴).

En este contexto, la literatura especializada desarrollada en los años 70 y 80 puso de relieve como la suburbanización, iniciada en el último tercio del siglo XIX y generalizada a lo largo del siglo XX por medio del fenómeno del Urban Sprawl, había sido el comienzo de un proceso que conduciría, primero, a la descentralización relativa de las metrópolis (el mayor crecimiento de las periferias que el de los centros), más adelante a la descentralización absoluta (la caída en población de los centros frente al crecimiento de las periferias) y, finalmente, a lo que algunos autores denominaron contraurbanización (Berry, 1976⁵), desurbanización (Berg, 1982⁶) o rurbanización (Bauer y Roux, 1976⁷), es decir, a la caída demográfica y al agotamiento de las metrópolis. El último tercio del siglo XX habría iniciado, por tanto, para reconocidos autores, la superación de los viejos conceptos heredados históricamente que denominamos ciudad (como opuesta al campo), centro, periferia o, incluso, área metropolitana, los cuales habrían devenido obsoletas.

Dicho proceso fue claramente reinterpretado en la literatura iniciada en los 90. En el artículo aquí presentado se pone de relieve como la urbanización masiva de los territorios rurales resultante del Urban Sprawl no ha dejado lugar a duda acerca de la plena vigencia del proceso urbanizador, el cual no sólo no se habría visto frenado, sino que al contrario habría llegado a su paroxismo en las últimas décadas del siglo pasado. En este contexto, nuevos términos habrían sustituido la primigenia interpretación contraurbanizadora: ciudad difusa, periurbanización, ciudad red, metápolis, o edge cities. Conceptos, todos ellos, que anunciaban no la caída sino el inicio de una nueva era del proceso urbanizador. Nueva era en la que, si bien habría decaído el paradigma de la ciudad fordista, y aún el del área metropolitana convencional (monocéntrica),

⁴ Krugman, P.R. (1996). *The Self Organizing Economy*. Blackwell Publishers.

⁵ Berry, B. (1976). *The Counterurbanization Process: Urban American since 1970*. *Urbanization and Counterurbanization*, Beverly Hills, Sage.

⁶ Van den Berg, L. (1982). *Urban Europa: A study of Urban Growth and Decline*. Pergamon, Oxford.

⁷ Bauer, G. & Roux, J.M. (1976). *La rurbanization, ou la ville éparpillée*. París, Ed. du Seuil.

habrían irrumpido nuevas formas y artefactos urbanos que no sólo habrían confirmado la vitalidad del proceso urbanizador, sino la generalización del mismo a escala regional. Desde el último tercio del siglo XX se habría hecho evidente un *verdadero cambio de escala en la urbanización*.

La contribución seleccionada sostiene que, desde la perspectiva actual, no se puede interpretar lo sucedido en las estructuras postfordistas como una desaceleración, descomposición incluso, de la urbanización⁸. Muy al contrario, estaríamos en una nueva fase de ésta. Fase en la que las ciudades resultantes de la revolución industrial no sólo habrían devenido áreas metropolitanas, sino que éstas, en un continuo cambio de escala, habrían visto emerger estructuras más y más extensas, que algunos autores han denominado megaciudades, regiones urbanas, ciudad-región, mega-ciudades regionales, regiones y metrópolis policéntricas o, más escuetamente, megalópolis. *La telaraña de urbanización generada por el urban sprawl representó el elemento decisivo para la interconexión de las áreas metropolitanas, aisladas antes por vastos espacios abiertos, en estructuras cada vez más extensas, generando las semillas del ulterior proceso megalopolitano.*

Es sin duda a Gottmann (1961) a quien debemos el trabajo seminal en torno al cambio de escala producido en la urbanización⁹: las megalópolis, entendidas éstas como los grandes sistemas urbanos polinucleares caracterizados por una continuidad e interconexión suficientes entre ellos como para ser considerados un sistema en sí mismo. Para Gottmann la esencia de las megalópolis se encontraría en su carácter polinuclear, pero asimismo sería determinante la existencia de un (o varios) eje(s) estructurantes del sistema. En esas aglomeraciones gigantescas, de más de 25 millones de habitantes, densamente pobladas, se articularían una red de ciudades, con sus respectivos hinterlands de influencia, así como de áreas metropolitanas adyacentes, interconectadas por una red de relaciones entre los distintos centros urbanos.

El artículo seleccionado como aportación décima, desarrolla en detalle la literatura académica sobre las megalópolis, poniendo el acento en los trabajos más recientes, que han venido a reconciliar el análisis de la globalización (que pone el acento la jerarquía y los flujos planetarios de bienes, personas e información) con el análisis territorial, del que deriva la noción de megalópolis. Tal vez sea Richard Florida (2008)¹⁰ quien haya ido más lejos en ese enlace conceptual entre globalización y megalopolitanización. Florida ha insistido en que el análisis de la economía mundial ya no puede realizarse en los términos convencionales, de competencia e interacción entre naciones-estado. Las ciudades, más específicamente las mega-regiones urbanas, serían el escenario actual de esa competencia e interacción económica mundial. Las megalópolis están integradas por conjuntos de ciudades y sus correspondientes hinterlands suburbanos, en las cuales capital y trabajo pueden relocalizarse a bajo coste. En la economía globalizada, por tanto, la localización, el territorio, la concentración de actividades económicas, continúa siendo relevante, ocupando las mega-regiones urbanas el papel que antaño tuvieron los estados.

⁸ Para un análisis de la crisis de la ciudad fordista, véase el artículo de López Busto, A. & Arellano, B. (2018). Shrinking cities. El caso aplicado de Ferrol. *Architecture, City and Environment*, 13 (38): 263-286. DOI: <http://dx.doi.org/10.5821/ace.13.38.6479>. Ferrol, como Detroit y otras muchas ciudades, es un ejemplo de ciudad fordista en crisis. En algunos casos, por tanto, la crisis de la ciudad industrial, sí ha generado un proceso de shrinkage, de desurbanización.

⁹ Gottmann, J. (1961). *Megalopolis: the urbanized northeastern seaboard of the United States*. New York, Twentieth Century Fund.

¹⁰ Florida, R. et al (2008). The rise of the mega-region. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 1: 459-476.

Una vez analizado el concepto de megalópolis, así como su reflejo en la planificación territorial realizada a la gran escala en Estados Unidos y Europa, el artículo seleccionado repasa las diferentes metodologías empleadas para la identificación y delimitación de las áreas megalopolitanas:

- Se analiza la *aproximación "geográfica-funcional"*, de naturaleza funcional, cualitativa, como yuxtaposición de áreas metropolitanas, basadas en el contacto, coalescencia y solapamiento de ámbitos funcionales metropolitanos; de esta manera las áreas metropolitanas se convertirían en las piezas básicas constituyentes de la gran aglomeración.
- Se analiza, asimismo, una segunda aproximación para la definición de las megalópolis: el análisis de los *patrones espaciales de la densidad de los asentamientos humanos*. Si la urbanización se caracteriza, respecto al entorno rural, por la concentración de la población y de la actividad económica, entonces la densidad puede representar un eficaz mecanismo de evaluación del fenómeno urbano. La densidad representa una medida sintética del grado e intensidad de los asentamientos humanos, así como del conjunto de interacciones que los mismos generan. Densidades superiores de media a los 250 habitantes por km² marcarían, para Gottmann, la frontera para la delimitación de las grandes aglomeraciones regionales urbanas.
- La tercera de las metodologías desarrolladas en la literatura especializada, *la aproximación morfológica, pone el acento en la continuidad de la urbanización*, materializada, principalmente, a partir de ejes estructurantes de comunicación. Es en esta concreta perspectiva que *las imágenes nocturnas obtenidas mediante teledetección, representan un camino alternativo para la definición de las megalópolis, y en general de los sistemas urbanos y metropolitanos*. Para Florida (2008) la delimitación de las megalópolis puede ser realizada mediante el análisis de las luces nocturnas, generando patches continuos iluminados separados por 2 km. Dicha información, obtenida a partir del Earth Observation Program del NOAA's, unida a la población espacialmente distribuida facilitada por LandScan (facilitada por el Oak Ridge National Laboratory) así como a la actividad económica (light-based regional product), permite la obtención de las principales mega regiones urbanas mundiales.
- Finalmente, cabe mencionar una última aproximación para de identificación de las megalópolis: *la metodología cualitativa basada en el conocimiento local*. Dicha aproximación, que sin duda es la más utilizada en la literatura especializada, no es el resultado de una metodología cuantitativa concreta, sino que responde a una visión intuitiva, basada en el conocimiento profesional de los planificadores urbanos.

Cabe concluir, en relación al estado del arte relativo a la delimitación de las megaciudades mundiales, la enorme dificultad de aprehender en una metodología integrada la identificación de un fenómeno tan complejo como es el cambio de escala producido en los procesos de urbanización en los albores del siglo XXI. Complejidad morfológica, funcional, económica, social y ambiental que no parece pueda ser sintetizada mediante un sistema sencillo de indicadores que permitan la identificación y delimitación precisa de las macroregiones urbanas mundiales. Ello no obstante, el artículo seleccionado como décima aportación se inscribe en la línea de que las imágenes satelitales, especialmente las derivadas de las luces nocturnas, representan la aportación más útil en el camino planteado.

La contribución seleccionada desarrolla una metodología propia, inspirada en el trabajo de Florida (2008). La publicación en 2013, por la NASA, de *black marble*¹¹, antesala de la base de datos SNPP-VIIRS, permitió superar de forma acusada la resolución de la anterior fuente de información DMSP-OLS, usada por Florida en el análisis de los sistemas megalopolitanos¹².

La metodología desarrollada en el artículo estableció, después de diversas comprobaciones a escala regional, la *intensidad de luz 64*, en una escala de 256 niveles (de 0 a 255)¹³, el nivel de luz para identificar las megalópolis. Los contornos de luz de black marble (relativos a imágenes adquiridas en 2012) con intensidad igual o superior a 64 permitieron identificar los *continuos iluminados del planeta* de carácter urbano, los cuales se fueron agregados en estructuras más grandes cuando existía contigüidad por vértice, o separación de un píxel como máximo. La megalópolis de Washington-Baltimore-Philadelphia-New York-Boston, sirvió de referencia cualitativa para evaluar la adecuación de la citada metodología.

La aplicación de la citada metodología permitió la identificación de 444.502 áreas pobladas iluminadas (intensidad 64). 433 de esas áreas iluminadas alcanzaron una población superior al millón de habitantes, concentrando 2.537 millones de habitantes, un 37,8% de la población del planeta. De esas 433, 92 superaron los 5 millones, representando las *semillas de las estructuras megalopolitanas*.

Para la delimitación de las megalópolis se seleccionaron, en el trabajo aquí presentado, los continuos iluminados con una intensidad igual o superior a 64, con una población estimada (LandScan¹⁴) superior a 15 millones de habitantes: a finales de la primera década del Siglo XXI existían 30 estructuras de ese tipo, que denominamos *proto-megas*, las cuales alcanzaban una población de 1.298.757.300 habitantes. Dichas proto-megas se unieron a los contornos iluminados existentes en su entorno (a una distancia igual a 1 píxel) generando las mega-estructuras que en el trabajo seleccionado denominamos megalópolis, si la población superaba los 20 millones de habitantes.

Finalmente se identificaron 26 megalópolis. Asia acumula 18 de esas grandes aglomeraciones: 2 transnacionales (India-Pakistán e India-Bangladesh), 5 en India, 6 en China (5 en el continente y 1 en Taiwán), y 1 en Japón, Indonesia, Corea, Filipinas y en el Oriente Medio. A continuación, tanto América (4 aglomeraciones) como Europa (3 aglomeraciones) y África (1 aglomeración), evidencian una geografía de las megalópolis de carácter planetario.

Los resultados del trabajo muestran que seis de esas megalópolis destacan por su extraordinaria magnitud demográfica, con una población superior a 75 millones de habitantes. Componen lo que podríamos denominar la premier league de las aglomeraciones urbanas mundiales. Todas ellas localizadas en Asia, con la sola excepción de una africana. La aglomeración Indio-Pakistaní, la Isla de Java, el Delta del Yang Tse, la isla de Hokaido, el Nilo y Beijing. Ninguna megalópolis europea o americana entre esos gigantes.

¹¹ La descarga, desde la página web de la NASA, permitió la obtención de una imagen georeferenciada de 384 Mb, y 54.000 columnas y 27.001 filas y una resolución de 0,00667 grados por píxel. La delimitación, por tanto, era potencialmente mucho más precisa que la realizada en trabajos anteriores por Elvidge, Cinzano y Florida, que utilizaron imágenes con una resolución mucho menor (30 segundos arco por píxel).

¹² Véase el capítulo 5 de esta tesis para un análisis detallado de las bases de datos relativas a las luces nocturnas de la Tierra.

¹³ La resolución radiométrica de black marble es de 8 bits.

¹⁴ ORNL. Oak Ridge National Laboratory. Landscan [en línea] Fecha de consulta: 23 de junio de 2014. Disponible en: <<http://web.ornl.gov/sci/landscan/>>. 2012.

Frente a estos gigantes aparece un segundo grupo de megalópolis que viene encabezado por la gran aglomeración urbana del centro de Europa, que desde Bruselas se extiende al Ranstad holandés, el Rhin-Ruhr, Estrasburgo y Stuttgart. Europa completa su presencia con la megalópolis inglesa (de Londres a Cardiff y Bristol por una parte, y Birmingham, Sheffield, Manchester, Liverpool y Leeds, por otra), en el catorceavo lugar, y la gran aglomeración del norte de Italia, que se extiende desde Milán a Venecia, en el veintiunavo. Por lo que respecta a América, la megalópolis por excelencia, la del Noreste de USA (Boston – New York – Filadelfia – Baltimore – Washington), no aparece sino hasta el décimo lugar del ranking, precedida por las dos grandes estructuras chinas de Zhengzhou-Xian y Pearl River (ésta última con el aglomerado Hong Kong - Cantón - Macao). El resto de megalópolis americanas se reduce al otro gran gigante urbano que es la aglomeración en torno a la ciudad de México, que no aparece sino hasta el quinceavo lugar, relegando a Sao Paulo - Santos al decimoséptimo, y a la otra gran aglomeración norteamericana de Los Ángeles— San Diego – Tijuana (South California), que es la penúltima de las 26 megalópolis obtenidas en el trabajo seleccionado para esta tesis. Asia, por último, acumula mayor parte del resto de megalópolis, en las que aparecen estructuras como Uttar Pradesh, Calcuta, Bombay, Manila o Dakha, entre otras. Asia consolida, por tanto, en este nuevo concierto mundial que representan las megalópolis, con lugar de relevancia, no sólo apareciendo como grandes urbes (lo que podríamos llamar mega-ciudades), sino como estructuras progresivamente complejas que alcanzan regiones y aún estados colindantes.

Las principales aportaciones de la contribución aquí presentada consisten, por tanto:

- Primero de todo, constatar el *cambio de escala producido por la urbanización a nivel mundial*. Si el Siglo XX fue el siglo de las metrópolis, el Siglo XXI es el de dominio de esos gigantes de la urbanización que son las megalópolis. El concepto de megalópolis, anticipado por Gottmann en 1961, y que fue objeto de amplio debate y controversia, es hoy un hecho indiscutido. Un fenómeno que alcanza todos los continentes, y que tienen en Asia su centro de gravedad.
- Constatar, asimismo, el manifiesto error en que cayeron la mayor parte de los trabajos académicos desarrollados en los años 70 y 80, provenientes principalmente de la geografía urbana, relativo al “agotamiento” de la urbanización en el mundo. El espejismo generado por la crisis del petróleo llevó a esos (excelentes) investigadores a proclamar que se había entrado en una nueva fase del desarrollo humano basado en la contraurbanización (Berry, 1976) o en la desurbanización (Berg, 1982). *La urbanización, lejos de detenerse, o agotarse, alcanzó en el último cuarto del siglo pasado y en el primer quinto del siglo presente, una intensidad nunca antes alcanzada.*
- A ello contribuyó, sin duda, la *extensión del fenómeno del Urban Sprawl a escala planetaria*. El crecimiento de la urbanización a un ritmo muy superior al aumento demográfico, la proliferación de la urbanización de baja densidad en Europa y América del Norte, el desarrollo “infinito” de las periferias en (la mal llamada) América “Latina”, Asia y África, así como el surgimiento y auge del “ex-Urban Sprawl” (la rurbanización) han representado alguno de los elementos determinantes del citado cambio de escala de la urbanización a nivel mundial.
- Finalmente, cabe destacar otra de las principales aportaciones de la contribución seleccionada: la *plena validez de las luces nocturnas para el análisis del proceso de megalopolitanización*. Las megalópolis pueden ser analizadas gracias a la información suministrada por los sensores satelitales de la radiación nocturna generada por la iluminación artificial. Queda por dilucidar si las luces nocturnas permiten analizar los

sistemas urbanos y metropolitanos, así como la estructura interna de los mismos. A ello se dedicarán las contribuciones que se presentan a continuación.

4.2. Landscapes impacted by light

La undécima aportación, **Landscapes impacted by light**. Artículo publicado en *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLI-B8, 2016, resultante de una ponencia presentada en el XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic. Como indicador de calidad hay que indicar que con SJR de 0,253¹⁵, se situaría en el segundo cuartil tanto de *Architecture*, como de *Urban Studies*¹⁶. Aporta, por tanto, 3 puntos a los efectos de la Normativa de Tesis Doctorales por Compendio de Publicaciones del PD GVUIA. Dicha aportación ha recibido 6 citas según Google Scholar.

Esta contribución se ha presentado en dos congresos internacionales. Concretamente estas aportaciones vinculadas han sido:

- *Metropolitan Sprawl*. Ponencia presentada en European Regional Science Association Congress (Congreso notable UPC). "ERSA 55th Congress: World renaissance: changing roles for people and places". Lisbon: The European Regional Science Association, 2015, p. 1-39. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/84517>.
- *Global Urban Sprawl*. Ponencia presentada en la XLI Reunión de Estudios Regionales AECR: International conference on regional science: innovation and geographical spillovers: new approaches and evidence. Reus: Universitat Rovira i Virgili, 2015, p. 1-25. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/84571>.

La aportación seleccionada en undécimo lugar *aborda el complejo problema de identificar por medio del análisis de las luces nocturnas los paisajes urbanos a escala planetaria*. Dicha contribución representa un paso adelante en relación a la precedente. Su objetivo no se limita a cuantificar el alcance del fenómeno megalopolitano, sino a tipificar las diferentes tipologías de áreas urbanizadas (pueblos, ciudades o áreas metropolitanas), así como a identificar los distintos "paisajes" ("rurales", "rurbanos", "periurbanos" y "centrales") que conforman los asentamientos humanos.

La investigación que aquí se resume, se basa en las siguientes preguntas clave: ¿cómo identificar la urbanización?, ¿cómo medirla?, ¿es útil utilizar luces nocturnas para medir el grado de urbanización?, ¿es posible definir un método unificado para delimitar áreas urbanizadas a escala mundial utilizando imágenes de luz nocturna? Además, los otros tipos de paisajes humanos, ¿podrían entenderse mediante el estudio de las imágenes nocturnas? ¿Cómo se pueden clasificar esos paisajes?

¹⁵ En la actualidad (2020, https://publications.copernicus.org/services/journal_metrics.html, consultado 28/12/2021), Archives tiene un SJR de 0,264, y un CiteScore de 1,6. Para 2016 el SJR era de 0,253 (<https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=21100248929&tip=sid&clean=0>. Consultado el 28 de diciembre de 2021).

¹⁶ The Archives are listed in the ISI Conference Proceedings Citation Index (CPCI) of the Web of Science, SCOPUS, the E/I Compendex, and the Directory of Open Access Journals (DOAJ). (<https://www.isprs.org/publications/archives.aspx>. Consultado 28/12/2021).

El gradual desarrollo de los procesos de urbanización a escala mundial ha devenido, como se ha venido insistiendo de forma reiterada en esta tesis, uno de los paradigmas que han caracterizado el desarrollo urbano desde la segunda mitad del Siglo XX. Sin embargo, no existe un consenso unánime acerca de qué significa "urbanización". La pluralidad de formas de asentamiento humano en el planeta dificulta identificar los procesos de urbanización. Esta dificultad conduce a la ausencia de una base de datos global que permita estudios comparativos de los procesos de urbanización a nivel mundial¹⁷.

Dado que la llegada de la electrificación a casi todos los rincones del planeta es un hecho corroborado¹⁸, además de ser el primer y más significativo indicador de artificialización del suelo, la contribución undécima asume que las imágenes satelitales de luces nocturnas pueden proporcionar una información valiosa para la identificación de paisajes humanos, tales como las áreas rurales y urbanizadas¹⁹. Los paisajes "oscuros" ciertamente están relacionados con los asentamientos rurales. En cuanto a los paisajes "iluminados", las luces nocturnas identifican claramente áreas del mundo caracterizadas por una elevada artificialización humana. Para ello, la investigación desarrolla, en primera instancia, una metodología a fin de detectar las áreas urbanizadas (Áreas Altamente Impactadas por la Luz, AHIL), identificando y segmentando, también, los asentamientos centrales (compactos) y periurbanos (dispersos). En segundo lugar, y con la finalidad de detectar los paisajes rurales (o Áreas de Bajo Impacto de Luz, ALIL), el trabajo publicado en Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, establece el umbral, por debajo del cual no puede sostenerse que exista propiamente urbanización. Por último, se analizan patrones intermedios de ocupación humana del territorio, como el Ex-Urban Sprawl o los paisajes rurbanos.

En cuanto a la metodología empleada, la contribución undécima parte de la misma información que el artículo sobre las megalópolis anteriormente presentado: la información de las luces nocturnas suministradas por la NASA para 2012, black marble. Tiene, por tanto, una resolución radiométrica de 8 bits (en una gama de "grises" de 0 a 255), así como una resolución espacial de 0,00667 grados por píxel.

Dicha metodología tiene dos pasos claramente diferenciados:

- Por un lado, determinar los umbrales de intensidad de luz que identifican los paisajes humanos objeto de estudio (centrales-compactos, periféricos-dispersos, rurbanos y rurales).
- Y por otro, una vez obtenidos los diferentes contornos clasificados en función a la intensidad de luz, obtener la población de los mismos, cruzándolos con la base de datos de población de LandScan (véase nota a pie de página n. 14 de este capítulo).

La identificación de los diferentes umbrales de intensidad de luz implicó:

¹⁷ Hay que subrayar que la afirmación de que no existe una base de datos que, a escala mundial, permita el estudio del proceso urbanizador representa el estado de la cuestión en los años 2015-2016 en que fue redactado el trabajo aquí presentado. Posteriormente se han sucedido diversos intentos para subsanar dicho vacío, tal como se pondrá de relieve en capítulo siguiente.

¹⁸ De forma paralela al trabajo aquí presentado, se realizó un estudio pormenorizado del alcance de la electrificación a nivel mundial. Cabe destacar que sólo en determinados países africanos la metodología propuesta de identificar los paisajes urbanos por medio de las luces nocturnas, podría infravalorar el fenómeno urbanizador.

¹⁹ Véase la contribución n. 12 para profundizar en la aplicación de la metodología de las luces nocturnas para la estimación de las áreas urbanas a escala mundial.

1. *Identificar, en primera instancia, las áreas urbanizadas*, entendidas éstas como las Áreas Altamente Impactadas por la Luz, AHIL. Este primer umbral, por tanto, habría de permitir identificar los procesos de elevada urbanización. Para ello se realiza una regresión logística con las áreas urbanas de EE. UU. (UA)²⁰ como variable dependiente y la intensidad de la luz nocturna como variable explicativa. La *regresión logística*, ajustada para 18 millones de puntos (3.6% de los cuales corresponden a UA y el resto a áreas rurales), permite establecer *un nivel de 164 intensidad lumínica nocturna* (en la ya referida escala de grises de cero a 255 niveles de intensidad) para la determinación de las AHIL. El modelo así desarrollado obtiene un 86,4% de efectividad para explicar el patrón de las AU en USA.

2. Por su parte, la *delimitación de los centros y periferias* de las aglomeraciones urbanas se realizó fijando un umbral de intensidad lumínica nocturna que permitiese la inclusión de la mayoría de los centros y subcentros, definidos éstos como las localidades con una población superior a 50.000 habitantes (según criterio de la Oficina del Censo de EE. UU. para identificar los centros metropolitanos). Para el caso de EE.UU. dicho umbral corresponde aproximadamente a una *intensidad de luz de 230*²¹. Así, por tanto, *las periferias correspondieron a los niveles de intensidad entre 164 y 230, mientras que los centros a intensidades superiores a 230*.²²

3. Una vez identificadas las zonas urbanizadas, o AHIL, el paso siguiente representó delimitar *las zonas rurales*, o ALIL, caracterizadas por un nivel de iluminación nocturna de baja intensidad. Para ello, se estableció el umbral por debajo del cual existía

²⁰ El concepto de Áreas Urbanas (UA) utilizado en el trabajo publicado en Archives corresponde a la definición realizada en el Census Bureau de USA: "an urban area will comprise a densely settled core of census tracts and/or census blocks that meet minimum population density requirements, along with adjacent territory containing non-residential urban land uses as well as territory with low population density included to link outlying densely settled territory with the densely settled core. To qualify as an urban area, the territory identified according to criteria must encompass at least 2,500 people, at least 1,500 of which reside outside institutional group quarters. The Census Bureau identifies two types of urban areas: a) Urbanized Areas (UAs) of 50,000 or more people; b) Urban Clusters (UCs) of at least 2,500 and less than 50,000 people" (US Census Bureau, 2010). Para el Censo de 2010 el Census Bureau identificó 3.573 UA en USA, con una población de 308.745,538 habitantes (un 80,7% del total de población de los Estados Unidos).

²¹ Umbral que corresponde, asimismo, al natural break más elevado, en una división en 5 clases de la intensidad de luz de las áreas urbanizadas.

²² Sin duda uno de los puntos críticos de la investigación desarrollada es utilizar el patrón de urbanización de los USA como criterio de ajuste de los umbrales escogidos para la delimitación de los diferentes paisajes humanos. La investigación desarrollada realizó numerosas comprobaciones en entornos urbanizados de otros lugares del planeta. En la contribución decimotercera, por ejemplo, se presenta el análisis pormenorizado para China. Dicho análisis de sensibilidad confirmó, en líneas generales, el umbral de intensidad lumínica de 164, para la identificación de las AHIL. Respecto a la diferenciación entre centros y periferias (el umbral 230), para la segmentación de las áreas compactas respecto a las áreas dispersas, en un desarrollo ulterior al trabajo aquí considerado propusimos un conjunto de umbrales, dependiendo de la variedad de asentamientos humanos. Utilizando la metodología de definir los centros mediante desviaciones estándar y continentes, el "corte" de los paisajes centrales (media + 1 desviación estándar) a nivel mundial correspondió a una intensidad de luz nocturna de 225, con América del Norte y del Sur alcanzando 228, Europa 222, Asia 223, África 224 y Oceanía 227. Estos umbrales representarían un ligero aumento de las dimensiones de los centros, con la consiguiente reducción de las periferias en relación a los obtenidos en la contribución aquí presentada. Dicho incremento de los centros afectaría principalmente a Europa y, en menor medida, a Asia y África. De manera equivalente, tendrían un efecto menor en el norte y el sur de América, así como Oceanía.

evidencia de corresponder a zonas de carácter rural. Dicho umbral se estableció en una *intensidad de luz nocturna* ≤ 64 (en la gama 0-255), el mismo utilizado en la contribución décima para la identificación de las megalópolis²³.

4. Finalmente, *los paisajes rurbanos se definieron como aquellos con una intensidad de luz nocturna entre 64 y 164*, que identifican las áreas intrínsecamente rurales (ALIL) y las áreas altamente urbanizadas (AHIL). Paisajes rurbanos se encuentran localizados, principalmente, en los *intersticios de las áreas metropolitanas*, representando por lo general los espacios caracterizados por una mayor presión de urbanización y, por lo tanto, sujetas a una transformación significativa. A su vez, los paisajes rurbanos son el escenario del fenómeno del llamado *ex-Urban Sprawl*, que corresponde a la expansión Urban Sprawl en entornos de débil urbanización, con niveles de densidad propios del mundo rural.

En cuanto a los resultados, la investigación aquí resumida permitió la identificación de 186.134 AHIL (*intensidad* ≥ 164), y, mediante el solapamiento con la base de LandScan, la segmentación de ñas mismas en función a su población. 404 de estas áreas altamente iluminadas, un 2,2 por mil del total de AHIL, se clasificaron como *metrópolis, entendidas éstas como las áreas con una población de más de un millón de habitantes*. Áreas metropolitanas que concentraban, a finales de la primera década de siglo, 1.623 millones de habitantes, el 24,45% de la población mundial. Treinta y cuatro de dichas áreas metropolitanas acumulaban una población superior a los diez millones, representando las semillas megalopolitanas identificadas en la contribución décima de esta tesis. En el lado opuesto a las áreas metropolitanas, un 70,15% de las AHIL no supera los 1.000 habitantes, representando el 0,36% de la población mundial.

La ponencia presentada en ISPRS, y publicada en Archives, detalla las *principales áreas metropolitanas mundiales*. Destacando, entre las cinco mayores, la metrópolis del Nilo, con 78.000.000 de habitantes y una densidad 1.976 habitantes por km²; la aglomeración del Pearl River (incluyendo Hong Kong, Shenzhen, Guangzhou y Macao) en China, que alcanza los 45 millones de habitantes y una densidad de 2.879 habitantes por kilómetro cuadrado; el área metropolitana de Shanghai (con Nantong, Changzhou, Wuxi y Suzhou como principales ciudades), con más de 37 millones de habitantes y una densidad de 2.127 hab/km²; el área metropolitana de Tokyo-Yokohama, con 35,5 millones de habitantes y una densidad de 4.274 habitantes por km²; y el área metropolitana de New York, que incluye Philadelphia, Trenton y Hartford (26,6 millones de habitantes y una densidad de 1.536 hab/km²).

El trabajo seleccionado desarrolló, asimismo, un indicador de Urban Sprawl, de las 404 áreas metropolitanas anteriormente obtenidas: el *Land Impacted by Light per capita* (LILpc). Se consideraron como aglomeraciones dispersas aquéllas con una LILpc superior a la media de las referidas áreas metropolitanas +1 desviación estándar, equivalente a de 918 m²/hab²⁴. Cuarenta y siete áreas metropolitanas se encuentran en esa situación. La mayoría de ellas en EE. UU. (27).

²³ A pesar de la relativa arbitrariedad de determinar cualquier umbral para definir un concepto tan vago como "área rural", debido a la creciente artificialidad de prácticamente toda la superficie terrestre del planeta, el umbral 64 ha resultado útil, como se ha visto, para identificar áreas megalopolitanas, que incluyen espacios urbanos con intersticios claramente rurales. Este umbral agrupa al 40% de la población mundial, lo que significa que las áreas urbanizadas más rurbanas equivalen al 60%. Un resultado consistente con las estadísticas internacionales sobre urbanización en el mundo (Naciones Unidas, 2012).

²⁴ El valor estandarizado del LILpc representa un buen indicador de Sprawl. Los valores por encima de cero significan que son mayores que el promedio de LILpc (de las 404 AM). Los valores superiores a 1 significan LILpc > promedio + 1 Std. desviación. Mientras que los valores negativos significan áreas con un nivel de expansión por debajo del promedio.

El trabajo destaca las grandes diferencias existentes entre ciudades por lo que respecta al suelo impactado por la luz. Para mostrar esas diferencias se escogen dos áreas metropolitanas con población similar (20 millones de habitantes): Bruselas-Amsterdam y Ciudad de México. Mientras la primera afecta a 20.458,10 kilómetros cuadrados y la segunda, apenas a 4.150,86. El indicador LILpc pasa de 203,69 metros cuadrados por habitante, en la Ciudad de México, a 1.023,16 en la aglomeración centroeuropea.

Finalmente, la contribución undécima desarrolla una *metodología gráfica* (Footprint of Night Lights & Cumulative Night light footprint) *que permite comparar, por continentes o por países, la diversidad de estructuras de la huella lumínica nocturna*. O, lo que es lo mismo, del grado de urbanización.

Haciendo un balance de las principales aportaciones que realiza la contribución aquí presentada:

- El trabajo de investigación realizado confirma que *el análisis de las luces nocturnas (black marble) permite analizar el grado de urbanización a nivel mundial*. El conocimiento de la intensidad de la luz nocturna permite, por tanto, identificar y evaluar el grado de urbanización de los diferentes asentamientos humanos.
- La información suministrada por las luces nocturnas sirve, a su vez, para *identificar y clasificar los asentamientos humanos a escala mundial*. Desde las aldeas y hamlets, a los pueblos, ciudades, y áreas micropolitanas, metropolitanas y megalopolitanas. Tipificación de los asentamientos humanos que el trabajo realizado integra en una base de datos de alcance planetario.
- La investigación realizada permite, asimismo, *segmentar y cuantificar los diferentes paisajes humanos*: centros compactos, periferias dispersas, asentamientos urbanos y rurales, en función al nivel de intensidad de las luces nocturnas.
- Finalmente, el trabajo desarrolla diversos *indicadores de consumo de suelo*, a partir de la huella lumínica de los asentamientos humanos, así como de la cantidad de suelo impactado per cápita, los cuales ayudan a comprender el fenómeno del Urban Sprawl, así como su distribución espacial.

4.3. Defining urban and rural areas: a new approach

La duodécima aportación, es el artículo publicado en *Proc. SPIE 10431, Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments II, 104310E (4 October 2017)*; doi: 10.1117/12.2277902, resultante de una ponencia presentada en la conferencia internacional SPIE Remote Sensing, 2017, celebrada en Warsaw, Poland. Como indicador de calidad hay que indicar que dicha publicación, con un SJR de 0,234, se situaría en el segundo cuartil de *Architecture*²⁵. Aporta, por tanto, 3 puntos a los efectos de la Normativa de Tesis Doctorales por Compendio de Publicaciones del PD GVUIA. Dicha aportación ha recibido 8 citas según Google Scholar.

²⁵ Con un CiteScore de 1, los Proceedings d'SPIE, se situarían en el 1er cuartil de *Architecture* y en el 2º cuartil de *Urban Studies*. No obstante encontrarse en el primer cuartil de *Architecture*, se ha optado por escoger 3 puntos a los efectos de la Normativa de Tesis Doctorales por Compendio de Publicaciones del PD GVUIA por utilizar el criterio del SJR.

Por su parte, ha generado una publicación vinculada:

- *Towards a new methodology for defining urban and rural areas*, ponencia presentada en el 57th ERSA Congress: Social Progress for Resilient Regions, celebrado en Groningen, Netherlands, del 29 de agosto al 1 de septiembre de 2017. <https://ersa.eventsair.com/QuickEventWebsitePortal/2017-ersa-congress/official-website/Agenda/AgendaItemDetail?id=d072c527-80dd-441d-af72-475a7d4472cf>. Cabe recordar, de nuevo, que los congresos de ERSA son considerados “notables” por la UPC.

La aportación seleccionada en doceavo lugar tiene por objetivo *desarrollar una nueva metodología para la definición de las áreas rurales y urbanas, que vaya más allá de la tradicional regulación establecida por las Naciones Unidas*. Esta contribución se inserta en el marco conceptual y metodológico presentado en las dos anteriores aportaciones, consistente en identificar y tipificar los asentamientos humanos en base a la intensidad de las luces nocturnas. Y, como en los dos trabajos anteriores, la base de datos explotada consiste en el producto Black Marble, generado para 2012 por la NASA.

El trabajo seleccionado pone de relieve como, a pesar del extraordinario crecimiento de las ciudades en las últimas décadas, *no existe un consenso académico unánime sobre lo que significa el término "urbanización"*. El carácter plural de las formas de asentamiento humano en el planeta dificulta la identificación y categorización de los procesos de urbanización. Un ejemplo de esta dificultad radica en la ambigua definición de población urbana y rural de la ONU. A pesar de que la estadística mundial ofrecida por las Naciones Unidas acerca de la evolución de la población urbana es uno de los referentes más utilizados en el estudio de la urbanización²⁶, la diversidad de criterios utilizados por los diferentes Estados no permite en realidad realizar comparaciones fiables sobre el grado de urbanización a escala internacional. Las Naciones Unidas no han logrado armonizar estas diferencias de opinión entre países puesto que al preparar las estimaciones y proyecciones de la población urbana, la ONU se basa en los datos producidos por fuentes que reflejan las definiciones y criterios establecidos por las autoridades nacionales. Un análisis de ese conjunto de definiciones indica que 118 de los 231 países existentes en el planeta utiliza criterios administrativos para distinguir las áreas urbanas y rurales. Y que si bien en 107 casos, los criterios utilizados para caracterizar las áreas urbanas incluyen el tamaño de la población y/o la densidad, existe una gran variedad en los criterios adoptados, que oscilan entre 200 y 50.000 habitantes.

Después de este diagnóstico crítico de la base estadística de las NN.UU., la duodécima aportación analiza el significado y alcance del concepto urbanización. Más allá de las definiciones al uso, cabe *entender la urbanización como proceso basado en la idea de la transformación física del paisaje*, y no tanto en la conversión del “campo” en “ciudad”. De manera similar al proceso de construcción, la urbanización representaría la transformación del paisaje rural primigenio mediante la incorporación de redes de servicios caracterizadas por una elevada artificialización (acceso rodado, pavimentación, alumbrado y otros servicios públicos, abastecimiento de agua, suministro eléctrico, alcantarillado, etc.).

Sin embargo, esta aproximación incorpora también una dosis significativa de ambigüedad. En primer lugar, porque la urbanización no siempre tiene lugar de forma previa a la edificación. En las periferias de los países en desarrollo, el suelo se suele subdividir primero en “parcelas” (simples “rayas” en la tierra), que luego se construyen. Sólo más tarde llegan las redes de

²⁶ United Nations, *World Urbanization Prospects: The 2011 Revision*, United Nations publication, ST/ESA/SER.A/322, New York, 2012.

servicios. *La construcción, en ocasiones, antecede a la “urbanización”*. Además, *la urbanización* no siempre es un acto único e integral, sino que más comúnmente *es un proceso* (especialmente en el “Tercer Mundo”) en el que primero llega el acceso de vehículos y la electricidad, y, posteriormente, el suministro de agua, la red de alcantarillado y la pavimentación. En este sentido se sostiene en el trabajo publicado en Proceedings SPIE Remote Sensing que sería necesario hablar de *gradiente o intensidad de la urbanización*, más que de un evento integrado o único.

Dicho trabajo, presenta de forma resumida los esfuerzos realizados por el Census Bureau de los E.E.U.U. y de Eurostat en Europa para el análisis de las *Urban Areas*, en el primer caso, y del *Degree of Urbanisation* en el segundo. Sin embargo, ambos esfuerzos se limitan al ámbito regional, no existiendo una metodología única que permita la comprensión del fenómeno urbanizador a escala mundial. *Este es el objetivo de la duodécima aportación: la construcción de una base de datos integrada que facilite el conocimiento del alcance e intensidad de la urbanización en el planeta.*

Como desarrolló la aportación precedente, el suministro eléctrico, junto con la subdivisión del suelo en parcelas y el trazado de las “líneas” de las calles (que no de la urbanización efectiva de las mismas), representan los primeros pasos en el proceso de urbanización. El acceso casi universal a la energía eléctrica, hace del análisis de imágenes satelitales nocturnas una herramienta excepcional para estudiar el gradiente de urbanización a escala mundial. Por dicho motivo se presentan las diferentes bases de información relacionadas con las luces nocturnas existentes en el momento de la redacción de la duodécima contribución:

- La generada por el sensor Operational Linescan System (OLS) del satélite Defense Meteorological Satellite Program (DMSP), el cual ha estado recolectando información por más de 40 años²⁷.
- Y la producida por el sensor Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS), del satélite Suomi National Polar Partnership (SNPP). Dicho satélite fue lanzado en 2011 y ha venido a sustituir a DMSP en la obtención de las imágenes nocturnas de la Tierra²⁸.
- Entre ambas BD, cabe citar la ya referida de Black Marble, que fue la originalmente utilizada en las contribuciones 10, 11 y 12 debido a que en el momento de su redacción no estaba disponible en el website de NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, USA) la información relativa a SNPP-VIIRS. Producto intermedio generado por la NASA a la espera de hacer públicos los datos obtenidos por este último sensor²⁹.

En cuanto a la metodología usada, replica sin variaciones significativas la ya expuesta para la contribución undécima. Particularmente:

- Dada la ausencia de un estándar internacional, la noción de área urbana utilizada en este estudio corresponde a la definición dada por el Census Bureau de los E.E.U.U., la cual “includes noncontiguous territory separated by exempted territory (like bodies of water), via hops and jumps (maximum hop distance 0.5 miles, maximum jump distance 2.5 miles, and no hops after jumps) as well as other “natural” spaces highly impacted by

²⁷ DMSP-OLS tenía una resolución espacial de 3 km/píxel y una resolución radiométrica de 6 bits.

²⁸ SNPP-VIIRS tiene una resolución espacial de 742 metros y una resolución radiométrica de 16 bits.

²⁹ Como se ha indicado previamente, Black Marble tiene una resolución espacial de 0,00667 grados por píxel, lo que equivale a 742 metros en el ecuador, y una resolución radiométrica de 8 bits.

urbanisation”.

- Respecto a los umbrales de intensidad de luz nocturna, los ya referidos de ≥ 164 (en el marco de la resolución espectral de 8 bits de Black Marble)³⁰, para la definición de las áreas urbanas, y <64 para las plenamente rurales. Con el entorno 64-164 correspondiente a los paisajes rurbanos. Así mismo utiliza el umbral 230 para diferenciar los paisajes centrales compactos, de las periferias urbanas de menor densidad.

Los resultados presentados son similares a los de la contribución undécima, destacando el hecho de que *una la mayor parte de la población mundial, el 44,21%, vive en zonas altamente urbanizadas (intensidad de luz ≥ 164)*. En cambio, *los paisajes rurales (intensidad <64) concentran el 40,26% de la población*. Sorprendentemente, los espacios urbanizados con menor intensidad lumínica, denominados en las aportaciones undécima y duodécima paisajes periurbanos o suburbanos, están habitados por una mayor proporción de población que en los paisajes centrales, 26,04% vs 18,16%. Si este enfoque se confirma con una investigación más profunda, los territorios de Urban Sprawl dominarían globalmente a los paisajes compactos³¹. Finalmente, en los paisajes rurbanos (con una intensidad de luz nocturna entre 64 y 164) habitaría el 15,53% de la población mundial. Es en dichos paisajes rurbanos donde se concentra el mayor estrés de la urbanización, y es allí donde se producirán los mayores incrementos de población en las próximas décadas.

El trabajo destaca como en África y Asia destacan los paisajes rurales, con un 63,29% y un 43,59% de la población que vive en zonas “oscuras”, en comparación con América del Norte y Europa, donde el porcentaje de población que vive en zonas de baja intensidad de luz nocturna desciende a 13,02 % y 17,65% respectivamente. Los paisajes urbanizados o muy impactados por la luz destacan en América del Norte (76,99%), Oceanía (70,11%), América del Sur (68,24%) y Europa (67,77%), mientras que en Asia (37,01%) y especialmente África (30,00%) todavía representan una minoría respecto al total de los asentamientos humanos.

Si diferenciamos los espacios altamente artificializados en función a la intensidad lumínica nocturna, los paisajes periurbanos son especialmente significativos en Oceanía (57,58%), Europa (44,89%) y América del Norte (37,63%). El Urban Sprawl descontrolado, sin embargo, tendría un impacto más moderado en Asia (23,30%), América del Sur (22,24%) y, sobre todo, África (18,70%). Por su parte, las áreas centrales, la ciudad compacta, juegan un papel especialmente significativo en América del Sur (46,01%), Norte América y Europa.

Finalmente, los paisajes rurbanos también muestran una distribución espacial desigual, teniendo un papel especial en Asia (19,40%) y en menor grado en Europa (14,58%). El trabajo aquí resumido sostiene que es en Asia y en Europa, por tanto, donde en la actualidad parece haber un mayor estrés urbanístico, ya que los paisajes rurbanos representan el escenario principal para los procesos de transformación rural / urbana.

Haciendo un balance de las aportaciones que realiza la contribución aquí presentada, cabe destacar:

³⁰ Umbral ajustado, como se ha indicado previamente, mediante regresión logística para el conjunto de áreas urbanas de USA.

³¹ Esta afirmación debe ser matizada. Es preciso realizar un mejor de ajuste de los paisajes centrales, mediante la utilización de un umbral diversificado en función a las diferentes formas de asentamiento humano (véase nota a pie n. 22 de este capítulo). Dicho ajuste debería atender, también, la diferente categorización de los asentamientos.

- Hemos desarrollado un *enfoque metodológico para identificar las áreas urbanas y rurales a escala mundial*, intentando llenar el vacío que existe al respecto. Partiendo de la hipótesis de que la urbanización es un proceso de incorporación de servicios al suelo rural, y que la electrificación representa un buen proxy para *cuantificar el gradiente urbano-rural*, este trabajo ha utilizado, junto a las anteriores aportaciones, las luces nocturnas derivadas del nuevo sensor VIIRS (2012) para delimitar y caracterizar las áreas urbanizadas a nivel mundial. El estudio muestra que las luces nocturnas tienen un alto potencial para analizar el grado de urbanización. La llegada de la electrificación a casi todos los rincones del planeta es sin duda el primer y más significativo indicador de artificialización del suelo.
- Por lo tanto, *el estudio ha permitido la construcción de un método de clasificación urbano / rural que creemos más eficiente que la distinción actual proporcionada por Naciones Unidas*. Además, este método tiene la ventaja de permitir el análisis de la población urbana y rural *a nivel subnacional*. La segmentación rural / urbana ya no puede entenderse como dual. La difusión de las redes de urbanización en prácticamente todo el mundo desarrollado lleva a la necesidad de ir más allá de la simple visión, que opone lo rural a lo urbano. Así, la noción de gradiente de urbanización surge como un concepto esencial en el análisis de paisajes urbanizados.
- El éxito de la metodología propuesta acerca del uso de la iluminación nocturna como proxy de la urbanización no permite dar garantías, sin embargo, de que el método sea igualmente válido para evaluar la gran riqueza de asentamientos humanos que existen en el planeta. La gran diversidad de procesos de ocupación de la tierra, junto con el diferente grado de electrificación en toda la geografía del planeta, sugiere la necesidad *de un mayor análisis para probar los umbrales utilizados en esta investigación*. Es difícil verificar a escala mundial la validez de los modelos construidos ya que no existe una base de datos de referencia a escala mundial sobre áreas urbanizadas. Por tanto, la verificación debe realizarse a escala local y, aun así, con una enorme dificultad.

4.4. The urbanization impact in China: A prospective model (1992-2025)

La treceava aportación, consiste en un artículo (autores: Blanca Arellano y Josep Roca) publicado en *Proc. SPIE 10767, Remote Sensing and Modeling of Ecosystems for Sustainability XV, 107670A (18 September 2018)*; doi: 10.1117/12.2321267, resultante de una ponencia presentada en la conferencia internacional SPIE Optical Engineering + Applications, 2018, San Diego, California, United States. Como indicador de calidad, además de recordar que el citado congreso es considerado “notable” por la UPC, hay que indicar que dicha publicación, con un SJR de 0,238, se situaría en el segundo cuartil de *Architecture*³². Aporta, por tanto, 3 puntos a los efectos de la Normativa de Tesis Doctorales por Compendio de Publicaciones del PD GVUIA. Dicha aportación ha recibido 7 citas según Google Scholar.

³² Con un CiteScore de 1 el año 2018, los Proceedings d’SPIE, se situarían en el 1er cuartil de *Architecture* y en el 2 cuartil de *Urban Studies*. No obstante encontrarse en el primer cuartil de *Architecture*, se ha optado por escoger 3 puntos a los efectos de la Normativa de Tesis Doctorales por Compendio de Publicaciones del PD GVUIA por utilizar de forma prioritaria el criterio del SJR.

A su vez dicha aportación está estrechamente vinculada con otras tres publicaciones, realizadas todas ellas junto a Dou Xiao³³ y Josep Roca:

- *Bidirectional migration pattern in China: interaction value analysis*, ponencia presentada en el *33rd International Geographical Congress*, celebrado en Beijing entre el 21 y 25 de Agosto de 2016. <https://igu.younggeographers.org/event/33rd-international-geographical-congress/>.
- *China's inter-provincial population flow based on the interaction value analysis*, artículo publicado en *Geographical Research*. 2018, Vol. 37, Issue (9): 1848-1861. doi: 10.11821/dlyj201809015. <http://www.dlyj.ac.cn/EN/10.11821/dlyj201809015>.
- *China's population policies: past, present and future*, artículo publicado en *Architecture, City and Environment*, 12 (36): 201-218, 2018. <http://dx.doi.org/10.5821/ace.12.36.5413>

La contribución decimotercera propone estudiar el impacto de la urbanización en China entre 1992 y 2013, y modela una hipótesis de escenarios futuros de urbanización entre 2013 y 2025. Para ello, el trabajo utiliza DMSP-OLS Nighttime Lights (1992 - 2013), obteniendo una serie homogénea y calibrada para todo dicho período, para, a partir de la misma, modelar la dinámica espacial del proceso de urbanización en China y, así, estimar el probable crecimiento del fenómeno de urbanización entre 2013 y 2025.

El estudio seleccionado asume, como las anteriores contribuciones de este capítulo, que las imágenes satelitales de las luces nocturnas proporcionan información valiosa para la identificación de paisajes humanos. Como se ha reiterado, los paisajes "oscuros" ciertamente están relacionados con los asentamientos rurales. En cuanto a los paisajes "iluminados", identifican claramente las áreas del planeta caracterizadas por una elevada artificialización humana. En este sentido, sin embargo, se utiliza en este caso la *base de datos DMSP-OLS*, la cual, a pesar de su menor resolución respecto a Black Marble (utilizada en las aportaciones 10 a 12), permite el análisis retrospectivo, y, por tanto, *modelar el proceso de urbanización*.

NOAA facilita la base de datos DMSP-OLS desde 1992 hasta 2012 (cuando fue sustituida por VIIRS-DNB) en <http://ngdc.noaa.gov/eog/dmsp/downloadV4composites.html> (consultada el 1 de Noviembre de 2015). Las 34 imágenes estudiadas en este periodo son productos compuestos libre de nubes, usando el conjunto de imágenes archivadas para todos los días del calendario. Los productos, a pesar de su relativamente baja resolución espacial en origen (3 km/píxel), son ofrecidas a 30 segundos arco (0,008333 grados/píxel), aproximadamente 926 metros/píxel en el ecuador, desarrollándose entre -180 to 180 grados de longitud y -65 to 75 grados de latitud.

Desde el punto de vista metodológico, el trabajo seleccionado aporta las siguientes novedades respecto a las anteriores aportaciones:

- En primer lugar, la realización de un *análisis dinámico* (1992-2013), no estático (2012) como en el estudio de las megalópolis, los paisajes impactados por la luz y la identificación de las áreas urbanas y rurales.
- La utilización de las distintas imágenes analizadas correspondió a seis satélites diferenciados (F10-F12-F14-F15-F16-F18), no calibrados entre sí. Hecho que obligó al

³³ Dichas publicaciones se realizaron con Dou Xiao atendiendo a que fui la directora de su tesis de Master. Las dos primeras de esas publicaciones están directamente asociadas a la tesis doctoral de Xiao (dirigida por Josep Roca). La tercera, en cambio, es un trabajo independiente de la referida tesis doctoral.

intercalibrado de las imágenes, a los efectos de obtener series homogéneas entre sí, mediante el desarrollo de diversos modelos.

- Los resultados obtenidos a través de los modelos anteriores se aplicaron a los años 1992-1995-2000-2005-2010-2013 mediante la *redistribución de la totalidad de la luz predicha en los modelos según la probabilidad de cada píxel específico*. Dicha redistribución se ajustó considerando el límite máximo de intensidad de luz en cada píxel (63, en el rango 0-63³⁴). Para los años en los que había dos satélites, se utilizó la probabilidad media entre los dos. Todo ello permitió corregir parcialmente la inestabilidad de los píxeles iluminados obtenidos de los distintos sensores satelitales.
- Cómo en los anteriores trabajos seleccionados, el umbral de definición de las áreas urbanas se realizó mediante un modelo de regresión logística, ajustado para los EEUU, utilizando, en este caso, la información suministrada por DMSP-OLS (en vez de Black Marble). Lo anterior devolvió el cut-off de intensidad 37, en la banda 0-63 de intensidades de luz nocturna.
- Por lo que respecta a la estimación de la población de las áreas urbanas, se utilizó el GHS population grid, de 1990 y 2015, suministrado por el Joint Research Center de la European Commission³⁵, en vez de LandScan 2008 de las anteriores contribuciones.
- Finalmente, se llevó a cabo un *modelo prospectivo con el fin de determinar el hipotético crecimiento urbano de China entre 2013 y 2025*. Para ello, se implementó un modelo de potencial urbano, estimando la probabilidad de desarrollo urbano de cada uno de los píxeles iluminados en el período anterior 2005- 2013. El ajuste del modelo que se realizó por provincias a fin de establecer distintas hipótesis de crecimiento en el período mencionado.

Los principales resultados pueden ser resumidos como sigue:

- La aplicación de la anterior metodología confirmó un *aumento espectacular de las áreas urbanas chinas en este el período 1992-2013*. Los 21.525 km² que ocupaba la urbanización en 1992 se convirtieron en 194.362 km² en 2013, lo que representó un incremento del 803%!! Urban Sprawl es especialmente significativo si se considera que en ese mismo período la población urbana aumentó, según el Banco Mundial, de 328.521.540 a 721.691.798 habitantes, un 119,68% más.
- En 1990 sólo seis áreas urbanas superaban los 3 millones de habitantes: la aglomeración de Guangzhou, con 13.585.280 habitantes; Shanghai, (6.515.326 habitantes); Beijing (5.447.699 habitantes); Hubei (3.545.201 habitantes); Shenyang (3.162.793 habitantes); y Chongqing (3.074.305 habitantes).
- En 2015, diez áreas urbanas superaron los 7 millones de habitantes. La primera de ellas, el conglomerado alrededor de Shanghai (61.181.622 habitantes), seguida de la aglomeración del Pearl River (50.327.375), Beijing (21.330.159), Tianjin (10.800.736), Chengdu (10.455.884), Hangzhou (10.158.031), Wuhan (8,325,974), Quanzhou-Xiamen-Zhangzhou (7.933.873), Shenyang (7.146.431) y Xi'an (7.063.560).
- En general, las provincias más urbanizadas (Beijing, Shanghai, Tianjin y Guangdong)

³⁴ Cabe recordar que la resolución espectral de DMSP-OLS es de 6 bits.

³⁵ Véase https://data.jrc.ec.europa.eu/dataset/jrc-ghsl-ghs_pop_gpww4_globe_r2015a.

experimentaron el menor crecimiento en urbanización entre 1992 y 2013. Estos resultados confirmaron la *tendencia creciente, revelada (entre otros trabajos) por las aportaciones vinculadas a esta investigación, hacia el impulso de los movimientos migratorios dirigidos hacia el centro y oeste de China*. En la actualidad (2015), se estaría produciendo una bidireccionalidad en el movimiento migratorio: junto a la tendencia principal, dirigida hacia Oriente, un incipiente movimiento hacia Occidente estaría configurando una nueva estructura territorial en China. Mainland & Western China representarían los nuevos territorios emergentes.

- La contribución decimotercera pone de relieve, asimismo, el *cambio de escala de las tres principales megalópolis chinas*, entre 1992 y 2013: Shanghai, Pearl River y Beijing-Tianjin.
- Como se ha indicado previamente, el trabajo seleccionado desarrolló un *modelo prospectivo de desarrollo de la urbanización en China para el período 2013-2025*. Un modelo basado en el potencial urbanístico de cada píxel obtenido en base a su ubicación específica, así como a la evolución de su grado de intensidad lumínica observada en el período 1992-2013. El ajuste de dicho modelo prospectivo (para el período 2005-2013) prevé un incremento de la superficie altamente artificializada del 133,55% entre 2013 y 2025, pasando de 194.362 a 414.681 km².
- El modelo confirma cómo *el aumento relativo de la superficie urbanizada se desplaza hacia el centro y oeste de China*, produciéndose una correlación negativa entre GDP (2013) y el incremento porcentual de suelo urbanizado entre 1993 y 2025.
- El modelo prospectivo predice un importante cambio de escala de la megalópolis de la capital de China (con un incremento del área impactada por la luz nocturna del 159,46%), que incorporará nuevas ciudades y áreas metropolitanas en sus inmediaciones (como Tangshan), frente a un crecimiento más moderado de Shanghai (84,30%) y, sobre todo, del delta del Pearl River (52,18%).

En suma, la contribución decimotercera presenta algunas aportaciones de interés respecto a las investigaciones precedentes:

- La primera, que *las luces nocturnas permiten evaluar el desarrollo de la urbanización*. El ejercicio desarrollado para China, confirma el crecimiento espectacular del proceso urbanizador en ese país, entre 1992 y 2013
- La segunda, que, a pesar de su menor resolución espacial y radiométrica, la base de datos DMSP-OLS relativa a las luces nocturnas posibilitan ese análisis. La conjunción de esa base de información, con la nueva generada por VIRRS-DNB es un reto aún pendiente.
- En base al conocimiento proporcionado por los modelos retrospectivos de la evolución de las luces nocturnas, es posible, a su vez, desarrollar *modelos prospectivos del proceso de urbanización*. El modelo desarrollado para China 1993-2025 predice un más acentuado proceso de urbanizador, al ya experimentado entre 1992 y 2013.
- Cabe destacar también como una aportación significativa la *cuantificación del cambio de escala producido en las principales megalópolis chinas*, y las previsiones para un futuro cercano.

- Y también *ratificar la tendencia hacia la extensión de la explosión urbanizadora hacia el interior y el oeste de China.*

ACE 25

Electronic offprint

Separata electrónica

LAS MEGAESTRUCTURAS URBANAS DEL SIGLO XXI: UN ENSAYO PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS MEGALÓPOLIS

Blanca Arellano Ramos y Josep Roca Cladera

Cómo citar este artículo: ARELLANO RAMOS, B. y ROCA CLADERA, J. *Las megaestructuras urbanas del siglo XXI: un ensayo para la identificación y caracterización de las megalópolis* [en línea] Fecha de consulta: dd-mm-aa. En: ACE: Architecture, City and Environment = Arquitectura, Ciudad y Entorno, 9 (25): 127-158, 2014. DOI: 10.5821/ace.9.25.3963. ISSN: 1886-4805.

ACE

Architecture, City, and Environment
Arquitectura, Ciudad y Entorno

C

ACE 25

Electronic offprint

Separata electrónica

URBAN MEGA-STRUCTURES OF THE TWENTY-FIRST CENTURY: AN ASSAY FOR THE IDENTIFICATION AND CHARACTERIZATION OF MEGALOPOLIS

Key words: Urban sprawl; megalopolis; urban regions; metropolis; nighttime lights

Abstract

Metropolitanization process has marked the twentieth century urban development. However, since 1950, there has been a real change of scale in this growth: the endless growth of metropolitan suburbs encouraged by the urban sprawl and the increasing urbanization of rural environments in the interstices between cities. This has not only linked previously isolated urban systems, but has generated new urban spaces characterized by increasing complexity, as well as by the unlimited expansion of urbanizing phenomenon. The Megalopolis, intuited in the early twentieth century by the precursor thinkers of contemporary urbanism, have come true.

The objective of the paper is to set up a methodology for the identification and preliminary characterization of megalopolis in the early twenty-first century. The recent publication of new global view of Earth's city lights by NASA gives the opportunity to develop methodologies of image analysis capable of identifying urban mega-structures on a planetary scale.

ACE

Architecture, City, and Environment
Arquitectura, Ciudad y Entorno

C

LAS MEGAESTRUCTURAS URBANAS DEL SIGLO XXI: UN ENSAYO PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS MEGALÓPOLIS

ARELLANO RAMOS, Blanca¹
ROCA CLADERA, Josep²

Remisión inicial: 14-01-2014

Remisión final: 22-05-2014

Palabras clave: Urban sprawl; megalópolis; regiones urbanas; metrópolis; luces nocturnas

Resumen

El proceso de metropolización ha marcado el desarrollo urbano del siglo XX. Sin embargo, especialmente desde 1950, se ha venido produciendo un verdadero cambio de escala en dicho crecimiento: el crecimiento *infinito* de las periferias metropolitanas, alentado por el proceso de urban sprawl, la urbanización creciente de los entornos rurales en los intersticios existentes entre las ciudades, no sólo ha venido a enlazar espacialmente sistemas urbanos anteriormente aislados, sino que ha generado nuevos espacios urbanos caracterizados por una creciente complejidad, así como por la expansión ilimitada del fenómeno urbanizador. Las megalópolis, intuidas a principios del siglo XX por los pensadores precursores del urbanismo contemporáneo, se han hecho realidad.

El objetivo de este trabajo consiste en realizar un ensayo para la identificación y caracterización preliminar de las megalópolis en los inicios del siglo XXI. La publicación reciente por la NASA de la imagen planetaria de las luces nocturnas da la oportunidad para proceder al desarrollo de metodologías de análisis de imagen susceptibles de identificar las mega-estructuras urbanas a escala planetaria.

1. Introducción

A lo largo del siglo pasado la forma de la ciudad ha experimentado un cambio excepcional. En ese periodo se ha producido un verdadero cambio en el modelo de ocupación del espacio, pudiendo caracterizarse el siglo XX como el siglo de la urbanización. Las sociedades eminentemente rurales de antaño han dado paso a tipos de asentamiento humano caracterizados por el predominio del fenómeno urbano, el cual ha cambiado de escala,

¹ Blanca Arellano Ramos: Msc. en Gestión y Valoración Urbana. Investigadora del Centro de Política de Suelo y Valoraciones (CPSV), Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). Email de contacto: blanca.arellano-ramos@upc.edu

² Josep Roca Cladera: Centro de Política de Suelo y Valoraciones (CPSV), Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). Email de contacto: josep.roca@upc.edu

produciéndose un proceso de expansión que no sólo ha desbordado los límites administrativos tradicionales (municipios, comunas, comarcas, counties, etc.), sino que también ha llegado a invadir regiones enteras. La metropolitanización del crecimiento urbano ha sido, por tanto, el rasgo principal de ese proceso, el cual ha ido cambiando de escenario geográfico, hasta generalizarse a escala planetaria. Si la gran expansión urbana se produjo en la primera mitad de siglo en Europa y América del Norte, a partir de 1950 Asia, América Latina e incluso África, han tomado el testigo del crecimiento urbano.

Desde mediados del siglo pasado, sin embargo, en Europa y América del Norte la expansión urbana pareció evidenciar signos de aparente agotamiento. Primero fueron los grandes centros metropolitanos los que empezaron a perder población, pero, más adelante, fueron las metrópolis enteras las que denotaron síntomas de desaceleración del crecimiento, que llegó a ser negativo en algunos casos. Las estructuras urbanas forjadas a raíz de la revolución industrial del siglo XIX, y caracterizadas por la concentración de la industria y por las migraciones campo/ciudad, parecieron entrar en crisis. Desde esta perspectiva buena parte de los especialistas del fenómeno urbano (especialmente desde el ámbito de la geografía) llegaron a afirmar que el concepto *ciudad* había devenido obsoleto (Fishman, 1990; Harvey, 1996; Nel-lo, 1998); de fuente de progreso y desarrollo, las ciudades se habrían convertido en estructuras gigantescas cada vez menos eficientes. De las economías de aglomeración habríamos pasado a las economías de desaglomeración (Krugman, 1996).

En este contexto, la literatura especializada ha destacado como la suburbanización, iniciada en el último tercio del siglo XIX y generalizada a lo largo del siglo XX por medio del fenómeno del urban sprawl, fue el comienzo de un proceso que conduciría, primero, a la descentralización relativa de las metrópolis, más adelante a la descentralización absoluta³ y, finalmente, a lo que algunos autores han denominado contraurbanización⁴ (Berry, 1976), desurbanización (Berg, 1982) o rururbanización (Bauer y Roux, 1976). El último tercio del siglo XX habría iniciado por tanto, para reconocidos autores, la superación de los *viejos* conceptos heredados históricamente que denominamos *ciudad* (como opuesta al *campo*), *centro*, *periferia* o, incluso, *área metropolitana*, los cuales habrían devenido *zombie categories*⁵, en la acepción dada por Lang y Knox (2009).

Dicho proceso, interpretado inicialmente por algunos pensadores como un fenómeno de descomposición de la urbanización, fue claramente reinterpretado en la literatura iniciada en los 90. La urbanización masiva de los territorios rurales, fruto del urban sprawl (Arellano y Roca, 2010a), no ha dejado lugar a duda acerca de la plena vigencia del proceso urbanizador, el cual no sólo no se habría visto frenado, sino que al contrario habría llegado a su paroxismo en las últimas décadas del siglo pasado. En este contexto, nuevos términos habrían sustituido la

³ La *descentralización absoluta* se diferenciaría de la *relativa* en que no sólo la periferia crecería más rápidamente que el centro metropolitano (de forma relativa, por tanto), sino que el centro perdería en términos absolutos población, aun manteniendo el área o región metropolitana en su conjunto incrementos demográficos (los cuales irían disminuyendo paulatinamente con el tiempo).

⁴ La traducción del término *counterurbanization*, empleado por Berry (1976) como *contraurbanización* no está exento de polémica. Sin embargo, en última esencia, representa, en la concepción de Berry, "a demographic and social process whereby people move from urban areas to rural areas" (Berry, 1976).

⁵ Lang y Knox (2009) reproducen el concepto de *zombie categories*, acuñado por Bercks y Wills "zombie categories embody nineteenth-century horizons of experience, horizons of the first modernity. And because these inappropriate horizons, distilled into a priori and analytic categories, still mould our perceptions, they are blinding us to the real experience and ambiguities of the second modernity." (Bercks y Wills, 2003).

primigenia interpretación contraurbanizadora: *ciudad difusa*, (Indovina et al, 1990), *periurbanización* (Dezert et al, 1991), *ciudad red*, *ciudad sin centro* o *periferia sin centro* (Dematteis, 1998), *metápolis* (Ascher, 1995) o *edge cities* (Garreau, 1991); entre otros muchos. Conceptos, todos ellos, que anunciaban no la caída sino el inicio de una nueva era del proceso urbanizador. Nueva era en la que si bien habría decaído el paradigma de la ciudad fordista, y aún el del área metropolitana convencional (monocéntrica), habrían irrumpido nuevas formas y artefactos urbanos que no sólo habrían confirmado la vitalidad (tal vez excesiva) del proceso urbanizador, sino la generalización del mismo a escala regional. *Desde el último tercio del siglo XX se ha hecho evidente un verdadero cambio de escala en la urbanización.*

La perspectiva actual no permite, por tanto, interpretar lo sucedido en las estructuras postfordistas como una desaceleración, descomposición incluso, de la urbanización. Muy al contrario estaríamos en una nueva fase de ésta. Fase en la que las ciudades resultantes de la revolución industrial no sólo habrían devenido áreas metropolitanas, sino que éstas, en un continuo cambio de escala, habrían visto emerger estructuras más y más extensas, que algunos han denominado megaciudades, regiones urbanas, ciudad-región, mega-ciudades regionales, regiones y metrópolis policéntricas o, más escuetamente, megalópolis. Mumford (1938) tal vez fue el primero en difundir dicho término al referirse a las megalópolis como un estadio de vida de las ciudades⁶, pero el concepto de megalópolis lo debemos, probablemente, en origen a P. Geddes (1915)⁷, que anticipó la más reciente aportación de Jean Gottmann (1957 y 1961).

El debate entre Adams, director del Plan Regional de New York y sus alrededores, y Mumford (Fishman, 2000)⁸, parece, sin duda, haberse decantado por éste último. Dicho debate, tenido lugar en las páginas del diario New Republic en 1932, evidenció la diferencia existente entre los *metropolitanistas* (Adams), que imaginaban un crecimiento progresivo de las grandes ciudades, convertidas en metrópolis, pero no un cambio de morfología urbana integral, y los *regionalistas* (Mumford), los cuales creían que se estaba produciendo un cambio radical en la estructura urbana pasando de un modelo de metrópolis monocéntrica a una dispersa red de ciudades integrada en un vasto espacio llamado *región urbana*. McKenzie (1933), siguiendo la estela de Mumford, fue uno de los primeros en plantear ese cambio de escala, anticipando el carácter poli-nucleado del crecimiento urbano futuro.

Es sin duda a Gottmann (1957 y 1961) a quien debemos el trabajo seminal en torno al cambio de escala producido en la urbanización. Gottmann, en su obra *Megalopolis: The Urbanized Northeastern Seaboard of the United States*, abrió el estudio sistemático de las mega-regiones urbanas a escala académica (ver Figura 1). En palabras de Gottmann:

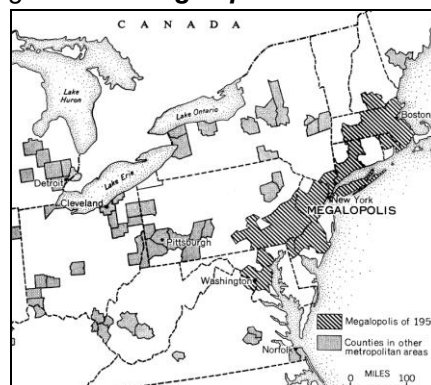
⁶ En el capítulo 4º de *The culture of cities* (1938), titulado *The rise and fall of Megalopolis*, desarrolla su tesis sobre los seis estadios de la evolución urbana: de la *eopolis* (village) a la *polis* (association of villages), de ésta a la *metropolis* (capital city emerges), a la *megalopolis* (the beginning of the decline), a la *tyrannopolis* (the overexpansion of the urban system based on economic exploitation) y finalmente a la *nekropolis* (war and famine, city abandoned).

⁷ En palabras de P. Geddes: "The expectation is not absurd that the not very distant future will see practically one vast city-line along the Atlantic Coast for five hundred miles, and stretching back at many points; with a total of ... many millions of population" (Geddes, 1915:). "The main street of America" (Gottmann, 1961).

⁸ A escala local, Cataluña asistió a un debate (implícito) similar en la oposición del concepto de *gross Barcelona*, impulsado en los años 30 por el GATPAC y Le Corbusier, frente al concepto de ciudad-región, de Rubió i Tudurí. El *Regional Planning* de Rubió, con ámbito Cataluña-región, y el *Pla Macià*, del GATPAC, denotarían no sólo diferentes escalas de la planificación territorial, sino sobre todo aproximaciones conceptuales diferentes del fenómeno urbano y territorial.

“In 1950, on the basis of the new census, the Bureau of the Census prepared a map, later published as an illustration to a booklet of statistics on State Economic Areas, which showed clearly the continuity of an area of "metropolitan" economy from a little north of Boston to a little south of Washington (...). This seemed to be a first statistical demonstration on the map of the existence of a continuous stretch of urban and suburban areas, the main NE-SW axis of which was about 600 miles long, and within the frame of which dwelt even in 1950 some 30 million people. (...) The super-metropolitan character of this vast area, the greatest such growth ever observed, called for a special name. We choose the word Megalopolis, of Greek origin” (Gottmann, 1957).

Figura 1. La *Megalópolis* de Gottmann



Fuente: Gottmann (1957).

A pesar de que Gottmann no pudo anticipar plenamente la explosión suburbana vinculada al fenómeno del urban sprawl⁹, no cabe duda de que dicho proceso, desarrollado más allá de los límites tradicionales de las áreas metropolitanas, ha representado un factor fundamental que ha servido para interconectar estas últimas en una compleja y vasta red de relaciones interurbanas (Lang y Dhavale, 2005). El desarrollo regional resultante en parte de este proceso, interpretado en primera instancia como contraurbanización o desurbanización, pronto evidenció el cambio de escala anunciado por Mumford, McKenzie y Gottmann. *La telaraña de urbanización generada por el urban sprawl representó el elemento decisivo para la interconexión de las áreas metropolitanas, aisladas antes por vastos espacios abiertos, en estructuras cada vez más extensas, generando las semillas del ulterior proceso megalopolitano.* De este modo se haría realidad la inversión de la topología del paisaje anunciada por Margalef (Arellano y Roca, 2012): las áreas urbanizadas, que sólo unas pocas décadas antes representaban elementos aislados en medio de un paisaje básicamente rural, fueron impregnando, a lo largo de las décadas de los 60, 70 y 80, la práctica totalidad del territorio, estableciendo un nuevo paisaje, en el que los espacios rurales han devenido en *islas*

⁹ El fenómeno del urban sprawl (Fulton et al, 2001; Galster et. al, 2001) difiere, de forma estructural, de la suburbanización de finales del XIX y principios del XX, generada en virtud de las nuevas redes de transporte público (tranvías y ferrocarril metropolitano). La era del urban sprawl (Arellano y Roca, 2010b) se inicia, propiamente, en la década de los 50, con la generalización del uso del automóvil potenciada por la construcción de la red de autopistas en USA y Europa. Aunque el trabajo principal de Gottmann fue publicado en 1961, cuando dicho proceso estaba ya en pleno auge, se basó en los datos del Census Bureau de 1950, motivo por el cual aún no pudo considerar plenamente la realidad de los cambios generalizados por el sprawl.

en el seno de un océano caracterizado por su elevado grado de urbanización. Este cambio se ha producido en el curso de una generación. Las mujeres y los hombres nacidos en 1950 han sido testigos de la magnitud de los cambios experimentados, caracterizados no sólo por el desarrollo progresivo de la urbanización, sino sobre todo por el continuado incremento en el consumo de suelo por habitante: el proceso denominado urban sprawl

En este contexto de cambio de escala del fenómeno urbanizador, Gottmann, en un trabajo posterior publicado en 1976, definió las megalópolis como *los grandes sistemas urbanos polinucleares caracterizados por una continuidad e interconexión suficientes entre ellos como para ser considerados un sistema en sí mismo*, proponiendo una masa crítica de 25 millones habitantes, como elemento caracterizador básico¹⁰. Para Gottmann la esencia de las megalópolis se encontraría en su carácter polinuclear, pero asimismo sería determinante la existencia de un (o varios) eje(s) estructurantes del sistema. En esas aglomeraciones gigantescas, de más de 25 millones de habitantes, densamente pobladas, se articularían una red de ciudades, con sus respectivos *hinterlands* de influencia, así como de áreas metropolitanas adyacentes, interconectadas por una red de relaciones entre los distintos centros urbanos.

Dicha red de relaciones vendría expresada por infraestructuras físicas tales como carreteras, vías de FFCC, canales de comunicación fluvial, líneas telefónicas, redes de abastecimiento de agua y de energía, sistemas de saneamiento y depuración de residuos, elementos, todos ellos, generadores de una elevada artificialización del entorno natural, los cuales producirían, a su vez, flujos de tráfico, movimientos de personas y mercancías, así como, en general, intercambio materia, energía e información entre los diferentes sistemas urbanos y metropolitanos. En este sentido, la superposición de redes y relaciones determinarían la progresiva interdependencia e integración de las antiguas estructuras urbanas y metropolitanas en el conjunto de la megalópolis; ciudades y metrópolis que, no obstante, continuarían manteniendo sus propias identidades, generando una compleja red de especialización e interdependencia que se beneficiaría de las economías de escala del conjunto megalopolitano.

La noción de megalópolis, no obstante, ha sido objeto de intenso debate. Peter Hall, por ejemplo, planteó si la megalópolis era una realidad física y funcional o más bien un concepto, una herramienta de análisis, eficaz para abordar el cambio de escala producido en el desarrollo urbano en la segunda mitad del siglo XX, pero imprecisa desde un punto de vista científico (Hall et al, 1973)¹¹. Hall reconoció en su trabajo tan sólo cinco superestructuras que merecerían a escala planetaria la denominación de megalópolis: *Northeastern Urban Complex* (la costa este de los Estados Unidos), *Great Lakes* (Chicago, Detroit y Cleveland), la *Japanese Megalopolis* (Tokyo, Yokohama, Nagoya y Osaka-Kobe), la *North-West European Megalopolis*

¹⁰ Para Gottmann existían a mediados de los setenta del siglo pasado seis sistemas urbanos que cumplían esa condición, las megalópolis: la American Northeastern Megalopolis y la Great Lakes Megalopolis en USA, la Tokaido Megalopolis en Japón, la megalópolis británica, la megalópolis of northwestern Europe, que se extendería de Amsterdam y el Ruhr hasta el conglomerado industrial del Norte de Francia, así como la *urban Constellation in Mainland China centered on Shanghai*. A dichas mega-estructuras se unirían pronto otras tres megalópolis en formación: "the Rio de Janeiro-São Paulo complex in Brazil; another, differently shaped megalopolis is forming in northern Italy, centered on the Milan-Turin-Genoa triangle and extending arms along the Mediterranean seashore southward to Pisa and Florence and westward to Marseilles and Avignon. The third case will probably be in California, centered on Los Angeles, extending northward to the San Francisco Bay area and encompassing urban centers along both sides of the Californian-Mexican border" (Gottmann, 1976).

¹¹ En palabras de Hall: "For all his brilliant evocation of Megalopolis, Gottmann never succeeds in defining it as a unique entity, and so never proves that it exists" (Hall, 1973: 47).

(del Randstat al Rhin-Ruhr), y, por último, el área que denomina *Megalopolis England* (que abraza desde el sudeste de Inglaterra hasta Lancashire y Yorkshire, incluyendo grandes ciudades como Londres, Birmingham, Manchester, Liverpool, Leeds, Bradford Sheffield, y otras). Fenómenos, todos ellos, confinados al que podríamos llamar *primer mundo*. Hall, después de un prolífico y complejo análisis referido al caso británico, llegó a la conclusión de que la *Megalopolis England* era un concepto analítico útil, una herramienta de trabajo eficaz para comprender el fenómeno urbano en Inglaterra, pero que desde un punto de vista físico, las políticas de contención urbana impulsadas desde la postguerra, y muy especialmente desde el *Barlow Report* de 1950, no permitían hablar, desde un punto de vista físico, de megalópolis y, que, en este sentido, la existencia de la megalópolis tendría que ser negada.

El mismo Peter Hall, en su más reciente trabajo (Hall y Pain, 2006), utiliza la expresión de *mega-city regions* en vez de megalópolis. A pesar de que no aparece una clara separación entre ambos conceptos, la propia geografía de las *mega-city regions*¹² analizada en el proyecto POLYNET, mucho más acotada que las aglomeraciones analizadas en el trabajo de 1973, sugieren una revisión de la noción de megalópolis, que no ha sido, no obstante, aparentemente desarrollada¹³.

Asimismo en un sentido aparentemente opuesto a la noción de megalópolis cabe inscribir la literatura dirigida al análisis de las *ciudades globales*, intuida por Hall (1966), y desarrollada por Friedmann (1986) y, sobre todo, Sassen (1991), entre otras muchas contribuciones. Dicha noción pone el acento, principalmente, en la competencia a escala planetaria entre ciudades, así como a la generación de un nuevo concepto de jerarquía que sobrepasaría la escala christalleriana de alcance local-regional.

No obstante lo anterior, los trabajos más recientes en la anterior perspectiva han venido a reconciliar el análisis de la globalización (que pone el acento la jerarquía y los flujos planetarios de bienes, personas e información) con el análisis territorial, del que deriva la noción de megalópolis. Así, por ejemplo, el inicial concepto de *ciudad global* ha derivado en la noción de *región urbana global* (Scott et al, 2001; Hall y Pain, 2006), acorde con el cambio de escala producido en la era del crecimiento megalopolitano.

Tal vez sea Richard Florida quien haya ido más lejos en ese enlace conceptual entre *globalización y megalopolitanización*. Florida ha insistido en que el análisis de la economía mundial ya no puede realizarse en los términos convencionales, de competencia e interacción entre naciones-estado. Las ciudades, más específicamente las mega-regiones urbanas, serían el escenario actual de esa competencia e interacción económica mundial. Las megalópolis están integradas por conjuntos de ciudades y sus correspondientes hinterlands suburbanos, en las cuales capital y trabajo pueden relocalizarse a bajo coste. En la economía globalizada, por tanto, la localización, el territorio, la concentración de actividades económicas, continúa siendo

¹² Concretamente, Hall y Pain (2006) hablan de *South Est England* (la aglomeración de Londres) frente a *Megalopolis England* (1973). Igualmente se refieren al *Randstad* o al *Rhin-Ruhr* como entidades diferenciadas (en 2006), frente a la *North-West European Megalopolis*.

¹³ Hall (2009) sitúa el origen del concepto *mega-city region* en el este asiático, en torno a los análisis surgidos en los años 90 referidos a las aglomeraciones en torno a los deltas del Yang-Tse y del Pearl River en China, el corredor de Tokaido en Japón y el Gran Yakarta. La referencia al término megalópolis parece ser tan sólo circunstancial, no dejando clara la diferencia entre ambos conceptos. En todo caso las *mega-city regions* de Hall requieren, tan sólo, la condición de contigüidad entre áreas metropolitanas adyacentes. No el conjunto de criterios que estableció el mismo Hall en su trabajo seminal de 1973.

relevante, ocupando las mega-regiones urbanas el papel que antaño tuvieron los estados (Florida et al, 2008). Siguiendo a Lucas (1988), las ciudades (entendidas ahora como mega-regiones urbanas) continúan atesorando la *mayor acumulación de capital humano*, representando el elemento determinante y conductor del desarrollo económico.

A Florida y su equipo le debemos, igualmente, el hasta el presente mayor esfuerzo en delimitar y caracterizar las mega-regiones mundiales. Su trabajo ha permitido identificar las 40 principales megalópolis mundiales desde la perspectiva de su aportación al *light-based regional product* (en adelante, LRP). El uso de la luz nocturna en función a la serie de imágenes satelitales facilitadas por el programa de observación de la Tierra realizado por el National Geophysical Data Center (en adelante, NOAA's), permite no sólo la delimitación de las megalópolis como muestra la Figura 2, sino también la construcción de un indicador eficaz para medir la contribución de los territorios al Gross Domestic Product (en adelante, GDP).

Figura 2. **Megalópolis en América del Norte**



Fuente: Florida et al (2008).

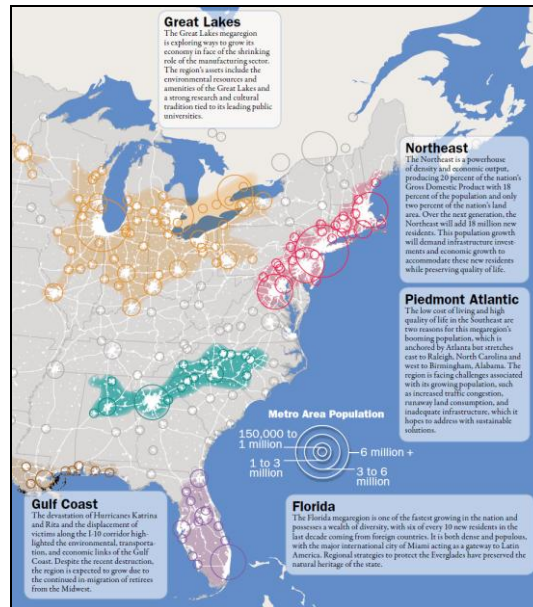
También desde una perspectiva más profesional, proveniente del ámbito que podríamos llamar *planning*, se ha producido una creciente atención al fenómeno megalopolitano, proponiéndose ese ámbito como la nueva frontera de la planificación urbana y territorial. Así, por ejemplo, el Lincoln Institute of Land Policy y la Regional Plan Association (Toward an American Spatial Development Perspective, 2004; Carbonell e Yaro, 2005) han propuesto la necesidad de una estrategia territorial para los USA, al estilo de la europea (ESDP, 1999), que contemple el hecho del desarrollo de las megalópolis, idea que ha tenido continuidad con la plataforma America 2050 como muestra la Figura 3, impulsada por la Regional Planning Association (en adelante, RPA) entre otras instituciones (RPA, 2006).

En este mismo sentido, Lang y Dhavale (2005) han identificado 8 megalópolis en los USA¹⁴, proponiendo Dewar y Epstein (2007) la necesidad de extender la planificación urbana a las

¹⁴ Esas 8 megalópolis, de más de 10 millones de habitantes, serían: Northwest (de Boston a Washington), Midwest (la megalópolis de los Grandes Lagos), Southland (Los Ángeles-San Diego-Las Vegas), Piedmont (en torno a Atlanta), I-35 Corridor (San Antonio/Dallas/Kansas City), Península (abrazando una buena parte de Florida), NorCal (en torno a San Francisco) y GulfCoast (Houston, New Orleans).

mega-regiones, en vez de limitarse a la escala urbana o metropolitana. Lo anterior ha llevado a la creciente colaboración entre distintas administraciones locales para el impulso de iniciativas conjuntas de planificación urbana y territorial, como The Southern California Mega-region (impulsada por el Kern County Council of Governments, la San Diego Association of Governments y la Southern California Association of Governments en 2005 (KERN, 2005).

Figura 3. Megalópolis en USA



Fuente: America 2050.

Muestra del creciente interés por las megalópolis es el hecho de que una revista especializada como *Regional Studies* haya dedicado un número especial (issue 43.6, 2009) al objetivo principal de establecer el futuro (los futuros) de la Ciudad-Región (Neuman y Hull, 2009; Hall, 2009; Lang & Knox, 2009; Wheeler, 2009; Turok, 2009; Healey, 2009; Roy, 2009). Lang y Knox (2009) han certificado la *defunción* de las metrópolis, como principales formas de desarrollo urbano contemporáneas, proponiendo que la nueva forma dominante de urbanización son las redes policéntricas de ciudades, físicamente separadas pero interconectadas funcionalmente, que denominan *New Metropolis* o áreas megalopolitanas, donde fenómenos como el urban sprawl o la descentralización de la actividad económica en las llamadas *edge cities* (Garreau, 1991) serían elementos concurrentes, junto a los tradicionales crecimientos metropolitanos. De esta forma se enlazarían, en una nueva forma de crecimiento urbano, áreas metropolitanas, áreas micropolitanas y territorios fronterizos de carácter emergente (Figura 4)¹⁵.

¹⁵ Lang y Knox (2009) reconocen distintas formas de desarrollo urbano: *áreas micro* y *metropolitanas* (tal como las define el Census Bureau), *metroplex* (dos o más áreas metropolitanas cuyos suburbios son contiguos, pero donde los centros se mantienen independientes), *corridor megalopolitan* (two or more metropolitan areas with anchor principal cities between 75 and 150 miles apart that form an extended linear urban area along an Interstate), *galactic megalopolitan* (three or more metropolitan areas with anchor principal cities over 150 miles apart that form an urban web over a broad area that is laced with Interstates) y *megaplex* (two megalopolitan areas that are proximate and occupy common cultural and physical environments and maintain dense business linkages).

Figura 4. The New Metropolis

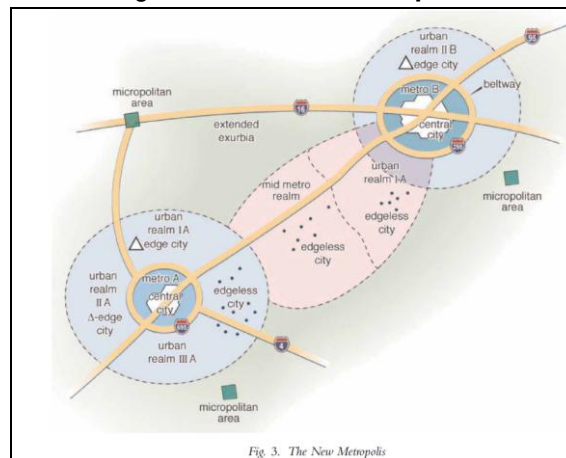


Fig. 3. The New Metropolis

Fuente: Lang & Knox (2009)

El concepto de megalópolis, avanzado por Gottmann hace más de 50 años, es hoy una realidad a escala planetaria. La mega-regiones urbanas no son el producto de límites administrativos o políticos artificiales sino el resultado de concentraciones excepcionales población y de capital, interrelacionadas a escala nacional y global. En palabras de Florida:

“Mega-regions are more than just a bigger version of a city or a metropolitan region. As a city is composed of separate neighborhoods, and as a metropolitan region is made up of a central city and its suburbs, a mega-region is a polycentric agglomeration of cities and their lower density hinterlands. It represents the new, natural economic unit that emerges as metropolitan regions not only grow upward and become denser but also grow outward and into one another. Just as a city is not simply a large neighborhood, a mega-region is not simply a large city—it is an ‘emergent’ entity with characteristics that are qualitatively different from those of its constituent cities.” (Florida et al, 2008: 461)

Cambio de escala en el desarrollo urbano que caracteriza el cambio de siglo.

2. Delimitación de las megalópolis: estado del arte

La delimitación de las megalópolis representa un hecho complejo. La pluralidad de relaciones existente entre las ciudades y metrópolis que conforman el hecho megalopolitano excede, en mucho, las simples relaciones funcionales basadas en el *commuting* diario residencia/trabajo, propio de las áreas metropolitanas. Además, cabe considerar la relativa escasez, a escala mundial, de información homogénea, lo que acrecienta aún más la dificultad de identificar y definir con precisión las áreas megalopolitanas.

A pesar de que la mayor parte de los trabajos dirigidos a la identificación de aglomeraciones megalopolitanas coincide en proponer metodologías híbridas de delimitación, que aúnen la comprensión de las mega-ciudades regionales como *espacio de lugares* a la vez que *espacio*

de flujos (Taylor, 2004; Lang y Dhavale, 2005), la realidad es que pocos esfuerzos (Hall et al, 1973¹⁶) se han realizado en este sentido, prevaleciendo en la literatura especializada los trabajos de tipo sectorial. En este sentido las principales aportaciones se han concentrado en cuatro metodologías fundamentales, en función del elemento determinante de análisis: las relaciones funcionales; la densidad de los asentamientos humanos; la morfología del desarrollo urbano, especialmente la contigüidad de la urbanización; y, de forma más difusa, lo que podríamos llamar el conocimiento local.

El trabajo seminal de Gottmann (1957 y 1961) inauguró la primera de esas metodologías, que podríamos denominar *aproximación geográfico-funcional*. A pesar de que Gottmann caracterizó la megalópolis del Noreste de los USA como *an almost continuous stretch of urban and suburban areas*, en realidad no definió la mencionada aglomeración urbana de forma precisa desde un punto de vista físico. Su aproximación fue de naturaleza funcional, cualitativa, como *yuxtaposición de áreas metropolitanas* (las cuales venían definidas por el Censo como ámbitos funcionales de *commuting* diario residencia/trabajo). La noción de contacto, coalescencia y solapamiento (Clawson, 1971; Hall et al, 1973) de ámbitos funcionales metropolitanos, es por tanto, el factor primario que permite la identificación de las megalópolis. *Las áreas metropolitanas se convierten, de esta forma, en las piezas básicas constituyentes de la gran aglomeración*. Contacto (no necesariamente físico, entendido como como continuidad de la urbanización¹⁷) que comporta el desarrollo exponencial de relaciones (de nuevo funcionales) entre las metrópolis, caracterizadas por el continuo traslado de personas, mercancías e información, el cual permite la consolidación del área en su conjunto como una nueva formación espacial.

Esa *aproximación geográfico-funcional* es la adoptada, asimismo, por otros trabajos, como el ya citado *America 2050* o el proyecto europeo POLYNET que muestra la Figura 5 (Hall y Pain, 2006). Éste último, en palabras de Peter Hall:

“The *Mega-City Region* is then defined in terms of contiguous FURs¹⁸, and is thus similar to the so-called Consolidated Metropolitan Statistical Area (CMSA)¹⁹ used in the United States. Contiguity is the sole criterion. There may be functional

¹⁶ Cabe citar, dentro de los trabajos dirigidos a aunar metodologías de delimitación, el de Hall et al (1973), que establece cuatro criterios: 1) contacto (áreas metropolitanas contiguas); 2) interacción (flujos de personas, bienes e información entre dichas áreas metropolitanas); 3) crecimiento (concentración de una parte significativa del crecimiento nacional o regional); y 4) impacto físico (o continuidad en el proceso de urbanización).

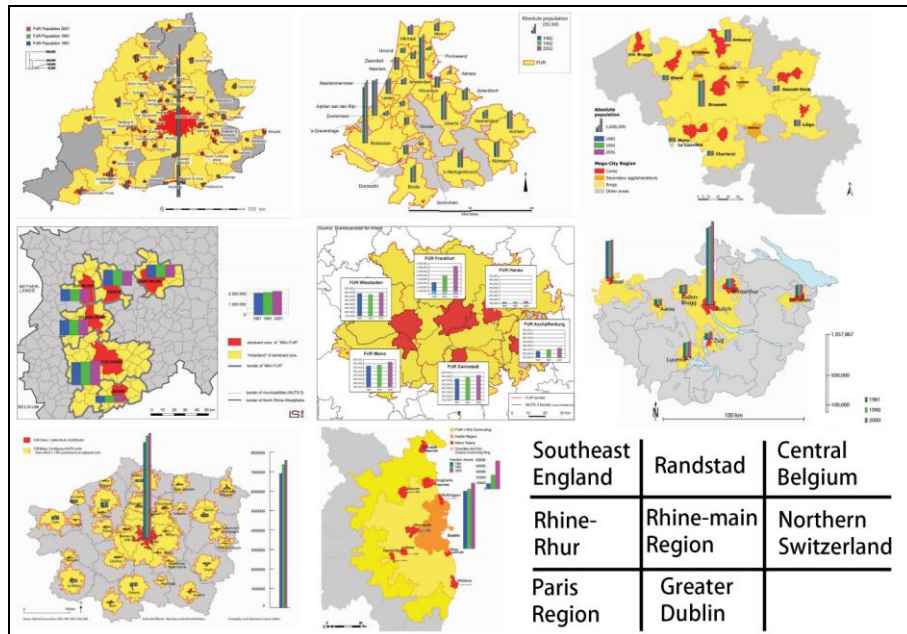
¹⁷ Cabe recordar que según la metodología del Bureau of Census USA, las áreas metropolitanas vienen conformadas por la agrupación de unidades administrativas (*counties*), las cuales incluyen junto a las áreas urbanizadas, amplias extensiones de suelo rural.

¹⁸ Las Funcional Urban Regions (en adelante, FUR) fueron establecidas desde finales de los 60, en el Reino Unido, como aplicación de la metodología del Bureau of the Census USA a la realidad urbana europea (Royal Commission on Local Government in England, 1968; Hall et al, 1973; Hall y Hay, 1980; Cheshire y Hay, 1989).

¹⁹ La relación entre metrópolis ya fue anticipada por el propio Censo USA, el cual a partir de su delimitación de áreas metropolitanas de 1990 reconoció las *Consolidated Statistical Metropolitan Areas* (en adelante, CSMA), formadas por agrupación de las *Primary Metropolitan Areas* (en adelante, PMA). Sin embargo, y a pesar de lo indicado por Hall en el texto reproducido, no cabe confundir las áreas metropolitanas consolidadas con las megalópolis o las mega-ciudades regionales. Las CSMA se caracterizan por la existencia de fuertes vínculos basados en el *commuting* residencia/trabajo entre la metrópolis principal y el resto de PMAs, condición que no caracteriza necesariamente a las megalópolis, en las cuales las relaciones internas son acusadamente más ligeras. Así, para que una PMA forme parte de una CSMA es preciso que al menos un 15% de los residentes trabajen en la metrópolis madre. Este es el caso, por ejemplo, de Philadelphia respecto a New York, o de Sabadell-Terrassa respecto a Barcelona. Pero no lo es en el caso Washington-Baltimore o Boston (en el ejemplo de la megalópolis del Noreste de los USA), o de Tarragona-Reus (en el de la gran aglomeración mediterránea catalana).

relations (cross-commuting) between the constituent FURs, or there may not; this would emerge only in the course of the analysis.” (Hall, 2009: 807)

Figura 5. Polynet Mega-Cities Regions



Fuente: Hall y Pain (2006).

Dos objeciones, sin embargo, pueden formularse a la anterior *aproximación geográfico-funcional*:

- La primera, que *la simple yuxtaposición de áreas metropolitanas no es condición suficiente para que se produzcan fenómenos de interacción fuerte*. Dos áreas pueden parecer unidas, pero existir entre ambas amplias extensiones de suelo rural. El ejemplo de la llamada *Southern California Megalopolis* (Lang y Dhavale, 2005; KERN, 2005) sirve para ilustrar dicha objeción: la inclusión de Las Vegas en la gran aglomeración de Los Ángeles / San Diego / Tijuana, cuando existen más de 70 millas de desierto entre las áreas urbanizadas, evidencia que la delimitación administrativa (en *counties*) no está exenta de influencia en la aparente yuxtaposición de áreas urbanizadas.

- La segunda, y dado que en la actualidad la movilidad de bienes, personas e información se extiende a escala no solo local y regional sino también nacional e internacional, se hace necesario concretar el grado de relación (*interacción fuerte*), es decir el umbral o cut-off, a partir de cual poder definir las megalópolis. La mayor parte de los trabajos ensayados, Gottmann incluido, no han sido capaces de concretar esa medida, quedándose en el terreno menos exigente, cualitativo, que podríamos denominar *interacción débil*, que describe las relaciones funcionales existentes en el seno de la aglomeración.

Cabe concluir, por tanto, que la concepción de megalópolis entendida como entidad funcional, dado el estado actual de la literatura especializada, se mueve más en el terreno de la intuición, de la hipótesis de investigación, que en el campo de las ideas contrastadas. La simple yuxtaposición de entidades funcionales (a veces separadas por grandes extensiones de suelo no urbanizado) no garantiza la existencia de vínculos determinantes que justifiquen la existencia de las estructuras que denominamos megalópolis. Todo ello, unido a las dificultades implícitas relativas a la definición a escala mundial de sistemas urbanos y metropolitanos basados en las relaciones funcionales residencia-trabajo, implica la no adecuación de dicha metodología como mecanismo general para la delimitación de megalópolis.

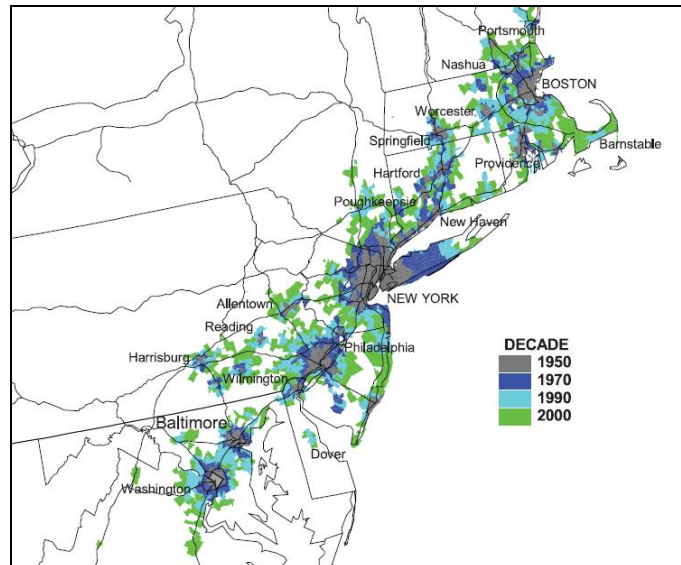
La segunda aproximación para la definición de las megalópolis es el análisis de los patrones espaciales de la densidad de los asentamientos humanos. Si la urbanización se caracteriza, respecto al entorno rural, por la concentración de la población y de la actividad económica, entonces la densidad puede representar un eficaz mecanismo de evaluación del fenómeno urbano. La densidad de población ha sido considerada, de forma tradicional, como un sistema eficiente para la delimitación de aglomeraciones urbanas. La redefinición de los Distritos Metropolitanos en los USA, en 1940, representó un primer paso en esta dirección. Así éstos se definieron como la ciudad central (de más de 50.000 habitantes) junto a las divisiones administrativas menores contiguas a aquélla que tuviesen una densidad de población superior a 150 habitantes por milla cuadrada (Bureau of the Census, 1942). Criterio que más adelante, a partir de 1950, daría lugar al concepto de área urbanizada (*urbanized area*), definida ésta como el territorio contiguo densamente edificado, que contenga un mínimo de población de 50.000 habitantes y una densidad superior o igual a 1.000 habitantes por milla cuadrada (Bureau of Census, 1990), y que en Europa ha servido para delimitación de las aglomeraciones metropolitanas realizada a partir del Audit Urbano (entendidas éstas como el conjunto de entidades administrativas adyacentes, al nivel NUT más desagregado, con una densidad superior a 500 hab./km²).

Desde esta perspectiva, la característica fundamental para la delimitación del espacio megalopolitano sería, para Gottmann (1976), la densidad de los asentamientos humanos. La densidad representa una medida sintética del grado e intensidad de los asentamientos humanos, así como del conjunto de interacciones que los mismos generan. Densidades superiores de media a los 250 habitantes por km² marcarían, para Gottmann, la frontera para la delimitación de las grandes aglomeraciones regionales urbanas. Sin embargo, las megalópolis se caracterizarían, fundamentalmente, por su carácter polinuclear, apareciendo entre los diferentes centros urbanos extensas áreas no urbanizadas, lo que dificultaría en extremo la utilización de un estándar predeterminado de densidad.

Morrill (2006), ha actualizado el trabajo de Gottmann referente a la gran aglomeración del Noreste USA por medio de la consideración de las *urbanized areas*, lo que permite observar la evolución de la megalópolis de Boston-Washington entre 1950 y 2000. El trabajo de Morrill permite ver, asimismo, cómo *el criterio de densidad (a partir del área urbanizada) no representa un mecanismo eficiente para la definición de las megalópolis (Figura 6)*. No solo debido a la

discontinuidad de las áreas densamente pobladas²⁰, sino a proliferación, a partir de los años 70' del fenómeno del *ex-urban sprawl*²¹.

Figura 6. **Áreas Urbanizadas en la Megalópolis de Boston-Washington**



Fuente: Morrill (2006).

A su vez los distintos modelos de ocupación humana del espacio, con áreas de baja densidad y elevada artificialización, como los grandes suburbios del *sprawl* en los USA, las redes polinucleares de densidades medias, características de la Europa continental, o los asentamientos de elevada densidad de Asia, hacen complicada la utilización de una densidad uniforme a lo largo del planeta para la delimitación de las megalópolis mundiales, representando una metodología que la mayor parte de los trabajos especializados ha optado por evitar.

La tercera de las metodologías desarrolladas en la literatura especializada, *la aproximación morfológica*, pone el acento en la continuidad de la urbanización, materializada, principalmente, a partir de ejes estructurantes de comunicación. Dicha metodología se inspira en los primeros criterios que se desarrollaron para la definición del hecho urbano en la época del crecimiento metropolitano. Las aglomeraciones urbanas, una vez desbordados los límites administrativos de la ciudad central, vinieron a definirse en una primera instancia en virtud a criterios estrictamente físicos. La contigüidad del crecimiento urbano se presentó, así, como el elemento determinante para la distinción entre la ciudad y su entorno rural. Los distritos metropolitanos definidos en los USA en 1910, y las conurbaciones británicas, en su concepción oficial establecida en 1951, son ejemplos suficientemente conocidos de este tipo de delimitaciones. En el mismo sentido cabe citar las recomendaciones de las Naciones Unidas que establecieron el concepto de aglomerado urbano en cuanto continuo construido sin discontinuidades

²⁰ Incluso para el año 2000 no se produce la contigüidad plena de las áreas urbanizadas en el ámbito de la megalópolis neoyorquina.

²¹ Morrill indica que si bien el área definida como megalópolis (a partir de las áreas urbanizadas) tiene una población (2000) de 42.400.000 habitantes, *the exurban area surrounding Megalopolis, with high levels of commuting to Megalopolitan jobs, housed at least eight million more.*

superiores a 200 metros y que ha tenido amplia difusión en la delimitación de las áreas urbanas (NUREC, 1994).

En la actualidad la tecnología basada en la teledetección permite de forma suficientemente precisa la obtención de las cubiertas de suelo (*land covers*), y por lo tanto cartografiar el suelo artificializado. Sin embargo, si el objetivo es desarrollar el mapeo a escala mundial, los esfuerzos computacionales son demasiados costosos, no existiendo hasta el presente un trabajo unitario de elevada precisión que permita comparar los desarrollos urbanos²². A su vez, las metodologías basadas en las cubiertas del suelo hasta ahora desarrolladas, no facilitan de momento la detección de estructuras complejas como las megalópolis, en las que tejidos de muy diferente intensidad de urbanización se entremezclan con espacios abiertos, de carácter rural.

De forma paralela, las *imágenes nocturnas obtenidas mediante teledetección*, han representado un camino alternativo para la definición de las megalópolis, y en general de los sistemas urbanos y metropolitanos. A partir del trabajo pionero de Elvidge et al (2001), se han desarrollado multitud de estudios basados en la información generada con las imágenes nocturnas. Dicha aproximación ha permitido no sólo la construcción de atlas de luces nocturnas artificiales como se ve en la Figura 7 (Cinzano et al, 2001), sino que ha derivado en una consistente literatura que ha generado la construcción de índices para el análisis del desarrollo humano (Elvidge et al, 2012), la distribución global de la actividad económica (Gosh et al, 2010), el mapeo del GDP y las emisiones de CO₂ a escala regional (Doll et al, 2000 y 2006) así como, y muy particularmente, la delimitación y caracterización de aglomeraciones urbanas como muestra la Figura 8 (Florida et al, 2008).

Para Florida la delimitación de las megalópolis puede ser realizada mediante el análisis de las luces nocturnas, generando *patches* continuos iluminados²³ separados por 2 km. Dicha información, obtenida a partir del Earth Observation Program del NOAA's²⁴, unida a la población espacialmente distribuida facilitada por LandScan (facilitada por el Oak Ridge National Laboratory)²⁵ así como a la actividad económica (*light-based regional product*), permite la obtención de las principales mega regiones urbanas mundiales.

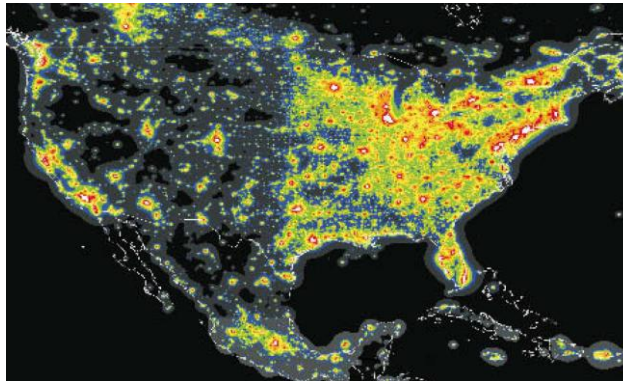
²² A escala mundial, el Joint Research Center de la Comisión Europea impulsó, con la colaboración de socios de todos los continentes, el proyecto Global Land Cover 2000 Project (en adelante, GLC 2000), cuya conclusión no ha sido del todo exitosa. A escala local, en cambio, existen numerosas experiencias de análisis, mediante remote sensing, de las cubiertas territoriales. En los USA, por ejemplo, cabe destacar el trabajo pionero del USGS. O, en Europa, el proyecto CORINE LAND COVER.

²³ Florida et al (2008) definen las áreas urbanas *in terms of contiguously (or very nearly contiguously) lighted areas as seen from space at night*. Sin embargo, el concepto *áreas iluminadas* es impreciso, puesto que todo el planeta refleja algún tipo de luz hacia el espacio, requiriendo mayor información a fin de poder contrastar los resultados establecidos en su trabajo.

²⁴ La información facilitada por el NOAA's National Geophysical Data Center provee una medida de la intensidad lumínica nocturna para cada celda de 30 segundos-arco, entre las latitudes 65 Norte y Sur. Esas celdas cubren una superficie de, aproximadamente, un 1 km² en el ecuador.

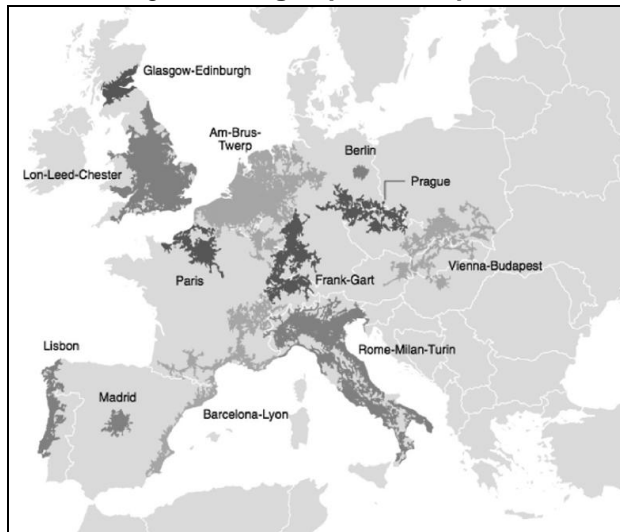
²⁵ En palabras del Oak Ridge National Laboratory (<http://web.ornl.gov/sci/landscan/>): "Using an innovative approach with Geographic Information System and Remote Sensing, ORNL's LandScan™ is the community standard for global population distribution. At approximately 1 km resolution (30" X 30"), LandScan is the finest resolution global population distribution data available and represents an ambient population (average over 24 hours). The LandScan algorithm, an R&D 100 Award Winner, uses spatial data and imagery analysis technologies and a multi-variable dasymmetric modeling approach to disaggregate census counts within an administrative boundary. Since no single population distribution model can account for the differences in spatial data availability, quality, scale, and accuracy as well as the differences in cultural settlement practices, LandScan population distribution models are tailored to match the data conditions and geographical nature of each individual country and region." (ORNL, 2012: s/p).

Figura 7. Luces nocturnas y urbanización en Norteamérica



Fuente: Cinzano et al (2001).

Figura 8. Megalópolis europeas



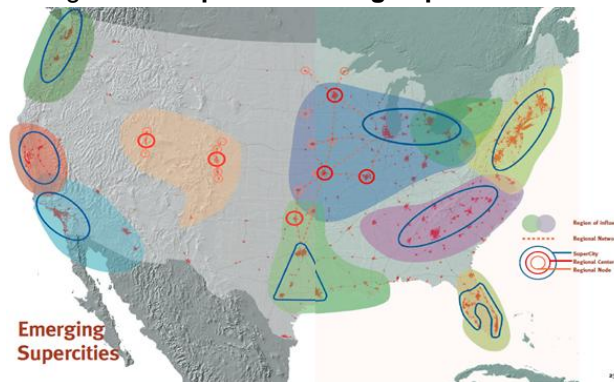
Fuente: Florida et al (2008).

Cabe concluir que la metodología morfológica, a partir de las imágenes satelitales, representan una aproximación útil para la identificación de las estructuras megalopolitanas. Sin embargo, dada la extraordinaria pluralidad y complejidad de las formas de asentamiento urbano a lo largo de los diferentes continentes, resultado de escenarios físicos (relieve, hidrografía, etc.) muy variados, así como de distintos procesos históricos y culturales, no parece oportuna la utilización de un criterio estricto de continuidad de la urbanización, del estilo de los 200 metros generalmente utilizados para definir aglomeraciones urbanas. *Las luces nocturnas representan, en cambio, una información clave para la comprensión de los fenómenos megalopolitanos, aunque la metodología de aplicación es aún objeto de debate.*

Finalmente, y para cerrar este apartado relativo a las metodologías de definición e identificación de las megalópolis, se debe hacer referencia a la *aproximación cualitativa basada en el conocimiento local*. Dicha aproximación, que sin duda es la más utilizada en la literatura especializada, no responde a una metodología cuantitativa concreta, sino que responde a una visión intuitiva, basada en el conocimiento profesional de los planificadores urbanos. Desde

dicho planteamiento, el Lincoln Institute of Land Policy, conjuntamente con la Regional Planning Association y la Pennsylvania School of Design, desarrollaron en 2004 la propuesta denominada *Toward an America Spatial Development Perspective*, en la que proponían un cambio cualitativo en la ordenación territorial de los Estados Unidos, que superase la escala simplemente local (*place, county*), e incluso metropolitana, proponiendo las megalópolis como ámbito territorial básico de planeamiento. Desde la misma perspectiva, la plataforma America 2050 ha planteado una nueva escala de planeación territorial, con las mega-estructuras urbanas (Figura 9) como base. Y, en el mismo sentido, cabe inscribir los trabajos conectados con las anteriores aportaciones como Lang y Dhavale (2005), Carbonell y Yaro (2005) o Lang y Knox (2009), así como las iniciativas de carácter local dirigidas a impulsar sinergias a escala regional urbana (como The Southern California Mega-region, impulsada por el consorcio entre el Kern County Council of Governments, la San Diego Association of Governments y la Southern California Association of Governments en 2005).

Figura 9. Propuesta de Megalópolis en USA



Fuente: America 2050

Las delimitaciones basadas en el conocimiento local, a pesar del indudable interés práctico de las mismas, adolecen de una limitación intrínseca: al no existir una metodología precisa, difícilmente pueden ser utilizadas para una investigación dirigida al análisis global. No son *exportables*, teniendo en consecuencia un impacto limitado en estudios a escala mundial, como el que en este trabajo se intenta.

Cabe concluir, en relación al estado del arte relativo a la delimitación de las megaciudades mundiales, la *enorme dificultad de aprehender en una metodología integrada la identificación de un fenómeno tan complejo como es el cambio de escala producido en los procesos de urbanización en los albores del siglo XXI*. Complejidad morfológica, funcional, económica, social y ambiental que no parece pueda ser sintetizada mediante un sistema sencillo de indicadores que permitan la identificación y delimitación precisa de las macroregiones urbanas mundiales. Ello no obstante, el presente trabajo se inscribe en la línea de que las imágenes satelitales, especialmente las derivadas de las luces nocturnas, representan la aportación más útil en el camino planteado.

3. Metodología

La delimitación de las megalópolis a escala planetaria se ha realizado, en este trabajo, por medio del análisis de la imagen de luces nocturnas. En 2013, la NASA ha publicado la nueva serie de imágenes nocturnas de la Tierra que se denomina *black marble*, que ha venido a representar un salto cualitativo en nuestra visión, desde el espacio, del fenómeno urbanizador²⁶ (Figura 10).

Figura 10. **Black marble, 2012**



Fuente: NASA, Google Earth.

En palabras de la propia NASA:

“This new image of the Earth at night is a composite assembled from data acquired by the Suomi National Polar-orbiting Partnership (Suomi NPP) satellite over nine days in April 2012 and thirteen days in October 2012. It took 312 orbits and 2.5 terabytes of data to get a clear shot of every parcel of Earth’s land surface and islands.

The nighttime view of Earth was made possible by the “day-night band” of the Visible Infrared Imaging Radiometer Suite. VIIRS detects light in a range of wavelengths from green to near-infrared and uses filtering techniques to observe dim signals such as gas flares, auroras, wildfires, city lights, and reflected moonlight.

(...)

Named for satellite meteorology pioneer Verner Suomi, NPP flies over any given point on Earth’s surface twice each day at roughly 1:30 a.m. and 1:30 p.m. The

²⁶ La imagen analizada no sólo incluye la luz generada por la urbanización, lo que requiere un pormenorizado trabajo de depuración de la misma de los llamados *wildfire*. Botes de pesca, pozos de extracción de petróleo, y en general de carácter minero, incendios forestales, quema de rastrojos agrarios, y muchas otras luces de origen rural, junto a fenómenos naturales como las auroras boreales o el reflejo de la luz de la Luna, *contaminan* la imagen.

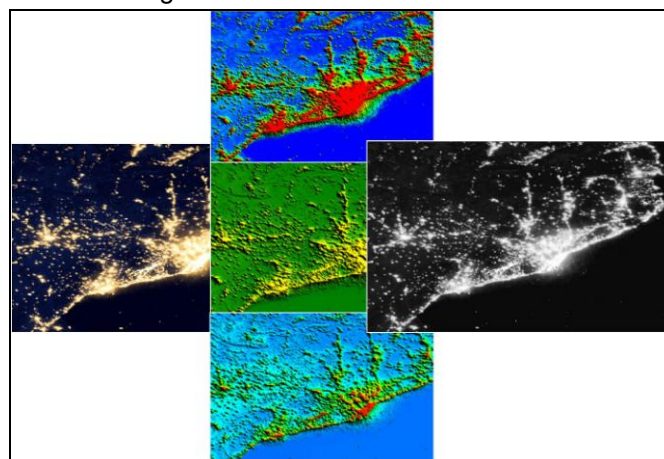
spacecraft flies 824 kilometers (512 miles) above the surface in a polar orbit, circling the planet about 14 times a day. Suomi NPP sends its data once per orbit to a ground station in Svalbard, Norway, and continuously to local direct broadcast users distributed around the world. The mission is managed by NASA with operational support from NOAA and its Joint Polar Satellite System, which manages the satellite's ground system.” (NASA, 2012: s/p).

La descarga, desde la citada página web de la NASA, permite la obtención de una imagen georeferenciada de 384 Mb, y 54.000 columnas y 27.001 filas y una resolución de 0,00667 grados por píxel, que ha sido la utilizada en este trabajo de delimitación de las megalópolis. La delimitación, por tanto, es potencialmente más precisa que la realizada en trabajos anteriores (Florida et al, 2008), que utilizaron imágenes con una resolución menor (30 segundos arco por píxel).

La metodología empleada puede ser sintetizada en los siguientes aspectos fundamentales:

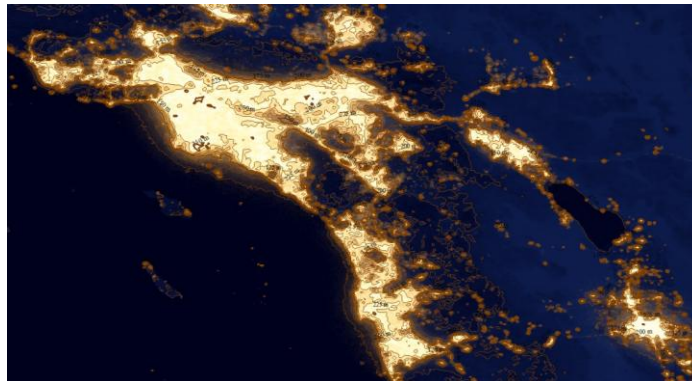
- En primer lugar se ha analizado el archivo suministrado por la NASA, el cual nos ofrece, en el espectro visible, tres imágenes (R-G-B) diferenciadas de las luces nocturnas. En este sentido se ha tenido que proceder a la composición de *una imagen única en la paleta convencional de grises (0-255)*, tal como se puede observar en la Figura 11.

Figura 11. Luces Nocturnas 2012

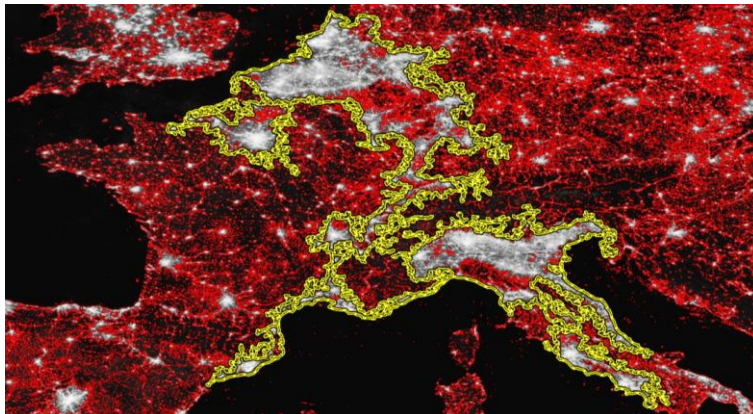


Fuente: Elaboración propia a partir de NASA (2012).

- La *conversión de la imagen de grises en elevaciones* permite la elaboración de *contornos*, a diferentes niveles de intensidad, capaces de identificar hipótesis distintas de megalópolis mundiales. En este sentido se han ensayado diferentes alternativas (véase Figuras 12 y siguientes), que han conducido a adoptar, en principio, la *curva de nivel* relativa a la intensidad 64 (relativa a ¼ parte de las 256 intensidades de luz analizadas).

Figura 12: **Contornos de intensidad de luz. Área de Los Ángeles-San Diego-Tijuana**

Fuente: Elaboración propia a partir de NASA (2012).

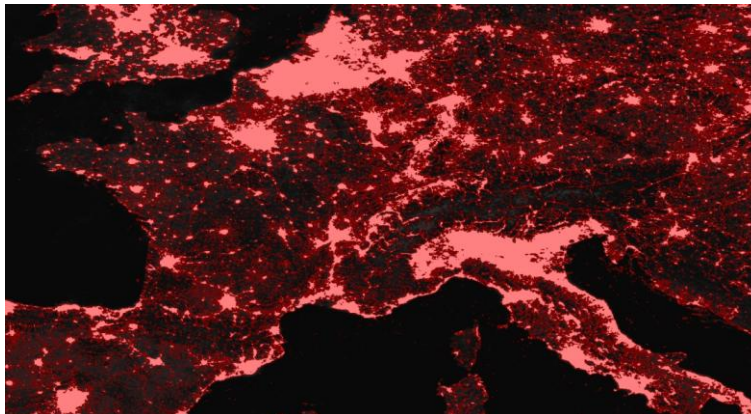
Figura 13. **Contornos iluminados de intensidad 50 en Europa**

Fuente: Elaboración propia a partir de NASA (2012).

Dicha intensidad de luz (64 sobre 256) permite identificar mejor las estructuras megalopolitanas que otros umbrales alternativos. Por ejemplo, en torno a la intensidad 40 se sitúa el reflejo de la luz por el hielo de los polos, muy cerca de la intensidad 38, reflejo de la luz nocturna por los desiertos de arena. Por su parte, la intensidad 50, en la que el efecto urbanizador empieza a ser claramente identificable respecto a las luces de origen rural, genera contornos megalopolitanos difícilmente aceptables, desde la perspectiva del *conocimiento local*, como la megaestructura existente en la Europa central (ver Figura 13) que abarca las aglomeraciones Bruselas – Randstad - Rhin Ruhr, Stuttgart - Estrasburgo, Zurich - Berna, Ginebra – Lion - Marsella, Barcelona –Tarragona - Girona²⁷, Torino – Milán - Véneto, y Roma - Nápoles, con una extensión de 373.000 km². El análisis de dichos resultados, contrastados desde la intuición del *conocimiento local*, ha conducido a considerar el umbral 64, para la delimitación de las megalópolis mundiales. La Figura 14 identifica, para la misma vista que la figura anterior, dichos contornos de luz, los cuales parecen adaptarse mejor a la realidad.

²⁷ Dicha aglomeración, “catalana”, alcanza el Rosselló francés (con Perpiñán) pero no así Castellón, ni Valencia-Alicante-Murcia, ni Almería, ni tampoco la aglomeración Málaga-Marbella-Algeciras. La “intensidad 50” ofrece, por tanto, una imagen “europea” de Cataluña, pero no confirma la hipótesis de una incipiente megalópolis mediterránea ibérica, estrechamente conectada con la Europa Central establecida en otros trabajos (Florida, Gulden & Mellander, 2008), lo cuales identifican una mega-estructura que iría desde Murcia hasta Lion, de forma continua.

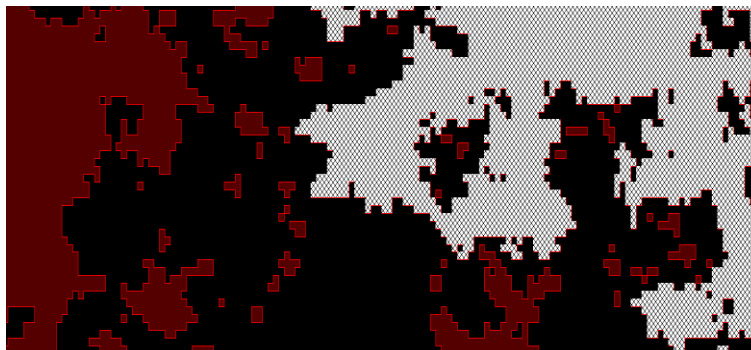
Figura 14. Contornos de luz de intensidad 64 en Europa



Fuente: Elaboración propia a partir de NASA (2012).

- Los contornos de luz (2012) con intensidad igual o superior a 64 han permitido identificar los *continuos iluminados* del planeta de carácter urbano, los cuales se han agregado en estructuras más grandes cuando existía contigüidad por vértice, o separación de un píxel como máximo, tal como se desprende de la Figura 15, en la que se muestran las aglomeraciones de Boston (en blanco) y New York (en rojo).

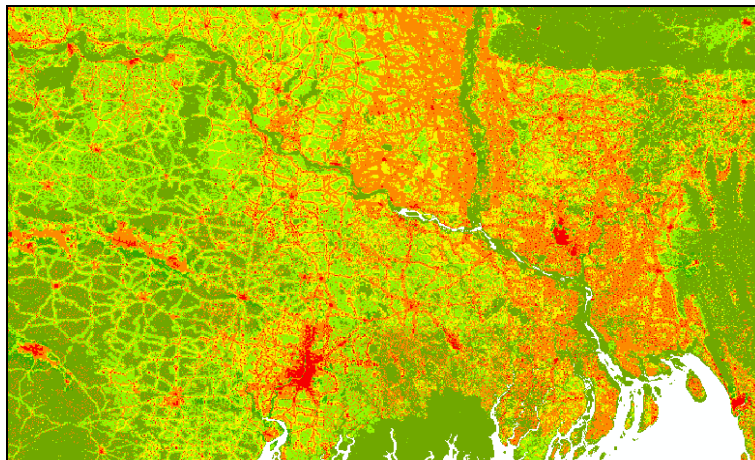
Figura 15. Detalle de los Continuos Iluminados de intensidad 64 de New York y Boston



Fuente: Elaboración propia a partir de NASA (2012).

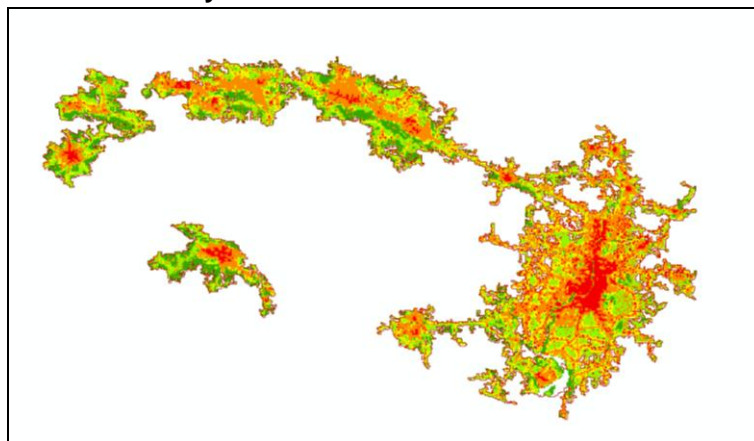
- Finalmente, se ha estimado *la población de los contornos continuos de intensidad 64 o superior* mediante el solapamiento de la información relativa a la población (2008) contenida en la ya citada base de datos *LandScan* desarrollada por el Oak Ridge National Laboratory de USA. *LandScan* permite analizar la estructura poblacional de los diferentes entornos urbanizados del planeta, con un grado de aproximación a la realidad altamente significativo, tal como puede apreciarse en la Figura 16 referida al área de Calcuta. La superposición de los contornos iluminados de intensidad 64 con la base de datos de *LandScan* (véase Figura 17) ha permitido calcular la población de los mismos, identificando las megalópolis planetarias (2008-12).

Figura 16. Distribución espacial de la población humana según la BD LandScan



Fuente: Elaboración propia a partir de LandScan (2012).

Figura 17. Superposición de los contornos iluminados (64) y la base de datos LandScan



Fuente: Elaboración propia a partir de LandScan (2012).

El cálculo de la población se ha realizado para la totalidad de los continuos iluminados del planeta delimitados a partir de la metodología anterior. Dicha aproximación ha permitido identificar y caracterizar desde un punto de vista demográfico las diferentes tipologías de asentamiento humano en el planeta, desde los pueblos y ciudades pequeñas y medias a las aglomeraciones metropolitanas y megalopolitanas. En este sentido se han diferenciado las proto-estructuras megalopolitanas (entendiendo como tales los continuos iluminados con una población superior a 5 millones de habitantes), de las megalópolis propiamente dichas, identificadas a partir del umbral de población de 20 millones de habitantes.

4. Resultados

La aplicación de la metodología desarrollada en el epígrafe anterior permite la identificación de 444.502 áreas pobladas iluminadas (intensidad 64), las cuales denotan la distribución que se

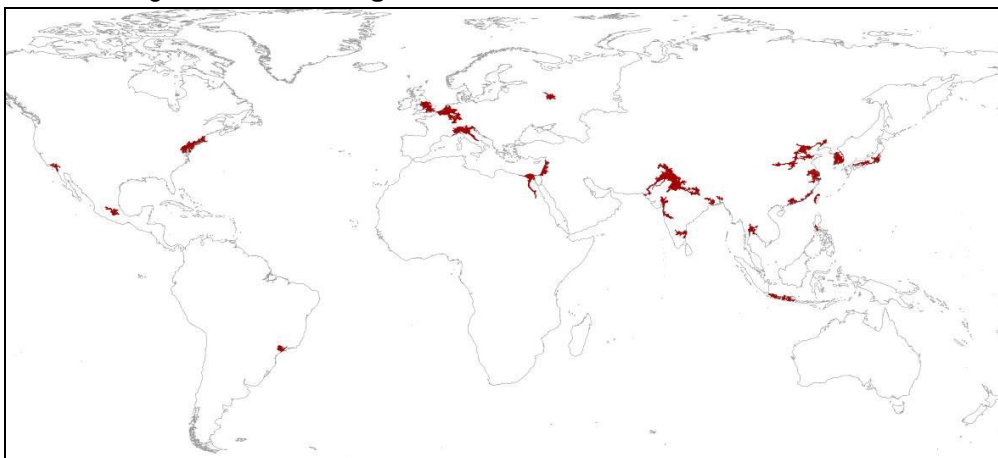
presenta en la Tabla 1. Son 433 de esas áreas iluminadas las que alcanzan una población superior al millón de habitantes, concentrando 2.537 millones de habitantes, un 37,8% de la población del planeta. De esas 433, 92 superan los 5 millones, representando las *semillas* de las estructuras megalopolitanas.

Tabla 1. **Distribución de la población de las áreas iluminadas (intensidad 64)**

Población Int. 64	Frecuencia	Porcentaje	Acumulado
> 20.000.000 hab.	24	,005	,0
10.000.000-20.000.000 hab.	23	,005	,0
5.000.000-10.000.000 hab.	45	,010	,0
1.000.000-5.000.000 hab.	341	,077	,1
500.000/1.000.000 hab.	366	,082	,2
100.000-500.000 hab.	2.323	,523	,7
50.000-100.000 hab.	2.453	,552	1,3
10.000-50.000 hab.	12.325	2,773	4,0
5.000-10.000 hab.	12.371	2,783	6,8
1.000-5.000 hab.	57.357	12,904	19,7
100-1.000 hab.	133.982	30,142	49,9
< 100 hab.	222.892	50,144	100
TOTAL	444.502	100	

Fuente: Elaboración propia a partir de LandScan (2012).

Figura 18. **Proto-Megas de más de 15 millones de habitantes**



Fuente: Elaboración propia a partir de LandScan (2012).

Para la delimitación de las megalópolis se seleccionan que en este trabajo los continuos iluminados con una intensidad igual o superior a 64, con una población estimada para 2008 (LandScan) superior a 15 millones de habitantes. En el planeta existen 30 estructuras de ese tipo, que denominamos *proto-megas* (véase Figura 18), las cuales alcanzan una población (2008) de 1.298.757.300 habitantes. Dichas proto-megas se unen a los contornos iluminados existentes en su entorno (a una distancia igual a un píxel) generando las mega-estructuras que aquí denominamos megalópolis.

En el trabajo que aquí se presenta se identifican 26 megalópolis. De esta manera los 24 contornos continuos iluminados (intensidad 64) de la Tabla 1 con una población superior a 20 millones de habitantes se convierten en 26 mega-regiones si se atiende a la metodología indicada (Tabla 2).

Tabla 2. **Megalópolis (> 20 millones de habitantes)**

Megalópolis	Población	Superficie
Indio_pakistaní	228.482.082	232.063,48
Java	97.818.609	44.643,43
Delta Yang Tse	83.378.386	61.635,58
Hokaido	82.274.578	44.337,03
Nilo	80.651.862	62.816,61
Beijing	78.835.106	63.641,85
Centro Europa	59.742.557	95.982,48
Zhengzhou-Xian	53.328.310	40.309,40
Pearl River	52.078.700	27.233,41
NY-Boston-Washington	49.685.899	85.170,18
South Korea	46.802.831	50.657,30
Calcuta	42.878.107	18.984,73
Uttar Pradesh	42.072.613	27.480,07
England	38.782.052	43.635,51
México	35.554.545	30.371,74
Mombay	32.900.124	15.288,50
Sao Paulo	30.959.310	23.402,76
Bangalore-Chennai	30.803.974	23.121,51
Mediterráneo Oriental	30.192.082	41.785,57
Coast of Fujian	30.040.766	15.221,38
Norte de Italia	28.727.901	74.782,22
Ahmedabad-Silvassa	26.558.570	24.455,59
Manila	26.066.431	5.035,99
West Taiwan	22.047.022	15.146,67
South California	21.898.930	18.452,49
Dhaka	21.729.747	6.114,48

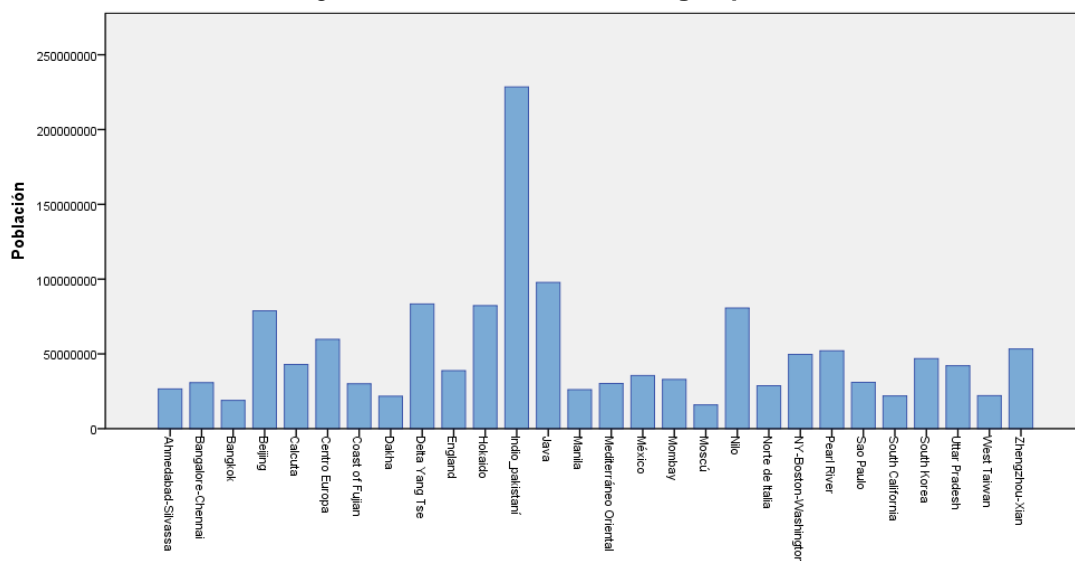
Fuente: Elaboración propia a partir de NASA-NOAA (2012) y LandScan (2012).

Lo anterior permite identificar con mayor claridad estructuras complejas, como la gran megalópolis del Noroeste de los USA (donde el continuo New York-Filadelfia-Baltimore-Washington incorpora la metrópolis de Boston), la aglomeración del centro de México (en la que el continuo iluminado de México incorpora Puebla, Querétaro y León-Guanajuato), la gran megalópolis del centro de Europa (donde el continuo iluminado de Bruselas-Randstat-Rhin/Ruhr incluye el gran continuo de Frankfurt-Stuttgart-Estrasburgo-Basilea), la megalópolis del Mediterráneo Oriental (en la que el continuo iluminado de Jerusalén-Gaza-Beirut incorpora la metrópolis de Damasco, Dhaka (en la que la aglomeración de la capital de Bangladesh incorpora el área india de Agartala), la costa de Fujian (que extiende la aglomeración de

Fuzhou hasta Rongcheng y Shantou) o la gran megalópolis de Hokaido (donde la aglomeración de Tokyo, Kyoto, Nagoya y Osaka incorpora la estructura urbana de Okayama y Hiroshima).

Asia destaca con la presencia de 18 grandes aglomeraciones: 2 transnacionales (India-Pakistán e India-Bangladesh), 5 en India, 6 en China (5 en el continente y 1 en Taiwán), y 1 en Japón, Indonesia, Corea, Filipinas y en el Oriente Medio. A continuación, tanto América (4 aglomeraciones) como Europa (3 aglomeraciones) y África (1 aglomeración), evidencian una *geografía de las megalópolis de carácter planetario*. La Figura 19 presentan los resultados obtenidos.

Figura 19. Población de las megalópolis



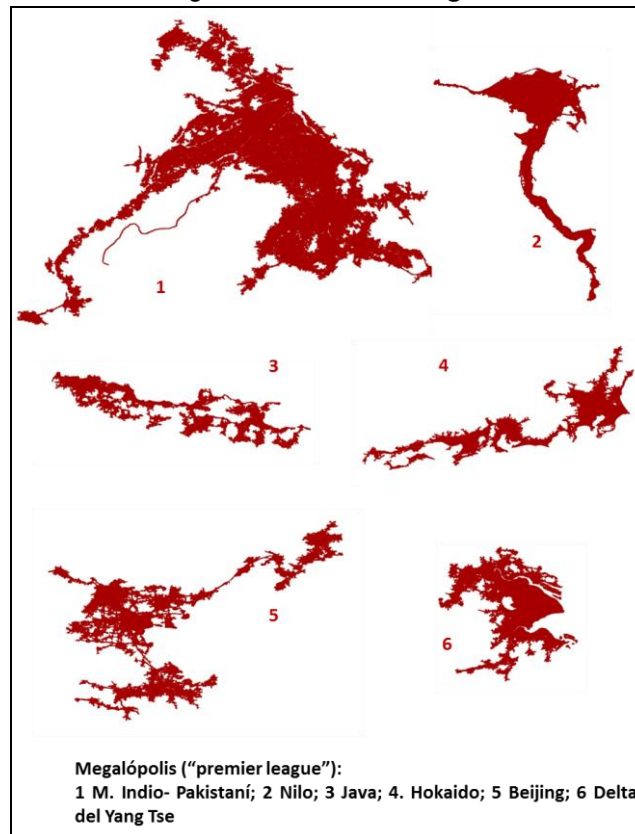
Fuente: Elaboración propia a partir de NASA-NOAA (2012) y LandScan (2012).

Seis megalópolis destacan por su extraordinaria magnitud demográfica, con una población superior a 75 millones de habitantes. Componen lo que podríamos denominar la *premier league* de las aglomeraciones urbanas mundiales. Todas ellas localizadas en Asia, con la sola excepción de una africana: la aglomeración Indio-Pakistaní, la Isla de Java, el Delta del Yang Tse, la isla de Hokaido, el Nilo y Beijing. Ninguna megalópolis europea o americana entre esos gigantes.

La primera gran megalópolis mundial es la extraordinaria aglomeración existente en el *noroeste de la India*, que alcanza igualmente *Pakistán*. Dicha aglomeración, que podríamos denominar *Delhi-Lahore-Islamabad-Karachi*, se extiende sobre 232.000 km² y alcanza una población de más 230 millones de personas. Dicha estructura difícilmente puede llegar a ser identificada como una verdadera megalópolis, a pesar de su relativamente elevada densidad (alrededor de 1.000 habitantes por km²), al representar no tanto la unión de verdaderas áreas metropolitanas, sino expresión de un modelo de urbanización singular, donde metrópolis de distinta magnitud (Delhi, Jaipur y Chandigarh en India, así como Karachi, Lahore, Amritsar, Islamabad-Rawalpindi, Peshawar, Faisalabad y Hyderabad en Pakistán) se interrelacionan con una constelación de ciudades intermedias y de núcleos semi-rurales generando un conjunto de muy difícil aprehensión. En todo caso se trata de una estructura formada por múltiples centros

urbanos, cada uno de ellos con su propia personalidad, estructurados en una red de asentamientos humanos distribuidos a lo largo de las redes de comunicación, generando un sistema de núcleos urbanos de gran complejidad.

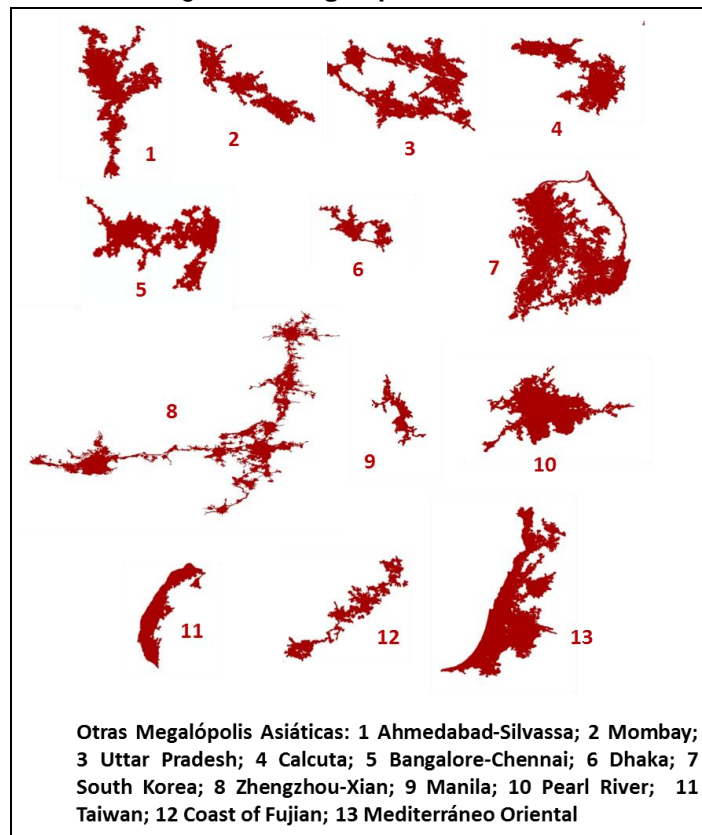
Figura 20. *Premier League*



Fuente: Elaboración propia a partir de NASA-NOAA (2012) y LandScan (2012).

Frente a esa constelación o telaraña de estructuras urbanas, el resto de grandes megalópolis que componen lo que podría denominarse la *premier league* parecen pequeñas (véase Figura 20). En ese grupo aparecen las aglomeraciones de Java, en torno a Yakarta (97,8 millones de habitantes), el Delta del río Yang-Tse (83,4 millones), con Shanghai, Nanking, Hangzhou, Suzhou y Wuxi como grandes ciudades, la de la isla japonesa de Hokaido (82,3 millones, extendida a lo largo de un eje de 970 km de longitud), con Tokyo, Yokohama, Kawasaki, Saitama, Osaka, Kyoto, Nagoya, Kobe y Hiroshima como centros más relevantes. Aparece también la gran megalópolis del Nilo (80,7 millones, que se extiende 1.000 km lineales sobre el eje de comunicaciones del Nilo), desde la primera catarata hasta el delta, con Cairo, Alejandría, Giza y Shubra El-Kheima como ciudades con más de un millón de habitantes, así como la gran aglomeración de Beijing, que aúna las grandes ciudades de Beijing, Tianjin, Tangshan, Anshan, Shenyang y Fushun.

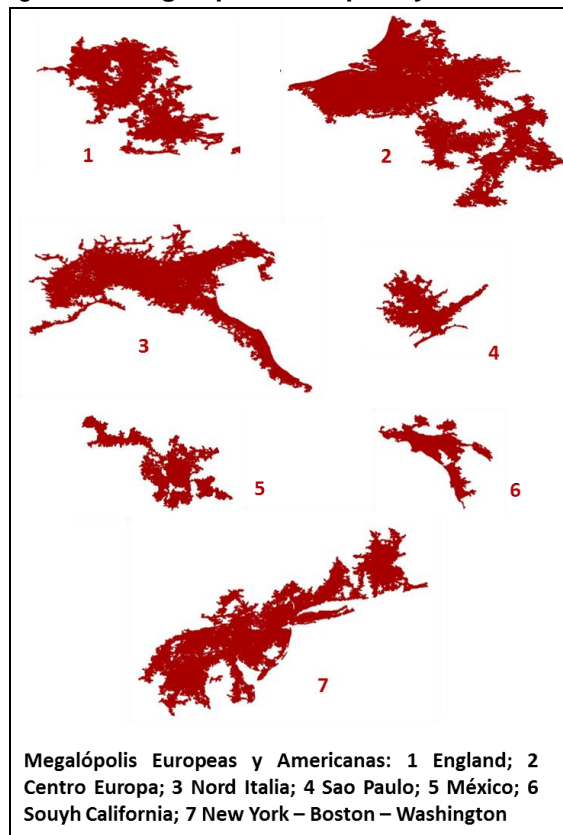
Figura 21. Megalópolis Asiáticas



Fuente: Elaboración propia a partir de NASA-NOAA (2012) y LandScan (2012).

Frente a estos gigantes aparece un segundo grupo de megalópolis (véase Figura 22) que viene encabezado por la gran aglomeración urbana del centro de Europa, que desde Bruselas se extiende al Ranstad holandés, el Rhin-Ruhr, Estrasburgo y Stuttgart. Europa completa su presencia con la megalópolis inglesa (de Londres a Cardiff y Bristol por una parte, y Birmingham, Sheffield, Manchester, Liverpool y Leeds, por otra), en el catorceavo lugar, y la gran aglomeración del norte de Italia, que se extiende desde Milán a Venecia, en el veintinueve. Por lo que respecta a América, la megalópolis por excelencia, la del Noreste de USA (Boston – New York – Filadelfia – Baltimore – Washington), no aparece sino hasta el décimo lugar del ranking, precedida por las dos grandes estructuras chinas de Zhengzhou-Xian y Pearl River que se muestran en la Figura 21 (ésta última con el aglomerado Hong Kong – Cantón - Macao). El resto de megalópolis americanas se reduce al otro gran gigante urbano que es la aglomeración en torno a la ciudad de México, que no aparece sino hasta el quinceavo lugar, relegando a Sao Paulo - Santos al decimoséptimo, y a la otra gran aglomeración norteamericana de Los Ángeles— San Diego – Tijuana (South California), que es la penúltima de las 26 megalópolis obtenidas en el presente trabajo. Asia, por último, acumula mayor parte del resto de megalópolis, en las que aparecen estructuras como Uttar Pradesh, Calcuta, Bombay, Manila o Dakha, entre otras. Asia consolida, por tanto, en este nuevo concierto mundial que representan las megalópolis, con lugar de relevancia, no sólo apareciendo como grandes urbes (lo que podríamos llamar mega-ciudades), sino como estructuras progresivamente complejas que alcanzan regiones y aún estados colindantes.

Figura 22. Megalópolis Europeas y Americanas



Fuente: Elaboración propia a partir de NASA-NOAA (2012) y LandScan (2012).

5. Conclusiones

En la primera mitad del siglo pasado, grandes pensadores como Geddes y Mumford avanzaron un paisaje urbano dominado por grandes aglomeraciones urbanas. Posteriormente Gottmann, iniciada ya la segunda mitad del siglo XX, reconoció en la costa Noroeste de USA una de esas nuevas formaciones (el área que se extiende desde Washington hasta Boston), que rebasaba ampliamente los límites de las tradicionales áreas metropolitanas, y a la que denominó megalópolis, constatando más tarde diversos investigadores la extensión de ese nuevo tipo de formación espacial tanto en Europa como Asia. Desde el último tercio del siglo XX se ha generalizado nuevo cambio de escala en los procesos de urbanización, los cuales no sólo no han remitido, sino que se han expandido a ritmos antes nunca alcanzados. Y en esa nueva coyuntura, las megalópolis emergen como aglomeraciones de ciudades y áreas metropolitanas, cuyas sinergias les permiten generar economías de escala tanto a nivel local como global.

El presente trabajo, siguiendo el camino iniciado por Florida et al (2008), utiliza la metodología de las imágenes nocturnas de origen satelital como procedimiento para la delimitación de las megalópolis. Dicha metodología permite la identificación en todo el planeta de 444.502 áreas pobladas iluminadas con una intensidad suficiente (64 en una escala de 256) para ser consideradas de naturaleza urbana. 433 de esas áreas iluminadas alcanzan una población

superior al millón de habitantes, concentrando 2.537 millones de habitantes, un 37,8% de la población del planeta. 92 superan los 5 millones, representando las *semillas* de las estructuras megalopolitanas. Y 30 estructuras de ese tipo, que denominamos *proto-megas*, superan los 15 millones, alcanzando una población de 1.298.757.300 habitantes, erigiéndose como firmes candidatas a ser caracterizadas como megalópolis. Dichas proto-megas se agregan a los contornos iluminados existentes en su entorno (a una distancia igual a un píxel) generando las mega-estructuras que aquí denominamos megalópolis.

En el trabajo que aquí se presenta se identifican 26 megalópolis, con una población superior a 20 millones de habitantes, concentrando 1.374.291.094 personas en su entorno, y distribuidas a lo largo y ancho de todo el planeta. Asia destaca con la presencia de 18 grandes aglomeraciones: 2 transnacionales (India-Pakistán e India-Bangladesh), 5 en India, 6 en China (5 en el continente y 1 en Taiwán), y 1 en Japón, Indonesia, Corea, Filipinas y en el Medio Oriente. A continuación, tanto América (4 aglomeraciones) como Europa (3 aglomeraciones) y África (1 aglomeración), evidencian una geografía de las megalópolis de carácter planetario. Sólo Oceanía se encuentra libre de ese tipo de formaciones urbanas.

Seis megalópolis destacan por su extraordinaria magnitud demográfica, con una población superior a 75 millones de habitantes. Componen lo que podríamos denominar la *premier league* de las aglomeraciones urbanas mundiales. Todas ellas localizadas en Asia, con la sola excepción de una africana: la aglomeración Indio-Pakistaní, la Isla de Java, el Delta del Yang Tse, la isla de Hokaido, el Nilo y Beijing. Ninguna megalópolis europea o americana entre esos gigantes. Frente a esas super-mega-regiones urbanas, el resto de aglomeraciones parecen pequeñas, destacando que la megalópolis por excelencia, la de la costa Noreste de USA tan sólo ocupa el lugar décimo en el ranking por población.

Cabe concluir, por tanto, que *las megalópolis son una nueva forma de asentamiento urbano que afecta a la totalidad del planeta*. No se trata de un fenómeno exclusivo del *primer mundo*, frente a lo que los trabajos pioneros de Geddes, Mumford y Gottmann parecían sugerir. América Latina, África y, sobre todo Asia, son también protagonistas de esas nuevas formas de ocupación del espacio. Territorios urbanos emergentes que parecen hacer divisar un nuevo orden económico y social en el que Europa y América del Norte ya no tendrán el único papel de protagonistas.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer de forma especial, en este trabajo, la colaboración de Pau Queraltó i Ros, geógrafo y Master en SIG por la UPC.

Bibliografía

ARELLANO, B. y ROCA, J. *El Urban Sprawl, ¿Un Fenómeno de Alcance Planetario? Los Ejemplos de México y España*. En: ACE (Arquitectura, Ciudad y Entorno), 4 (12): 115-147, 2010.

ARELLANO, B. y ROCA, J. *Sprawl en las metrópolis europeas. Las periferias metropolitanas, ¿principal escenario de la dispersión de la urbanización en Europa?* En: ACE (Arquitectura, Ciudad y Entorno), 7 (20): 95-114, 2012.

ASCHER, F. *Metápolis ou l'avenir des villes*. París, Odile Jacob, 1995.

BAUER, G. y ROUX, J.M. *La rurbanization, ou la ville éparpillée*. París, Ed. du Seuil, 1976.

BERRY, B. *The Counterurbanization Process: Urban American since 1970 en su Urbanization and Counterurbanization*, Beverly Hills, Sage, 1976.

CARBONELL, A. e YARO, R.D. *American Spatial Development and the New Megalopolis*. En: Land Lines, Lincoln Institute of Land Policy, 17 (2), April 2005.

CHESHIRE P.C. y HAY D.G. *Urban Problems in Western Europe: An Economic Analysis*. Londres, Unwin Hyman, 1989.

CINZANO, P.; FALCHI, F. y ELVIDGE, C.D. *The first World Atlas of the artificial night sky brightness*. En: Mon. Not. R. Astron. Soc., 328: 689-707, 2001.

CLAWSON, M. *Suburban Land Conversion in the United States: An Economic and Governmental Process*. Routledge, 1971.

DEWAR, M. y EPSTEIN, D. *Planning for "Megaregions" in the United States*". En: Journal of Planning Literature, 22: 108, 2007.

DEMATTEIS, G. *Suburbanización y periurbanización. Ciudades anglosajonas y ciudades latinas*. En: DEMATTEIS, G. (Ed.) La ciudad dispersa. Suburbanización y nuevas periferias. Barcelona, Centro de Cultura Contemporánea de Barcelona, 1998.

DEZERT, B.; MATTON, A. y STEINBERG, J. *Periurbanisation en France*. París, SEDES, 1991.

DOLL, C.N.H.; MULLER, J.P. y ELVIDGE, C.D. *Night-time imagery as a tool for global mapping of socio-economic parameters and greenhouse gas emissions*. En: Ambio, 29 (3): 157-162, 2000.

DOLL, C.N.H.; MULLER, J.P. y MORLEY, G.J. *Mapping regional economic activity from night-time light satellite imagery*. En: Ecological Economics, 57: 75-92, 2006.

ELVIDGE, C.D.; IMHOFF, M.L.; BAUGH, K.E.; HOBSON, V.R.; NELSON, I.; SAFRAN, J.; DIETZ, J.B. y TUTTLE, B.T. *Night-time lights of the world: 1994-1995*. En: ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 56: 81-99, 2001.

ELVIDGE, C.D.; BAUGH, K.E.; ANDERSON, S.J.; SUTTON, P.C. y GHOSH, T. *The Night Light Development Index (NLDI): a spatially explicit measure of human development from satellite data*. En: Social Geography, 7: 23-35, 2012.

EC. European Comission. *European Spatial Development Perspective. Towards Balanced and Sustainable Development of the Territory of the European Union*. 1999.

FISHMAN, R. *America's New City*. En: The Wilson Quaterly, 14, 1990.

FISHMAN, R. *The American Planning Tradition*. En: FISHMAN, R. (Ed.) The American Planning Tradition: Culture and Policy. Washington D.C., The Woodrow Wilson Center Press, 2000.

FRIEDMANN, J. *The World City Hypothesis*. En: Development and Change, 17: 69-83, 1986.

FLORIDA, R.; GULDEN, T. y MELLANDER, C. *The rise of the mega-region*. En: Cambridge Journal of Regions, Economy and Society, 1: 459-476, 2008.

FULTON, W.; PENDALL, R.; NGUYEN, M. y HARRISON, A. *Who Sprawls Most? How Growth Patterns Differ Across the U.S.* Washington, D.C., Center on Urban & Metropolitan Policy, The Brookings Institution, Survey Series, 2001. 24 p.

GALSTER, G.; HANSON, R. y RATCLIFFE, M.R. *Wrestling sprawl to the ground: Defining and measuring an elusive concept*. En: Housing Policy Debate, 12 (4): 681-717, 2001.

GARREAU, J. *Edge city: Life on the new frontier*. New York, Doubleday. 1991.

GEDDES, P. *Cities in Evolution*. Londres, Williams and Norgate, 1915.

GHOSH, T.; POWELL, R.L.; ELVIDGE, C.D.; BAUGH, K.E.; SUTTON, P.C. y ANDERSON, S. *Shedding Light on the Global Distribution of Economic Activity*. En: The Open Geography Journal, 3: 148-161, 2010.

GOTTMANN, J. *Megalopolis or the Urbanization of the Northeastern Seaboard*. En: Economic Geography, 33 (3): 189-200, 1957.

GOTTMANN, J. *Megalopolis: the urbanized northeastern seaboard of the United States*. New York, Twentieth Century Fund. 1961.

GOTTMANN, J. *Megalopolitan systems around the world*. En: Ekistics, 243: 109-113, 1976.

HALL, P. *The World Cities*. Londres, World University Library, Weidenfeld & Nicolson, 1966.

HALL, P. y HAY, D. *Growth Centres in the European Urban System*. Londres, Heinemann, 1980.

HALL, P. *Looking Backward, Looking Forward: The City Region of the Mid-21st Century*. En: Regional Studies, 43 (6): 803-817, 2009.

HALL, P. y PAIN, K. *The Polycentric Metropolis. Learning from Mega-city Regions in Europe*. Londres, Earthscan, 2006.

HALL P.; THOMAS R.; GRACEY H. y DREWETT R. *The Containment of Urban England* (2 volúmenes). Londres, George Allen & Unwin, 1973.

INDOVINA, F. et al. *La città diffusa*. Venecia, Daest, 1990.

KERN County Council of Governments, San Diego Association of Governments and Southern California Association of Governments: *The Southern California Mega-region A Case Study of Global Gateway Regions: America's Third Century Strategy*. September 2005.

KRUGMAN, P.R. *The Self Organizing Economy*. Blackwell Publishers, 1996.

HARVEY, D. *Cities or urbanization?* En: City. Analysis of Urban Trends Culture, Theory, Policy Action, 1-2, 1996.

HEALEY, P. *City Regions and Place Development*. En: Regional Studies, 43 (6): 831-843, 2009.

LANG, R.E. y DHAVALA, D. *Beyond Megalopolis: Exploring America's New "Megapolitan" Geography* (Census Report 05:01). VA, Metropolitan Institute at Virginia Tech, 2005.

LANG, R.E. y KNOX, P.K. *The New Metropolis: Rethinking Megalopolis*. En: Regional Studies, 43 (6): 789-802, 2009.

LUCAS, R. *On the mechanics of economic development*. En: Journal of Monetary Economics, 22: 3-42, 1988.

MORRILL, R. *Classic Map Revisited: The Growth of Megalopolis*. En: The Professional Geographer, 58 (2): 155-160, 2006.

MCKENZIE, R.D. *The Metropolitan Community*. Nueva York, McGraw-Hill, 1933.

MUMFORD, L. *The Culture of Cities*. Nueva York, Harcourt. Brace & world, 1938.

NASA. *Night Lights 2012 - Flat map* [en línea] Fecha de consulta: 23 de junio de 2014. Disponible en: <<http://visibleearth.nasa.gov/view.php?id=79765>>. 2012.

NEL.LO, O. *Los confines de la ciudad sin confines. Estructura urbana y límites administrativos en la ciudad difusa*. En: MONCLÚS, F. (Ed) *La ciudad Dispersa*. Barcelona, Centre de Cultura Contemporània de Barcelona, 1998.

NEUMAN, M. y HULL, A. *The Futures of the City Region*. En: *Regional Studies*, 43 (6): 777-787, 2009.

NUREC. Network on Urban Research in the European Community. *Atlas of Agglomerations in the European Union*. Duisburg, NUREC, 1994.

ORNL. Oak Ridge National Laboratory. Landscan [en línea] Fecha de consulta: 23 de junio de 2014. Disponible en: <<http://web.ornl.gov/sci/landscan/>>. 2012.

SASSEN, S. *The Global City: New York, London, Tokyo*. Princeton, Princeton University Press, 1991.

RPA. Regional Plan Association. *America 2050: Megaregions* [en línea]. Disponible en: <http://www.america2050.org/megaregions.html>

RPA. Regional Plan Association. *America 2050: A Prospectus*. Nueva York, 2006.

RPA. Regional Plan Association. *Toward an American Spatial Development Perspective*. Nueva York, 2004.

ROY, A. *The 21st-Century Metropolis: New Geographies of Theory*. En: *Regional Studies*, 43 (6): 819-830, 2009.

SCOTT, H.J.; SOJA, E.W. y STORPER, M. *Global City-Regions*. En: SCOTT, A. (Ed.) *Global City-Regions. Trends, Theory, Policy*. Oxford, Oxford University Press, 2001.

TAYLOR P.J. *World City Network: A Global Urban Analysis*. Nueva York, Routledge, 2004.

TUROK, I. *Limits to the Mega-City Region: Conflicting Local and Regional Needs*. En: *Regional Studies*, 43 (6): 845-862, 2009.

VAN DEN BERG, L. *Urban Europa: A study of Urban Growth and Decline*. Pargamon, Oxford, 1982.

WHEELER, S. *Regions, Megaregions, and Sustainability*. En: *Regional Studies*, 43 (6): 863-876, 2009.

LANDSCAPES IMPACTED BY LIGHT

B. Arellano & J. Roca ^a

^a UPC, Technical University of Catalonia, Av. Diagonal, 08028 Barcelona, Spain – blanca.arellano@upc.edu,
josep.roca@upc.edu

Commission VIII, WG VIII/8

KEY WORDS: human settlements, urban sprawl, nighttime lights, rurbanization, ex-urban

ABSTRACT

The gradual spread of urbanization, the phenomenon known under the term urban sprawl, has become one of the paradigms that have characterized the urban development since the second half of the twentieth century and early twenty-first century. However, there is no unanimous consensus about what means "urbanization". The plurality of forms of human settlement on the planet difficult to identify the urbanization processes. The arrival of electrification to nearly every corner of the planet is certainly the first and more meaningful indicator of artificialization of land. In this sense, the paper proposes a new methodology based on the analysis of the satellite image of nighttime lights designed to identify the highly impacted landscapes worldwide and to build an index of Land Impacted by Light per capita (LILpc) as an indicator of the level of urbanization. The used methodology allows the identification of different typologies of urbanized areas (villages, cities or metropolitan areas), as well as "rural", "rurban", "periurban" and "central" landscapes.

The study identifies 186,134 illuminated contours (urbanized areas). In one hand, 404 of these contours could be consider as real "metropolitan areas"; and in the other hand, there are 161,821 contours with less than 5,000 inhabitants, which could be identify as "villages". Finally, the paper shows that 44.5% live in rural areas, 15.5% in rurban spaces, 26.2% in suburban areas and only 18.4% in central areas.

1. INTRODUCTION

The second half of the twentieth century has been, without doubt, the time when there has been further development of urbanization on a global scale. The urban population has grown from 750 million people in 1950 to 2,860 in 2000, more than 50% of the world population (United Nations, 2014).

The urban model has suffered significant changes in last decades, transforming from a model of urban continuum of medium and high densities to a model of an endless diffuse and sprawled city, driven by technological innovation processes, separation of functions and searching the proximity to the nature (Tsai, 2005). This redefinition of the spatial model has based on new communication networks and infrastructures. The pattern has resulted in an expansionist, unsustainable and predatory city, especially in USA, paradigmatic example of high consumption of land (Fulton et al, 2001).

Therefore, since 1950 there has been a real *reversal in the topology of the landscape*. Landscapes highly artificialized¹ have become from "islands" within the "rural ocean" to "colonize" almost the entire planet. The process of urban sprawl has relegated to open spaces the role of auxiliary elements within the spatial structure.

The diffusion of the Garden City theory, together with the generalization of the car, which occurred after the Second War, and the dream of having a single family home with grill and

pool becomes in *international style*, which spreads from the USA to Europe and to all the world, as shown in figure 1. The sprawl in residential areas is linked to the gradual decentralization of economic activity, in a first stage the industry, but after that, the services and even the most qualified tertiary activities.



Figure 1. Urban Sprawl as International Style

2. URBANIZED LANDSCAPES

2.1 Urbanization and global databases.

The urban sprawl, the massive consumption of land, is a fact in worldwide (Arellano & Roca, 2014). However, there is no unanimous consensus about what means "urbanization". The plurality of forms of human settlements difficult to identify the urbanization processes. This difficulty leads to absence of any global database that allows comparative studies of the

high artificialization (such as urban spaces, but also the mining or other) of those (such as farmland and generally rural) whose degree of artificialization could be considered minor.

¹ It refers to the urbanized territories. Almost all the land surface of the planet has undergone to different processes of human artificialization. In this sense, it can be distinguish between those characterized with

urbanization processes worldwide. Although remote sensing technology enables the uniform analysis of land covers at worldwide scale, the diversity of methodologies used and the high cost of computing, as well as the disparity between the analyses of "urbanized covers" produced by agencies such as USGS in the USA and Corine Land Cover in the EU have led to the proliferation of local studies. Nevertheless, has not enabled the generation of an integrated database. Figure 2 shows an example of the disparity between analyses of "urbanized covers"

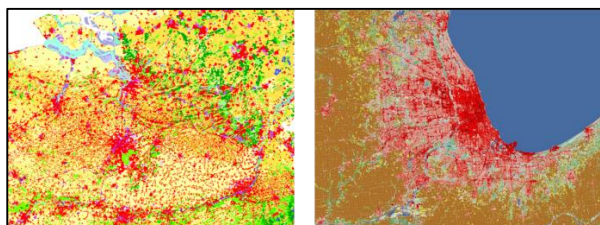


Figure 2: Land Covers (CLC & USGS)

There is no single methodology to measure the phenomenon of urbanization. Unlike what happens in the USA, where the Census Bureau precisely defines metropolitan and micropolitan areas, it seems that there is no one unified criteria to identify urban and metropolitan systems at planetary scale. In the absence of an integrated approach of how to identify urban areas, *this paper uses the information derived of the nighttime lights to delineate the impacted areas by urbanization at world scale.*

2.2 Delimitating the impact of urbanization.

Satellite Nocturnal images of the earth represent a useful way to define urban and metropolitan systems (Elvidge et al, 2001). The nighttime lights have been used in widespread scientific contributions, from building human development indices (Elvidge et al, 2012) to identify megalopolis (Florida et al, 2008; Arellano & Roca, 2014). In this direction, the present paper proposes a methodology to study the impact of urbanization in the world using the nighttime lights.

The application of this methodology on a global scale delimitates the land highly impacted by light and allows the construction of an index of Land Impacted by Light per capita (LILpc) as an indicator of the level of urbanization. With this

² The landscapes of light and darkness detect more clearly than traditional statistics based on the percentage of urban / rural forms of human settlement on the planet population, having the advantage, in turn, allow its study at the subnational level, which is not possible by simply using official statistics. The diversity of criteria used by nations not allows reliable comparisons about the degree of urbanization at international scale. The UN have failed to harmonize these differences of opinion between nations "In preparing estimates and projections of the urban population, the United Nations relies on the data produced by national sources that reflect the definitions and criteria established by national authorities. It has long been recognized that, given the variety of situations in the countries of the world, it is not possible or desirable to adopt uniform criteria to distinguish urban areas from rural areas. An analysis of that set of definitions indicates that 118 of the 231 countries in the world use administrative criteria to make a distinction between urban and rural, 64 of which use it as the sole criterion to make that distinction. In 107 cases, the criteria used to characterize urban areas include population size or population density, solely in the case of 48 countries". A sample of the huge variety of existing definitions is "the lower limit above which a settlement is considered urban, ranging between 200 and 50,000 inhabitants. Economic characteristics were part of the criteria used to identify

index could be identify the different typologies of the urbanized areas (villages, cities and metropolitan areas), as well as "rural", "rurban", "periurban" and "central" landscapes.

The research is based upon the following key questions: How to identify urbanization? How measure it? Is it useful to use nighttime lights to measure the degree of urbanization? Is it possible to define a unified method to delimited urbanized areas at worldwide scale using nighttime light images? In addition, the others types of human landscapes, could be understood by nightlights images? How those landscapes could be classified?

The study assumes that night-lights satellite imagery provides valuable information for the identification of human landscapes, such as rural and urbanized areas. The "dark" landscapes are certainly related to rural settlements. Concerning the "enlightened" landscapes, it clearly identify areas of the world characterized by high human artificialization². First, the research develops a methodology to detect *urbanized areas*, Areas Highly Impacted by Light (AHIL) as called in this work, identifying as well *central* (compacted) and *periurban* (sprawled) *settlements*. Second, to detect *rural landscapes*, identified as Areas Lowly Impacted by Light (ALIL). Finally, there are analyzed intermediate patterns of human occupation of territory, such as *ex-urban sprawl* or *rurban landscapes*.

2.3 Methodology.

The methodology can be summarized in the following steps:

1. Analysis of the file supplied by NASA (NASA, 2013), which offers, in the visible spectrum, three images (RGB) differentiated from night lights and composition of a single image in conventional greyscale palette (0-255).
2. The image conversion from greyscale to elevations allows developing contours at different intensity levels, capable of identifying different hypothesis of urbanized areas.
3. Transformation of nighttime lights image into a point file allows the realization of a *logistic regression* with the US Urban Areas (UA)³ as a

urban areas in 33 countries or areas, including all the successor States of the former Union of Soviet Socialist Republics; and criteria related to the functional nature of urban areas, such as the existence of paved streets, water-supply systems, sewerage systems or electric lighting, were part of the definition of urban in 43 cases, but only in ten cases such a criteria was used alone. Lastly, in another 14 cases no definition of "urban" was available and in a further eight the entire population of a country or area was considered to be urban." (United Nations, 2012).
³ Urban Areas used in this paper corresponds to the US Census Bureau definition: "an urban area will comprise a densely settled core of census tracts and/or census blocks that meet minimum population density requirements, along with adjacent territory containing non-residential urban land uses as well as territory with low population density included to link outlying densely settled territory with the densely settled core. To qualify as an urban area, the territory identified according to criteria must encompass at least 2,500 people, at least 1,500 of which reside outside institutional group quarters. The Census Bureau identifies two types of urban areas: a) Urbanized Areas (UAs) of 50,000 or more people; b) Urban Clusters (UCs) of at least 2,500 and less than 50,000 people" (US Census Bureau, 2010). For 2010 Census there were 3,573 UA in USA, with a population of 308,745,538 inhabitants (80.7% of total population).

dependent variable, and nighttime light intensity as an explanatory variable.

- The logistic regression, adjusted for 18 million points (3.6% of which correspond to UA), allows establishing a level of 164 night light intensity (in a scale of greys from zero to 255 levels of intensity) for the determination of those *Areas Highly Impacted by Light (AHIL)*. The results of this model can be seen in Table n. 1. The model gets an 86.4% of effectiveness to explain the UA pattern in USA. Figure 3 shows the result of the model for the UA in Southern California (red = UA; blue = 164 intensity level contour).

Resumen del modelo				Tabla de clasificación ^a			
Paso	-2 log de la verosimilitud	R cuadrado de Coxy Snell	R cuadrado de Nagelkerke	Pronosticado			Porcentaje correcto
				0	1		
1	840036,373 ^a	,231	,869	ua	0	1	100,0
a. La estimación ha finalizado en el número de iteración 10 porque las estimaciones de los parámetros han cambiado en menos de ,001.				0	17362503	0	86,4
				1	87931	559718	99,5
				Porcentaje global			99,5
a. El valor de corte es ,500							
Variables en la ecuación							
Paso 1 ^a	grid_code_grey	B	E.T.	Wald	gl	Sig.	Exp(B)
	Constante	-10,842	,013	652029,337	1	,000	,000

a. Variable(s) introducida(s) en el paso 1: grid_code_grey.

Table 1. Logistic Regression Model

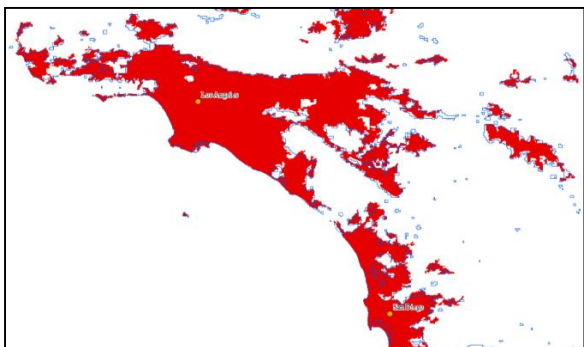


Figure 3. Highly Impacted Areas (intensity => 164) from satellite image (NASA, 2013) and Urban Areas in Southern California by the US Census Bureau.

The extension of this methodology at global scale allows identifying AHIL around the world. Figure 4 shows worldwide AHIL. The study identifies 186,134 illuminated contours (urbanized areas) at 164 or higher intensity of nightlight.

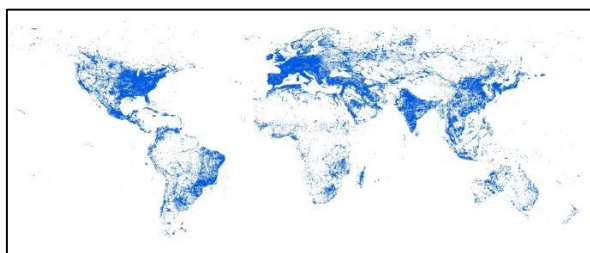


Figure 4. Areas highly impacted by nighttime lighting

- The delimitation of the centers and peripheries of urban agglomerations is made by setting a threshold of nighttime light intensity that allows the inclusion of most of the centers and sub-centers, defined as the localities with a population over 50,000 inhabitants (according the criteria of the US Census Bureau to identify the metropolitan centers). This threshold corresponds approximately to a light intensity of 230. Moreover, the identification of core areas was established through the division into natural breaks

(Jenks) in ArcGis, with five classifications, where “central landscapes” is the highest class, the 230 intensity level, and other intensities (between 164 and 230) represent the “periurban landscapes”, as shown in Figure 5. The figure 6 represents the results of such methodology used in the case of Southern California.

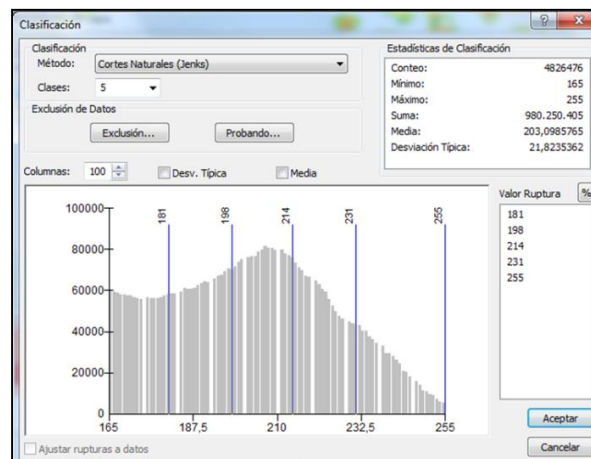


Figure 5. Natural breaks of night lights intensity (>= 164)

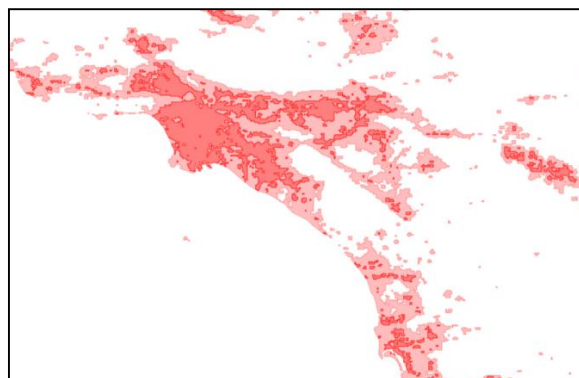


Figure 6. Centers and Peripheries in Southern California

- Calculating the population of the AHIL by overlapping information on population of the LandScan database developed by the Oak Ridge National Laboratory (2008). This database allows analyzing the population structure of different environments in the urbanized planet, with a close approximation to reality. The figure 7 shows the overlap between contours of intensity 164 or greater with LandScan population in Southern California (green colors =< 50 inhabitants per pixel; orange and red colors >= 250 inhabitants per pixel).

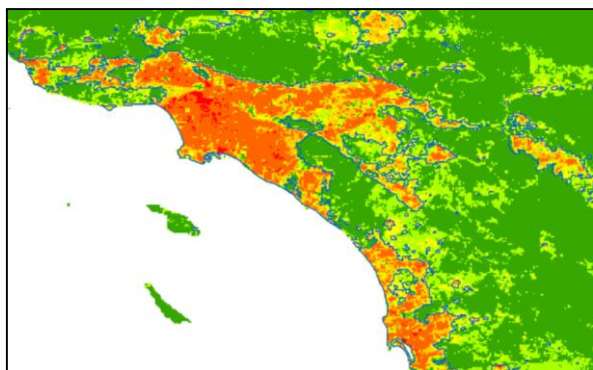


Figure 7. Overlap between Highly Impacted Areas (164 contours) with LandScan in Southern California

The overlapping allows typifying world urban areas based on their population size. The paper differentiates *metropolitan areas* (with a population > 1,000,000 inhabitants), *medium cities* (from 100,000 to 1,000,000 inhabitants), *small cities* (10,000-100,000 inhabitants), *villages* (between 1,000 and 10,000 inhabitants), and *other types of urban settlements* (< 1,000 inhabitants).

7. Once identified urbanized areas, or AHIL, it is necessary to delimit the rural areas, or ALIL, which are characterized by low intensity night light. To this aim, it sets a cut off below which there is evidence of being in rural areas. This cut off is the threshold of intensity ≤ 64 , the same used by Arellano & Roca (2014) to identify megalopolis. Despite the relative arbitrariness of determining any threshold to define such vague concept as "rural area", due to the increasing artificiality of practically the entire land surface of the planet, the threshold 64 has proved useful to identify megalopolitan areas, which include urban spaces with interstices clearly rural. This threshold groups together 40% of the world population that means that the urbanized plus rurban areas are equal to 60%. A result consistent with international statistics about urbanization in the world (United Nations, 2012). Figure 8 shows intensity light night = 64 relative to the cumulative percentage of world population.

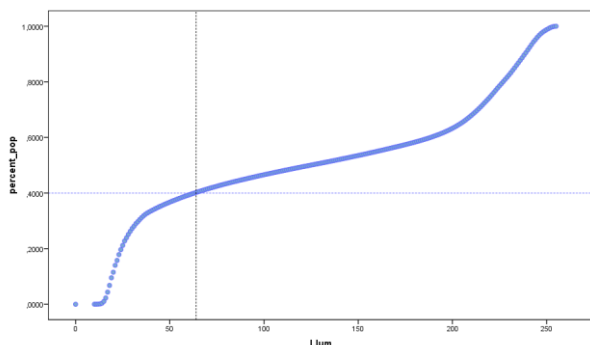


Figure 8. Night light intensity vs. cumulative population

⁴ The selected agglomerations are sorted by population of the illuminated contours with intensity of 164 (AHIL). If sorting was been made by the light intensity contour of 64 (which

Figure 9 shows the megalopolis of Los Angeles - San Diego - Tijuana to 64, 164 and 230 thresholds.

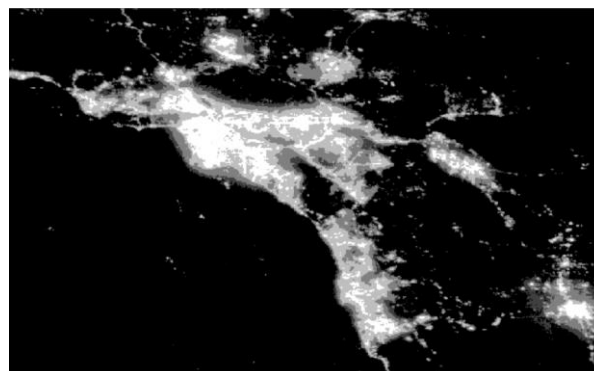


Figure 9. Megalopolis of Los Angeles - San Diego -Tijuana

Finally, rurban landscapes are those between 64 and 164 intensities that is between intrinsically rural areas (ALIL) and urbanized areas (AHIL). These areas are mainly in the metropolitan areas, representing areas characterized by increased pressure of urbanization, and subject therefore to a major change. In turn they are the scene of the phenomenon has been called ex-urban sprawl that is the spread of urban sprawl increasingly low densities typical of the rural world.

3. RESULTS AND CONCLUSIONS

3.1 Results of the analysis

The application of the methodology proposed in section 2.3, for obtaining the level of light intensity equivalent to the delimitation of the UA in USA, allows the identification of 186.134 populated illuminated areas (intensity ≥ 164), which indicates the distribution that it is shown in Table 2.

Population Int. 164	N.Areas	Population	% Pop
< 1,000 inhab.	130,572	24,077,383	0.82%
1,000-10,000 inhab.	39,479	130,600,243	4.43%
10,000-100,000 inhab.	12,944	403,349,958	13.69%
100,000-1,000,000 inhab.	2,735	764,918,473	25.96%
1,000,000-10,000,000 inhab.	370	952,285,041	32.32%
> 10,000,000 inhab.	34	670,749,830	22.77%
TOTAL	186,134	2,945,980,928	100.00

Table 2. Population distribution of the AHIL (intensity 164)

Four hundred four of these illuminated areas, 2.2 per thousand of the total areas, can be defined as metropolis that reach a population of over one million inhabitants, which concentrates 1.623 million people, 24.45% of the population worldwide. Thirty-four of those areas are the "proto-megalopolis" and its population exceeds the ten millions. They represents the "seeds" of the megalopolitan structures (Florida et al, 2008; Arellano & Roca, 2014). On the opposite side to those giants, a 70.15% of the AHIL (with an intensity equal to or greater than 164) do not exceed 1,000 inhabitants and represents the 0.36% of the world population. Figure 10 shows, at the same scale, the results of the identification of AHIL and its rurban hinterlands of the five major world agglomerations⁴.

includes rurban landscapes), the result would have been very different (Florida, 2008).

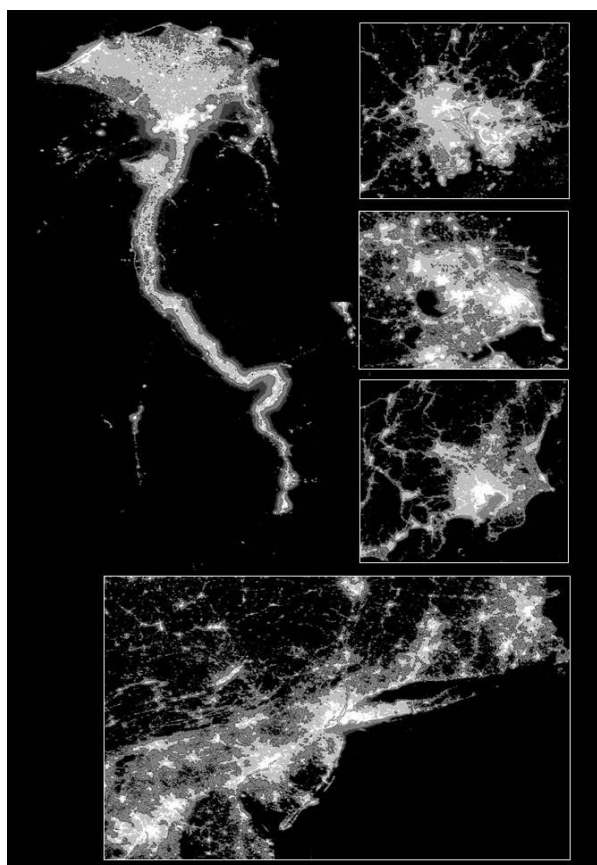


Figure 10: Top-five Megalopolis

The AHIL or "urbanized" area of Nile, results in first place, with a population of 78,363,600 inhabitants and a density of 1,975.98 inhabitants per square kilometer. This area extends from the delta, with Alexandria as the main urban center, passing through Cairo and Aswan and reaches the first cataract.

Secondly, the agglomeration of Pearl River in China, reached 45,296,306 inhabitants, with a density of 2,878.85 inhabitants per square kilometer. The Pearl River Delta with Shanghai (36,853,534 inhabitants) and Beijing agglomerations (11,642,291 inhabitants) are the most important metropolitan areas in China. The first one, including cities like Hong Kong, Shenzhen, Guangzhou and Macao, is the second urban agglomeration in the world. Shanghai, with Nantong, Changzhou, Wuxi and Suzhou as major cities, is the third metropolitan system in our ranking based on nighttime lights. It is clearly differentiate of Nanjing (6,606,566 inhabitants) and Hangzhou (12,356,984 inhabitants) agglomerations. In the case of Beijing does not include de metropolitan areas of Tianjin (7,406,135 inhabitants) or Tangshan (1,827,716 inhabitants). All these metropolises have high-medium and medium densities: 3,349.71 in the case of Beijing, 2,878.85 Pearl River Delta, and 2,127.04 inhabitants per square kilometer.

Then, the agglomeration of Tokyo-Yokohama reaching 35514940 inhabitants. The metropolitan area of Tokyo appears clearly differentiated of the others urban agglomerations of Hokkaido Island, like Nagoya (10,528,167 inhabitants) or Kyoto-Osaka-Kobe (17,234,951 inhabitants). Tokyo, with 4,274.20 inhabitants / km², is a high dense metropolis, taking the place number 12 of the 404 world metropolises delimited in this study.

Finally closes this group of top-five, the metropolitan area of New York - Philadelphia. The metropolitan system of New York (26,581,672 inhabitants) includes Philadelphia, Trenton and Hartford, but not Washington-Baltimore (6,986,575 inhabit.) or Boston (5,243,601 inhabit.), representing the fourth denser metropolis in USA with 1,535.62 inhabitants per km². However, it is ranked at 323 of the 404 world metropolises, showing increased consumption of land per inhabitant associated to processes of urban sprawl.

Table 3 summarizes the data of the thirty-four agglomerations of more than 10 million inhabitants.

Rank	Metropolis	Population	Density
1	Nile	78,363,600	1,975.98
2	Pearl River	45,296,306	2,878.85
3	Shanghai	36,853,534	2,127.04
4	Tokyo	35,514,940	4,274.20
5	New York	26,581,672	1,535.62
6	Sao Paulo	24,529,896	3,387.03
7	Jakarta	24,020,441	5,374.38
8	Seoul	23,522,132	3,521.00
9	Delhi	22,851,644	4,348.95
10	Taipei	21,060,702	2,076.97
11	Mumbai	20,953,305	10,618.07
12	Mexico City	20,378,028	4,909.35
13	Bruss-Amst	19,995,071	977.37
14	Manila	19,326,521	1,2319.92
15	Osaka	17,234,951	4,435.52
16	Calcutta	16,959,857	8,572.58
17	Los Angeles	15,777,380	1,987.94
18	Buenos Aires	14,272,542	2,994.15
19	Moscow	13,423,467	2,774.32
20	Tehran	12,975,631	2,355.80
21	Karachi	12,534,887	10,438.34
22	Rio de Jan.	12,529,447	3,706.67
23	Bangkok	12,428,160	1,538.46
24	Hangzhou	12,356,984	1,889.72
25	Istanbul	11,988,123	4,498.48
26	Lahore	11,881,112	6,346.08
27	Nord Italy	11,858,956	813.34
28	Beijing	11,642,291	3,349.71
28	London	11,420,350	2,798.50
30	Paris	10,672,304	2,876.65
31	Chicago	10,567,277	1,061.83
32	Nagoya	10,528,167	2,147.45
33	Dhaka	10,303,030	13,580.16
34	Near Orient	10,147,122	1,252.08

Table 3. Proto-Megalopolis

It has contrasted the goodness of AHIL estimation model for the case of the metropolises of US and Europe. For this purpose they have been analyzed for the entire territory of US (through information on Urbanized Areas of the Census Bureau) and for Europe (through the land covers of Corine Land Cover). The results grants confirming the degree of success or failure of the model. The percentage of successes, that means, the urbanized area pixels with a light intensity > = 164, rose to 86% in the case of US and 78% in Europe. The analysis of the results obtained in the delimitation of the AHIL has allowed a positive evaluation of the methodology used in the study.

However, there are needed further studies to confirm the performance of the model in other continents, such as Asia or Africa. The great diversity of processes of land occupation by human settlements, together with the different degree of electrification along the geography of the planet, suggests the need for further analysis testing the thresholds used in this research.

Once analyzed the goodness of urban and metropolitan delimitation made by nighttime lights intensity, an attempt was made to characterize metropolitan areas (identifying agglomerations with more than 1,000,000 inhabitants) according to their *degree of Sprawl*. For that, the LILpc indicator, obtained by dividing the area of the nighttime light intensity ≥ 164 by population and expressed in square meter per inhabitant, can serve to identify the Metropolitan Areas subject to high Urban Sprawl. The LILpc shows a structure of lognormal type, like most physical and social phenomena, as shows the Figure 11.

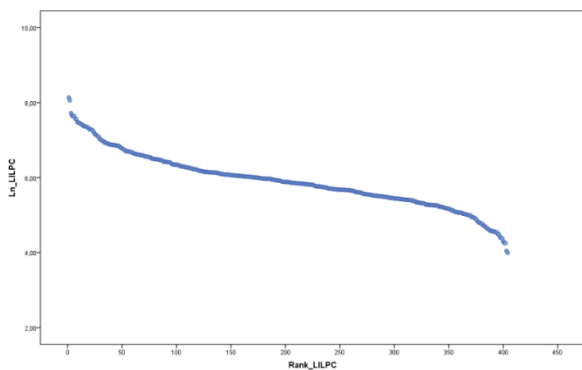


Fig. 11. Land Impacted by Light per Capita (LILPC) vs Rank_LILPC

The sprawled agglomerations are those with a LILpc $>$ average $+1$ standard deviation, that is more than $918 \text{ m}^2 / \text{inhab}$. Forty-seven of the 404 MA are in that situation. Most of these affected areas are located in USA (27). Oil producers Countries also bring a number of significant AM with a high LILpc, perhaps the effect of oil exploitation. The standardized LILpc value is a good indicator of Sprawl. Values above zero mean that are larger than LILpc average. Values above 1 means LILpc $>$ average $+ 1$ Std. deviation. Negative values mean areas with below average of Sprawl. Figure 12 shows agglomerations with standardized LILpc greater than 2.

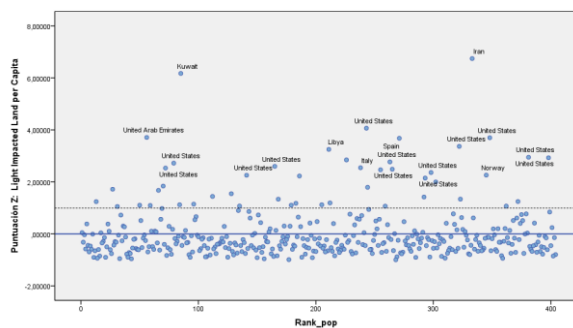


Figure 12. Standardized LILpc vs. Rank Population

Leaders in urban sprawl (standardized LILpc $>$ 2) are the 24 following metropolises: Ahvaz (Iran), Kuwait (Kuwait), Charlotte (United States), Dubai (United Arab Emirates), Nashville (United States), Abha (Saudi Arabia), Raleigh (United States), Tripoli (Libya), Memphis (United States),

Jacksonville (United States), Pittsburgh (United States), Indianapolis (United States), Atlanta (United States), Cincinnati (United States), Bologna-Modena-Parma (Italy), Tampa (United States), Murcia-Alicante (Spain), Kansas City (United States), Reynosa-Mcallen (United States-Mexico), Oslo (Norway), Cleveland (United States), St. Louis (United States), Austin (United States), and Columbus (United States).

There are too many differences in land impacted by light between cities. The Figure 13 illustrates two metropolitan areas with similar population (20 million inhabitants); Brussels-Amsterdam and Mexico City. The first one affects 20,458.10 square kilometers and the second one, just 4,150.86. The LILpc indicator goes from 203.69 square meters per inhabitant, in Mexico City, to 1,023.16 in central European agglomeration.

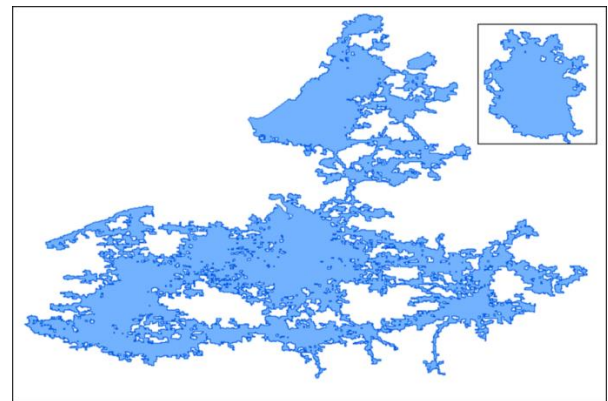


Figure 13. Brussels-Amsterdam vs Mexico City

The methodology allows, beyond analyzing the size of urban and metropolitan systems and their degree of sprawl, a rigorously comparison of degree of urbanization of different territories. Figure 14 compares footprint of nightlight of India and United States.

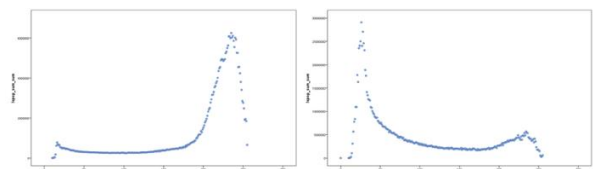


Figure 14. Footprint of nighttime light of India and US

In the X-axis night light intensity from zero to 255 and in the Y-axis the population. As can be seen, while in US (left image) the population remains at very low levels until the light intensity of 164, growing exponentially to the intensity of 230, and then decrease, in India (right image) the peak on population occurs in the intensity 44 before falling monotonously until overcome at the intensity of 164. *The degree of urbanization or ruralization, can be measured quite accurately by the surface (or population cumulative) below nightlight curves between the standards used in this study (44, 64, 164 and 230).* This measure is certainly much closer to reality than the statistics of rural / urban population provided by United Nations, which suffer from a high variation of criteria based on national criteria.

In this regard, Figure 15 shows the diversity of patterns of nighttime light footprint between continents. The image presents in the X-axis the light intensity, and the Y-axis the cumulative population for continents. Africa (blue) and lesser

degree, Asia (green) concentrate most of the population in the darkest areas, denoting their still strongly rural character. North America (gray), South America (purple) and Europe (orange) instead concentrate most of the population in brightly lit landscapes, denoting high levels of urbanization. The analysis of the different morphology of nocturnal lighting footprint between different territories provides a research potential that certainly will enrich the knowledge of the degree of urbanization of human landscapes.

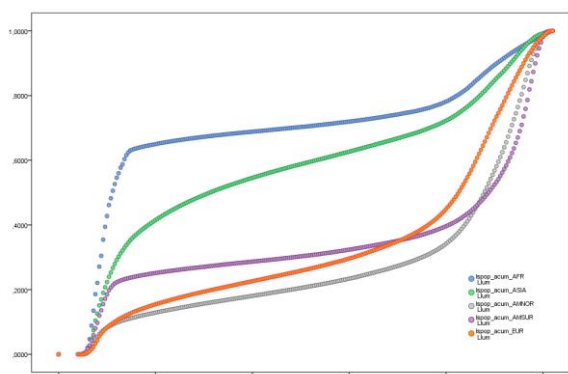


Figure 15. Night light footprint (cumulative) by continent

A first approach to the results related to the different landscapes of human settlements is summarized in Table 4. The study classifies four different landscapes, rural areas (<64, green color), rurban (64-163, yellow color), suburban (164-229, orange color) and central landscapes (≥ 230 , red color) worldwide. As shown, most of the world's population, 44.53%, lives in highly urbanized areas (light intensity ≥ 164). Faced these, rural landscapes (intensity <64) concentrate 39.99% of the population. Surprisingly, in the spaces clearly urbanized with less intensity light, called peri-urban or suburban landscapes, inhabit a higher proportion of population than in central landscapes, 26.17% vs 18.36%. If this approach is confirmed with deeper research, the territories of sprawl, the "urban sprawl", would dominate globally over the central landscapes "the compact city". Finally, between clearly urbanized areas and avowedly rural areas (night light intensity between 64 and 164) would inhabit the 15.49% of the world's population. It is in these rurban landscapes where the greatest stress of urbanization is concentrated, and is in them that the greatest increases in population will occur in the coming years.

Landscape Classification	Population	% Pop
Rural	2,681,815,933	39.99%
Rurban	1,038,598,086	15.49%
Periurban	1,755,015,993	26.17%
Central Areas	1,230,972,569	18.36%

Table 4. Population by Landscape

In Africa and Asia stand out the rural landscapes, with 63.29% and 43.59% of the population living in dark areas, compared to Europe and North America, where the percentage of population living in areas of low intensity of nightlight down 17.65% and 25.23% respectively. Urbanized or central landscapes stand out in South America (76.99%); North America (68.24%) and Europe (67.77%), while in Asia (37.01%) and especially Africa (30.00%) are still minority. Ultimately, rurban landscapes have a special role in Asia (19.40%) and in a lesser degree in Europe (14.58%). Figure 16 shows the distribution of population by nighttime light landscapes and continents.

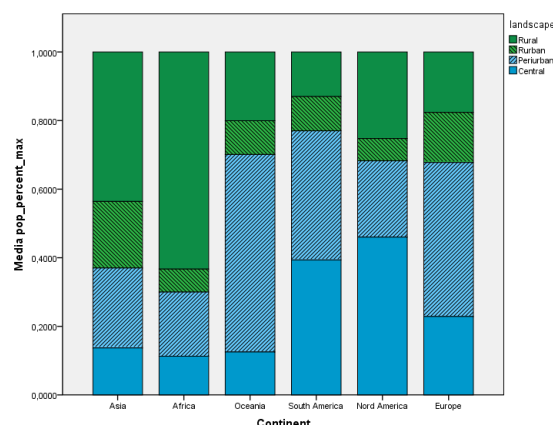


Figure 16. Population by landscape and continent

3.2 Conclusions

The dispersion of the urbanization networks seems to observe therefore different patterns in the geography of the planet. While in Europe this dispersion occurs in rurban landscapes, in Africa the high percentage of population still resides in rural landscapes, which represent the main potential of urbanization and will generate massive migration processes from rural to urbanized landscapes. Meanwhile, Asia would be in an intermediate position, receiving still strong contingent of rural-urban migration, but also observing an accelerated process of converting the rurban interstices to fully urbanized landscapes.

In South America, it seems to be already in a weak capacity to increase urbanization. South America is not only the most urbanized area in the world, is also the region showing a lower proportion of population living in rural areas (9.99%). Urban development potential lies mainly in the rurban landscapes. In the end, in North America, with the 25.23% of the population still living in rural landscapes, seems to have the potential to increase the urbanizing process.

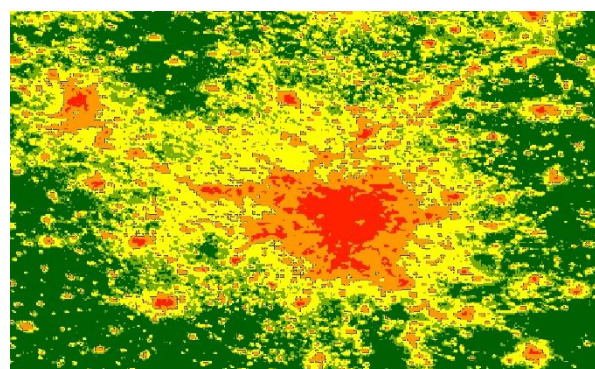


Figure 17. Landscapes Impacted by Light

REFERENCES

- Arellano, B. & Roca, J., 2014. Las megaestructuras urbanas del siglo XXI: un ensayo para la identificación y caracterización de las megalópolis. *ACE, Architecture, City and Environment*, 9 (25), pp. 127-158.
- Elvidge, C.D., Imhoff, M.L., Baugh, K.E., Hobson, V.R., Nelson, I., Safran, J., Dietz, J.B. & Tuttle, B.T., 2001. Night-time lights of the world: 1994-1995. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 56, pp. 81-99.

Elvidge, C.D., Baugh, K.E., Anderson, S.J., Sutton, P.C. & Ghost, T., 2012. The Night Light Development Index (NLDI): a spatially explicit measure of human development from satellite data. *Social Geography*, 7, pp. 23-35.

Florida, R., Gulden, T. & Mellander, C., 2008. The rise of the mega-region. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 1 (3): 459-476.

Fulton, W., Pendall, R., Nguyen, M. & Harrison, A., 2001. Who Sprawls Most? How Growth Patterns Differ Across the U.S. Center on Urban & Metropolitan Policy, The Brookings Institution, Survey Series. Washington, D.C.

NASA Earth Observatory, 2013. Night Lights 2012 - The Black Marble
<http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/view.php?id=79803> (30 October, 2013)

Oak Ridge National Laboratory, 2008. LandScan™.
<http://web.ornl.gov/sci/landscan/> (3 March, 2014)

United Nations, 2012. World Urbanization Prospects: The 2011 Revision. United Nations publication, ST/ESA/SER.A/322. New York.

United Nations, 2014. World's population increasingly urban with more than half living in urban areas, New York. UN
<http://www.un.org/en/development/desa/news/population/world-urbanization-prospects-2014.html> (10 July, 2014).

United States Census Bureau, 2010. 2010 Census Urban and Rural Classification and Urban Area Criteria.
<https://www.census.gov/geo/reference/ua/urban-rural-2010.html> (22 September, 2014)

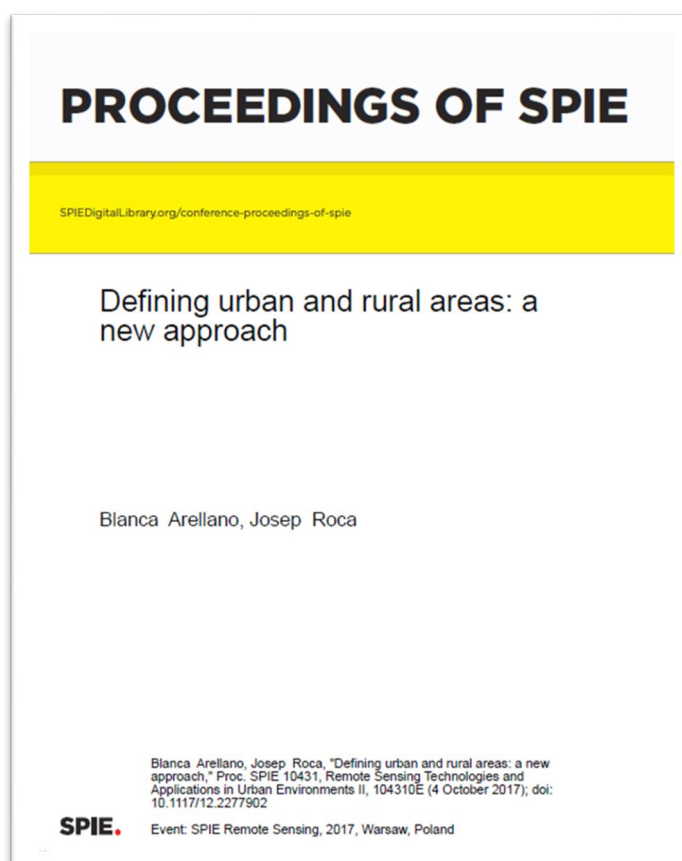
Tsai, Y. H., 2005. Quantifying Urban Form: Compactness versus 'Sprawl'. *Urban Studies*, 42(1), pp. 141-161.

Atención

Nota del Servei de Biblioteques, Publicacions i Arxius de la Universitat Politècnica de Catalunya

Las páginas 325 a 342 de la tesis, que contienen el artículo

Roca, J., Arellano, B. *Defining urban and rural areas: a new approach*. A: International Symposium on Remote Sensing. "Proceedings of SPIE: earth resources and environmental remote sensing/GIS applications VIII". Washington: International Society for Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE), 2017, p. 104310E-1-104310E-18.



deben consultarse en la página web del editor

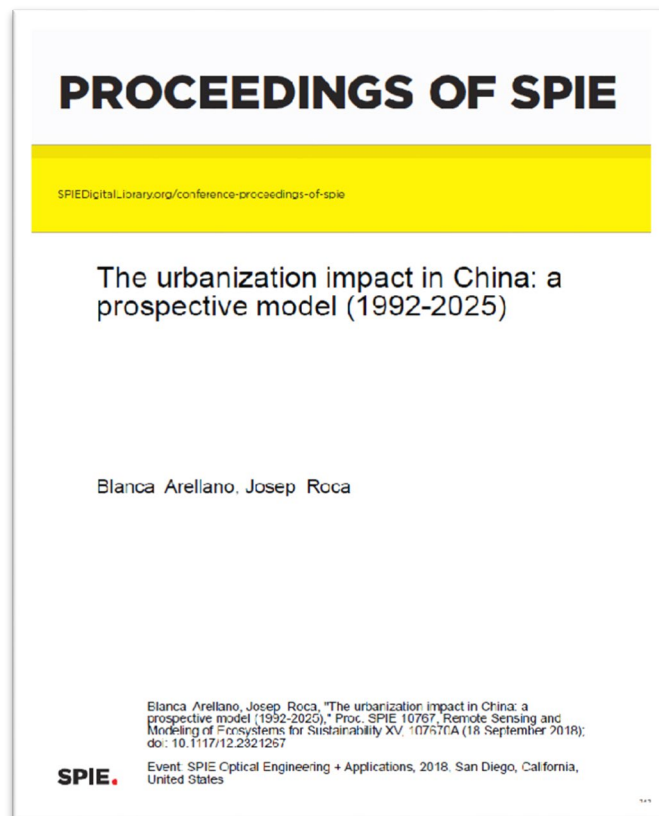
<https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/10431/104310E/Defining-urban-and-rural-areas-a-new-approach/10.1117/12.2277902.short>

Atención

Nota del Servei de Biblioteques, Publicacions i Arxius de la Universitat Politècnica de Catalunya

Las páginas 344 a 360 de la tesis, que contienen el artículo

Arellano, Blanca, Roca, J. The urbanization impact in China: A prospective model (1992-2025). A: SPIE Optics + Photonics. "Proceedings of SPIE 2018". Washington: International Society for Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE), 2018, p. 1-17.



deben consultarse en la página web del editor

<https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/10767/0000/Green-areas-and-urban-heat-island--combining-remote-sensed/10.1117/12.2320999.short?SSO=1>

5

El fenómeno del Urban Sprawl en
la Región y el Área Metropolitana
de Barcelona

CAPÍTULO V

EL FENÓMENO DEL URBAN SPRAWL EN LA REGIÓN Y EL ÁREA METROPOLITANA DE BARCELONA

En este capítulo se presentan las aportaciones relacionadas con el análisis del *proceso de Urban Sprawl a escala metropolitana de Barcelona a partir de la explotación y análisis de las luces nocturnas*. Más concretamente, las aportaciones seleccionadas se plantean el problema acerca de si las informaciones suministradas por los nuevos sensores satelitales son capaces de identificar con precisión el fenómeno del Urban Sprawl. Como se ha expuesto en el capítulo precedente, el producto *Black Marble* representó un paso adelante significativo en el conocimiento del proceso de urbanización a escala mundial. Su explotación permitió el conocimiento de los diferentes paisajes urbanos. En este capítulo de la tesis se evaluarán la capacidad de los nuevos sensores satelitales, SNP-VIIRS y Luojia 1-01, para determinar, a *escala local*, los espacios urbanizados. Y, muy en especial, los territorios caracterizados por la baja densidad, propios del Sprawl

Se compone de 3 aportaciones principales, que se relacionan a continuación:

14. **Delimitation of urban systems by Luojia 1-01 night-time light imagery.** Artículo publicado en *Proc. SPIE 11157, Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments IV*, 111570H (2 October 2019).
15. **Can nighttime imagery identify urban sprawl?** Ponencia presentada en el congreso SPIE Optical Engineering + Applications, 2020 (online), y publicada en *Proc. SPIE 11501, Earth Observing Systems XXV*, 115010S (20 August 2020); doi: 10.1117/12.2568409.
16. **Identifying urban sprawl by night lights: a pending issue.** Ponencia presentada en el congreso SPIE Remote Sensing, 2020 (online), y publicada en *Proc. SPIE 11535, Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments V*, 115350H (20 September 2020); doi: 10.1117/12.2573872.

Dichas aportaciones suministran 9 puntos según lo dispuesto en la Normativa para la presentación de Tesis Doctorales según Compendio de Publicaciones del Programa de Doctorado de Gestión y Valoración Urbana y Arquitectónica (PD GVUA), aprobado per la Comissió Permanent de l'Escola de Doctorat de la UPC el 19/07/2019 (Acord núm 2 CP2019/7/19).

El primer y segundo trabajos (decimocuarta y decimoquinta aportación) tienen por objetivo *analizar, y comparar con satélites anteriores, la capacidad del nuevo instrumento Luojia 1-01 para delimitar las áreas urbanizadas, evaluando su eficiencia para la identificación de los diferentes tipos de paisajes urbanos (compactos, dispersos y rurbanos)*, siendo el caso de estudio la Región Metropolitana de Barcelona (3.200 km², 4,7 millones de habitantes).

La tercera investigación (decimosexta aportación) representa un paso adelante respecto a las dos anteriores contribuciones. Su objetivo principal consiste en intentar dar respuesta a la pregunta de investigación planteada en el trabajo precedente: *¿pueden las luces nocturnas identificar el Urban Sprawl?, ¿pueden segmentar las cubiertas de baja densidad respecto a las áreas rurbanas y rurales?, ¿pueden los nuevos satélites, como el Luojia 1-01, identificar los*

paisajes propios del proceso de dispersión urbana conocido como Urban Sprawl. El caso de estudio es el Área Metropolitana de Barcelona (636 km² y 3,2 millones de habitantes)¹.

5.1. Delimitación de los sistemas urbanos a partir de imágenes de luces nocturnas

La *decimocuarta aportación*, **Delimitation of urban systems by Luojia 1-01 night-time light imagery**, consiste en una ponencia presentada en el congreso SPIE Remote Sensing, 2019, Strasbourg, France, y publicada en *Proc. SPIE 11157, Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments IV*, 111570H (2 October 2019); doi: 10.1117/12.2532525. Como indicador de calidad citar, además de ser un congreso notable UPC, que el índice de impacto SJR de la publicación de los Proceedings de SPIE era, en 2019, de 0,215, correspondiendo al *2º cuartil de Architecture*, aportando, por tanto, 3 puntos a los efectos de la Normativa de Tesis Doctorales por Compendio de Publicaciones del PD GVUIA².

Por su parte, la *decimoquinta aportación*, **Can nighttime imagery identify urban sprawl?**, consiste en una ponencia presentada en el congreso SPIE Optical Engineering + Applications, 2020 (online), y publicada en *Proc. SPIE 11501, Earth Observing Systems XXV*, 115010S (20 August 2020); doi: 10.1117/12.2568409. Como en el caso anterior, además de tratarse de un congreso notable UPC, cabe indicar que el índice de impacto SJR de su publicación era, en 2020, de 0,192, correspondiendo al *2º cuartil de Architecture*, aportando, por tanto, 3 puntos a los efectos de la citada Normativa del PD GVUIA.

Vinculada a ambas aportaciones, cabe citar el siguiente trabajo:

- *The extraction of urbanized areas through images of high resolution nighttime lights*. Ponencia presentada en el XXIVth ISPRS Congress: 31 August - 02 September 2020, Nice, France (virtual event), y publicada en *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLIII-B3-2020, p. 649-655. Además de corresponder a un congreso “notable” UPC, Archives está indexado en SJR = 0,264, para 2020, lo que correspondería a estar en el 2º cuartil, tanto

¹ Conviene recordar que en la cultura urbanística de Barcelona se han venido a diferenciar dos ámbitos metropolitanos diferenciados. El primero, la “Barcelona petita”, es el ámbito metropolitano delimitado a mediados del Siglo pasado, con la aprobación del Plan Comarcal de 1953. Representa un ámbito espacial (ligeramente rectificado por la Llei 31/2010, del 3 d’agost, de l’Àrea Metropolitana de Barcelona, AMB) de unos 600 km², comparable a la superficie del municipio de Madrid. Dicho ámbito se gestionó de forma unificada por la Corporación Metropolitana de Barcelona (CMB), creada en 1974, disuelta en 1987) por las Lleis d’Ordenació Territorial de Catalunya, y vuelta a crear en 2010, por la citada ley de la AMB. El segundo ámbito, la “Barcelona “gran”, sugerido en 1966 por el Esquema Director del Área Metropolitana y creado formalmente en 2010 con la aprobación del Pla Territorial Metropolità de Barcelona, tiene una superficie de 3.200 km², abarcando 7 comarcas (Barcelonès, Baix Llobregat, Vallès Occidental, Vallès Oriental, Maresme, Alt Penedès y Baix Penedès) y 164 municipios. Este segundo ámbito suele ser llamado Región Metropolitana de Barcelona (RMB), acercándose al área metropolitana real (véase capítulo III). Posteriormente la Llei 23/2010 del 22 de juliol de modificació de la Llei 1/1995 i de la Llei 23/1983 per a fixar l'àmbit de planificació territorial del Penedès, i al Decret 208/2013, de 30 de juliol, pel qual es desplega la Llei 23/2010, del 22 de juliol, de modificació de la Llei 1/1995 i de la Llei 23/1983 per fixar l'àmbit de planificació territorial del Penedès, segregó del Pla Territorial Metropolità de Barcelona las comarcas del Alt Penedès i del Garraf, uniéndolas a la del Baix Penedès y a algunos municipios de la comarca de l’Anoia, generando el ámbito de planificación territorial del Penedès.

² Con un CiteScore de 1, los Proceedings de SPIE ocuparían igualmente el 2º cuartil tanto de *Architecture*, como de *Urban Studies*.

en el caso de *Architecture* y de *Urban Studies*.³

Las contribuciones seleccionadas en decimocuarto y decimoquinto lugar abordan el *análisis de la estructura interna del área metropolitana de Barcelona a partir de la explotación y análisis de las luces nocturnas*. Las aportaciones analizadas en el capítulo anterior de la tesis, eficientes para analizar el fenómeno urbano a escala mundial y regional, muestran, sin embargo, una limitación fundamental para el *análisis pormenorizado* de los sistemas urbanos y metropolitanos: la baja resolución espacial de los sensores satelitales. Aunque el DMSP Operational Linescan System (OLS) ha estado recopilando datos globales de imágenes con poca luz durante más de 40 años, su huella de 2,7 km/píxel⁴ ha limitado su uso para estudios en profundidad del desarrollo urbano. El lanzamiento en 2011 por la NASA y la NOAA del satélite Suomi National Polar Partnership (SNPP), con el sensor Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) a bordo, ha llevado a una mejora significativa. Este instrumento tiene mejor resolución espacial (742 metros/píxel), calibración a bordo, un mayor rango radiométrico y menos problemas de saturación que los datos DMSP-OLS⁵. Sin embargo, todavía tiene limitaciones considerables para el estudio en profundidad del área y la estructura interna de la urbanización. Por su parte, el lanzamiento de Luojia 1-01 en junio de 2018 ha aumentado la capacidad de las luces nocturnas para el estudio de los sistemas urbanos. El LJ1-01 es un nano satélite chino, de tan sólo 20 kg de peso, que puede obtener imágenes nocturnas de alta resolución (130 metros/píxel).

El objetivo principal de las aportaciones seleccionadas en este capítulo de la tesis es analizar y comparar las imágenes ofrecidas por los mencionados sensores, evaluando la capacidad del nuevo instrumento Luojia 1-01 para *delimitar las áreas urbanizadas, así como su eficiencia en la identificación de los diferentes tipos de paisajes urbanos* (compactos, dispersos y rurbanos).

La metodología empleada ha consistido:

- La *aportación decimocuarta* se concentra en la realización de *modelos de regresión logística con el suelo urbanizado obtenido mediante Corine Land Cover⁶ (CLC) como variable dependiente*. El desarrollo de dichos modelos de regresión para cada tipo de imagen satelital (DMSP-OLS, Black Marble, SNPP-VIIRS y Lj1-01) permite evaluar el rendimiento de las mismas en la identificación de las urbanizadas.
- Por su parte, la *aportación decimoquinta* desarrolla de manera *pormenorizada los modelos de regresión logística para cada una de las cubiertas de suelo urbanizado, obtenidas por CLC*, especialmente de las cubiertas asociadas principalmente al Urban Sprawl, permitiendo establecer el grado de eficiencia de las luces nocturnas en la identificación de los paisajes urbanos dispersos.

³ Con un CiteScore de 1,6, *Archives* estaría en el 1er cuartil en *Architecture* (Scopus). Sin embargo no se ha escogido como aportación principal en esta tesis (aunque si vinculada) debido a que no se centra exclusivamente en el ámbito metropolitano de Barcelona, sino que compara Barcelona y Shenzhen (China).

⁴ Aunque reducida a 30 segundos arco/píxel, gracias a la combinación de imágenes producida por NOAA. Para más detalles técnicos, véase <https://ngdc.noaa.gov/eog/sensors/ols.html>.

⁵ SNPP-VIIRS tiene una profundidad de píxel de 32 bits, y una resolución espacial de 0.0041666667 grados.

⁶ El inventario CORINE Land Cover (CLC) se inició en 1985. Se han realizado actualizaciones en 2000, 2006, 2012 y 2018. Consiste en un inventario de cobertura terrestre en 44 clases de suelo, a partir de las cuales se puede obtener el suelo urbanizado con gran precisión. CLC utiliza una Unidad Mínima de Mapeo (MMU) de 25 hectáreas (ha) para fenómenos de área y un ancho mínimo de 100 m para fenómenos lineales. Véase para mayor detalle: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>

En cuanto a los *principales resultados de la primera de dichas contribuciones*, cabe destacar:

- A pesar de los buenos resultados resaltados en la literatura anterior sobre las capacidades del *DMSP-OLS* para identificar el desarrollo urbano⁷, la metodología propuesta basada en la regresión logística demuestra la incapacidad de dicha información para la identificación del fenómeno urbanizador a la pequeña escala. Dada la baja profundidad (0-63 intensidades de luz) así como la altísima huella espacial (2,7 km/píxel) de las imágenes obtenidas a partir de *DMSP-OLS*, la confusión entre píxeles iluminados y oscuros es tan pronunciada, que incapacita la utilidad de dicha información para analizar en detalle el proceso de urbanización en la RMB.
- En cuanto a *Black Marble*, el modelo de regresión logística alcanza el 66,8% de aciertos en suelo rural, el 91,3% en suelo urbanizado y una precisión global del 72,25%.
- El modelo de regresión logística desarrollado con las imágenes de *SNPP-VIIRS* obtiene mejores resultados, con el 80,9% de aciertos en suelo rural y el 88,3% en suelo urbanizado. La precisión general alcanza el 82,52%. *SNPP-VIIRS* obtiene unos resultados que se pueden considerar medio-altos para identificar la extensión de coberturas artificializadas de la RMB, como lo refleja el coeficiente Kappa (0,578) obtenido.
- Finalmente, y por lo que respecta a la eficiencia de los diferentes sensores satelitales en la identificación de las áreas urbanizadas, *Luojia1-01* obtiene el 87,8% de aciertos en suelo rural y el 89,2% en suelo urbanizado, con una precisión global del 88,08%. El rendimiento de *Luojia 1-01* (con una profundidad de píxel de 32 bits y una resolución espacial de 130 metros) puede considerarse alto, como lo demuestra el elevado coeficiente Kappa (0,691) obtenido de la regresión logística.

Respecto a los *resultados obtenidos por la contribución decimoquinta*, cabe destacar:

- El análisis realizado a partir de *Luojia 1-01* para las diferentes cubiertas de suelo de CLC, confirma con claridad que *las áreas urbanas tienen un nivel de radiación nocturna claramente superior a las áreas rurales*. “Continuous urban fabric”, “industrial áreas”, “ports” & “airports” muestran un elevado grado de iluminación nocturna, por encima de $0,0015 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$.
- Sólo “discontinuous urban fabrics”, que en esta contribución se asimila al Urban Sprawl⁸, alcanza una radiación nocturna inferior a citado umbral ($0,00108 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$).
- *El rendimiento de los modelos de regresión logística alcanza niveles óptimos en las cubiertas de suelo compacto o industrial. Sin embargo, no identifica completamente los tejidos urbanos discontinuos* (código 112 de CLC). A pesar de que la luminosidad media de la urbanización dispersa es 11,76 veces superior a la del suelo rural, la existencia de luces débiles en los tejidos urbanos de menor densidad dificulta el buen desempeño del modelo. Sólo el 84,9% de los píxeles de “discontinuous urban fabric” llegan a estar bien identificados mediante regresión logística.

Las principales aportaciones de las contribuciones aquí presentadas consisten, por tanto:

⁷ Véase la contribución decimotercera, en el capítulo anterior.

⁸ Dicha identificación entre US y “discontinuous urban fabric” tan sólo puede ser entendida a grandes trazo, puesto que la clasificación de CLC no permite discriminar dicha cubierta en función al grado de densidad, o de intensidad de la edificación.

- Primero de todo, constatar el *buen desempeño de la información suministrada por los más recientes sensores satelitales* (SNPP-VIIRS, desde 2012, y Luojia 1-01, desde 2018) *para identificar el fenómeno urbanizador a escala de detalle*. En este sentido la consideración estricta de los espacios urbanizados, obtenida por medio de Corine Land Cover, dificultaba enormemente el proceso en relación al concepto de área urbana utilizada en el capítulo anterior, resultante de la definición dada por el Census Bureau. El reconocimiento en las investigaciones aquí analizadas del buen desempeño de SNPP-VIIRS y Luojia 1-01 en la identificación de los espacios realmente urbanizados, es, por tanto, un paso adelante significativo respecto a las contribuciones presentadas en el capítulo anterior.
- Constatar, asimismo, el *rendimiento elevado que ofrecen los modelos basados en las imágenes de luces nocturnas de elevada resolución en la identificación de los tejidos urbanos compactos, industriales, portuarios y aeroportuarios*⁹.
- Sin embargo, la débil iluminación de las áreas de urbanización dispersa dificulta su identificación, incluso con las imágenes satelitales de mayor resolución, como Luojia 1-01. Por este motivo, se concluye en la segunda de las contribuciones seleccionadas en este capítulo que *la identificación precisa del Urban Sprawl mediante luces nocturnas sigue siendo un desafío pendiente*.

5.2. Identificar el urban sprawl mediante las luces nocturnas: una asignatura pendiente.

La decimosexta aportación, Identifying urban sprawl by night lights: a pending issue, y publicada en *Proc. SPIE 11535, Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments V*, 115350H (20 September 2020); doi: 10.1117/12.2573872, resultante de una ponencia presentada en el en el congreso SPIE Remote Sensing, 2020 (online). Como indicador de calidad hay que indicar que con SJR de 0,192, se situaría en el segundo cuartil tanto de *Architecture*. Aporta, por tanto, 3 puntos. a los efectos de la Normativa de Tesis Doctorales por Compendio de Publicaciones del PD GVUIA.

La aportación seleccionada en dieciseisavo lugar *aborda la capacidad de Luojia 1-01 para identificar diferentes tipos de paisajes urbanos, especialmente los resultados del proceso de dispersión urbana conocido como Urban Sprawl*. El caso de estudio es el *Área Metropolitana de Barcelona* (636 km² y 3,2 millones de habitantes).

Como se ha indicado en relación a la investigación precedente, las áreas resultantes del proceso del crecimiento disperso de la ciudad se caracterizan por una iluminación nocturna débil, lo que dificulta enormemente su identificación. Rompiendo la rígida frontera que históricamente distinguía lo urbano de lo rural, la inversión topológica del paisaje producida por el Urban Sprawl dificulta la identificación de los territorios impactados por procesos de urbanización dispersos, fragmentados y de baja densidad.

⁹ Aunque su discriminación es un ejercicio complejo. La confusión de los píxeles altamente iluminados dificulta la identificación pormenorizada de las cubiertas urbanas.

La investigación que aquí se resume, se basa en la siguiente pregunta clave: ¿pueden las luces nocturnas identificar los territorios del Sprawl, así como diferenciarlos de resto de paisajes humanos?

En cuanto a la *metodología* empleada, la contribución se basa en los mismos criterios desarrollados, tanto en el capítulo precedente, como en las aportaciones previas de este mismo capítulo: la regresión logística iterativa, extensamente explicada en la publicación de Proceedings of SPIE. La novedad más significativa consiste no sólo en el ámbito analizado, la (mal) llamada Área Metropolitana, en vez de la Región Metropolitana de Barcelona, sino ante todo la inclusión, junto a Corine Land Cover, de los *usos de suelo de Urban Atlas*¹⁰ (<https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas>). Como se ha indicado previamente, CLC no determina con precisión las cubiertas de suelo propias del Urban Sprawl. “Discontinuous urban fabric” mezcla en exceso tejidos urbanos de distinta densidad. Urban Atlas, en cambio, discrimina los usos del suelo en función al grado de ocupación del mismo por la edificación. Es, por tanto, una base de información que permite evaluar el rendimiento de la intensidad de las luces nocturnas para la identificación del Urban Sprawl.

La investigación aquí resumida obtiene los siguientes resultados:

- Los modelos de regresión logística iterativa, con la radiancia de Luojia 1-01 como variable independiente y la urbanización del suelo (1 = urbano, 0 = rural) resultante de Corine Land Cover 2018 como variable dependiente, obtienen para la AMB un 88,4 % de aciertos en suelo rural y un 88,1% en suelo urbanizado, con una precisión global del 88,2%. Resultados similares a los obtenidos en las anteriores aportaciones para el conjunto de la RMB¹¹.
- El análisis de las luces nocturnas de del AMB, utilizando la información de Luojia 1-01, devuelve *una radiancia del suelo urbanizado 12,21 veces mayor en relación al suelo rural*. Dicha iluminación nocturna varía mucho según las distintas coberturas terrestres.
- En el AMB el rendimiento de Luojia 1-01 es muy elevado en lo que respecta a la identificación de las cubiertas (de CLC) “continuous urban fabric” (un 99,2% de acierto), “industrial and commercial land” (94,0% de acierto) y “Port área” (99,6%). “Rural land covers” obtienen también un relativamente elevado nivel de ajuste (88,9% de acierto). En cambio, el rendimiento del modelo decae en “discontinuous urban fabric” al 82% de acierto.
- Por lo que respecta a los *usos de suelo de Urban Atlas*, el puerto, el aeropuerto y el tejido urbano continuo tienen más de $0,003 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$ de radiancia nocturna. El tejido urbano denso discontinuo (“land sealing”: 50/80%), el uso del suelo industrial y comercial, las

¹⁰ The European Urban Atlas provides reliable, inter-comparable, high-resolution land use maps for over 300 Large Urban Zones and their surroundings (more than 100.000 inhabitants as defined by the Urban Audit) for the 2006 reference year in EU member states and for about 800 Functional Urban Area (FUA) and their surroundings (more than 50.000 inhabitants) for the 2012 and 2018 reference year in EEA39. Two additional layers were produced starting from the 2012 reference year: 1) Street Tree Layer within selected FUAs (depending on availability and suitability of satellite imagery) and 2) Building Heights for core urban areas of selected cities in EEA39. The first change layers were produced in 2012 (<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/copernicus-land-monitoring-service-urban-atlas>). La clasificación de los usos de suelo de Urban Atlas incluye 17 categorías de zonas urbanas, y 10 categorías de suelo rural. La unidad mínima de mapeo es 0,25 Ha en las zonas urbanas y 1 Ha en las zonas rurales.

¹¹ Con un Kappa value = 0,764, puede afirmarse que el modelo de la AMB tiene un mejor comportamiento que el modelo de la RMB, con un Kappa value de 0,691.

áreas urbanas verdes, las carreteras y los ferrocarriles tienen una intensidad de luz nocturna superior a $0,002 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$. Los terrenos sin uso actual, las obras, las instalaciones deportivas y de ocio y el tejido urbano discontinuo de densidad media ("Land sealing": 30-50%) tienen una luminosidad entre $0,0015$ y $0,002 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$.

- Por su parte, *los tejidos urbanos discontinuos de densidad baja ("land sealing": 10-30%) y muy baja ("land sealing": <10%) presentan una luminosidad inferior a $0,001 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$, al igual que todas las coberturas rurales.*
- Los modelos realizados para "discontinuous urban fabric" de Urban Atlas denotan un *claro rendimiento decreciente cuanto menor es la densidad*: el % de acierto de los mismos pasa del 96% en los usos discontinuos densos ("land sealing": 50%-80%), al 83,5% en los usos discontinuos de densidad media ("land sealing": 30%-50%), el 68,7% en los usos discontinuos de densidad baja ("land sealing": 10%-30%) y a tan sólo el 51,8% en los usos discontinuos de densidad muy baja ("land sealing" < 10%).
- El análisis de la luz nocturna para los diferentes tipos de cobertura del suelo confirma, por lo tanto, *la dificultad de identificar las áreas resultantes de la expansión urbana de baja y muy baja densidad*. Estas áreas se caracterizan por una iluminación nocturna débil, lo que dificulta enormemente su identificación.

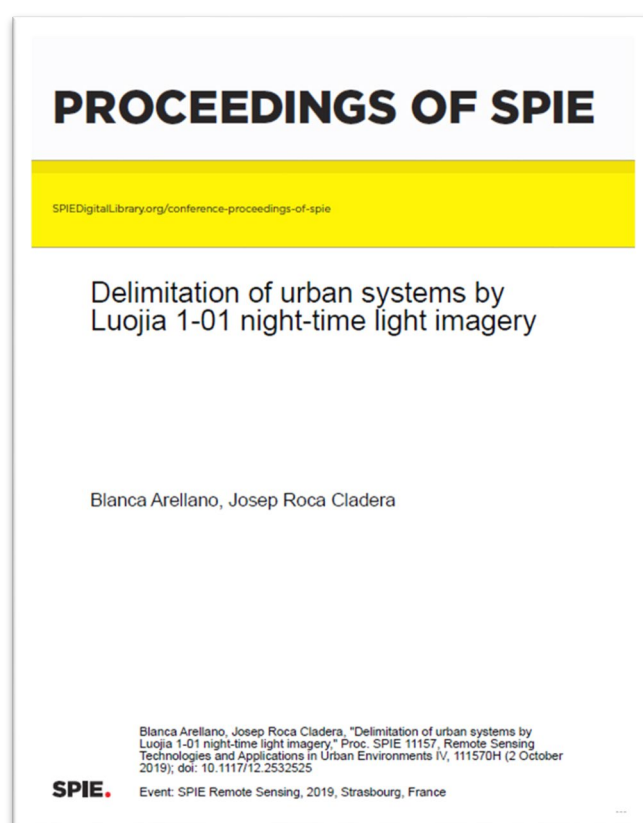
El trabajo publicado en los Proceedings de SPIE Remote Sensing 2020, concluye "*The identification of urban sprawl using night lights remains a pending challenge given the available open source databases*". Cuando el Urban Sprawl se analiza de forma pormenorizada (por ejemplo, mediante Urban Atlas) su identificación continúa siendo esquiva desde la perspectiva de las luces nocturnas.

Atención

Nota del Servei de Biblioteques, Publicacions i Arxius de la Universitat Politècnica de Catalunya

Las páginas 370 a 376 de la tesis, que contienen el artículo

Arellano, B.; Roca, J. *Delimitation of urban systems by Luojia 1-01 night-time light imagery*. A: SPIE International Symposium - Remote Sensing Europe. "Proc. SPIE 11157, Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments IV, 111570H (2 October 2019)". 2019, p. 111570H:1-111570H:7.



deben consultarse en la página web del editor

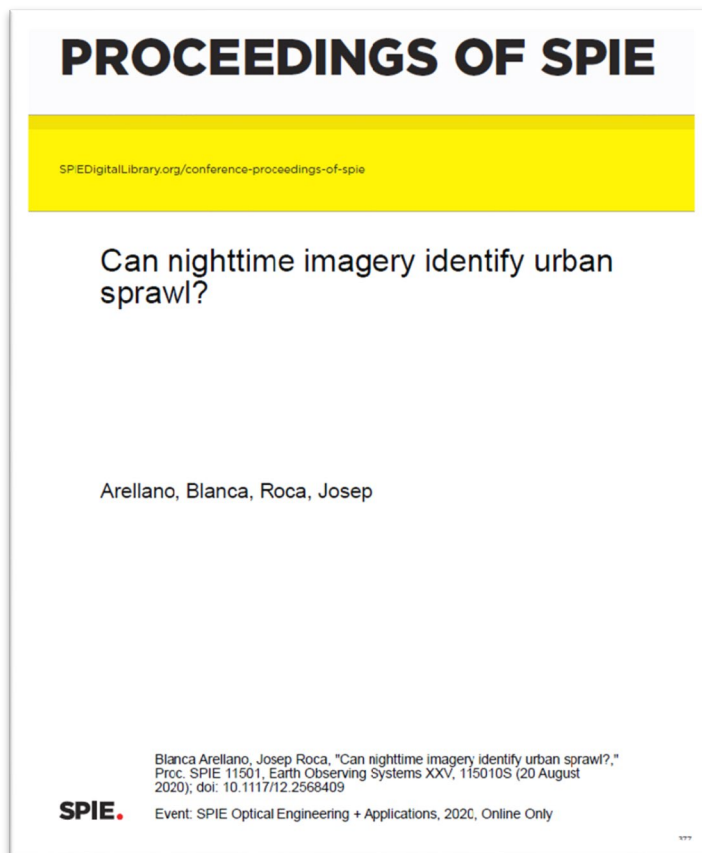
<https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/11157/111570H/Delimitation-of-urban-systems-by-Luojia-1-01-night-time/10.1117/12.2532525.short?SSO=1>

Atención

Nota del Servei de Biblioteques, Publicacions i Arxius de la Universitat Politècnica de Catalunya

Las páginas 378 a 384 de la tesis, que contienen el artículo

Arellano, B.; Roca, J. Can nighttime imagery identify urban sprawl? A: SPIE International Symposium on Optical Engineering and Applications. "SPIE Optical Engineering and Applications 2020: XXV Earth Observing Systems: 24 August-4 September 2020: proceedings volume 11501". Washington: International Society for Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE), 2020, DOI 10.1117/12.2568409.



deben consultarse en la página web del editor

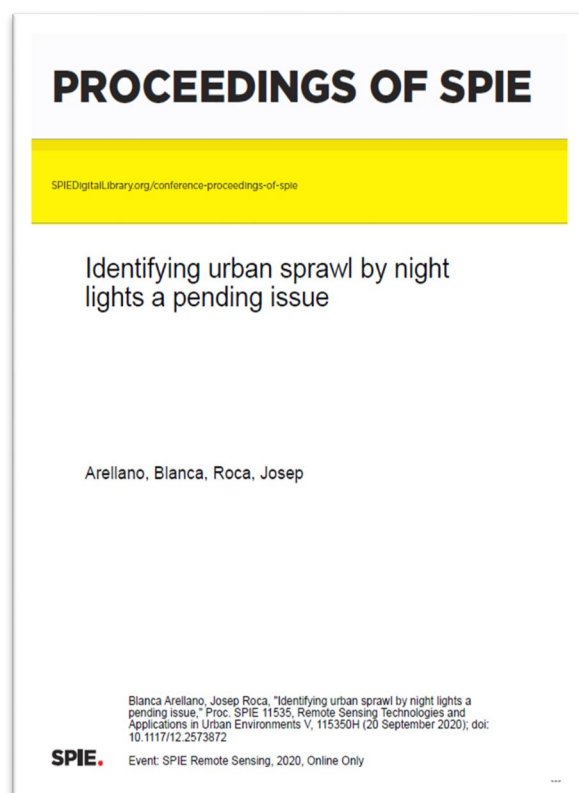
<https://spie.org/Publications/Proceedings/Paper/10.1117/12.2568409>

Atención

Nota del Servei de Biblioteques, Publicacions i Arxius de la Universitat Politècnica de Catalunya

Las páginas 386 a 395 de la tesis, que contienen el artículo

Arellano, B.; Roca, J. *Identifying urban sprawl by night lights: a pending issue. A: International Symposium on Remote Sensing. "SPIE Remote Sensing 2020: V Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments: 21-25 September 2020: proceedings volume 11535"*. Washington: International Society for Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE), 2020, DOI 10.1117/12.2573872.



deben consultarse en la página web del editor

<https://spie.org/Publications/Proceedings/Paper/10.1117/12.2573872>

6

Clima Urbano y Urban Sprawl

CAPÍTULO VI

CLIMA URBANO Y URBAN SPRAWL

En este capítulo se presentan las aportaciones relacionadas con el *análisis del Clima Urbano y de la Isla de Calor Urbana (UHI)*, así como de sus efectos en los territorios del Urban Sprawl y del resto de paisajes urbanos. La irrupción y auge de la conciencia acerca del Cambio Climático (CC) y del Calentamiento Global (GW) ha tenido en la Conferencia de París (2015)¹ un punto de inflexión, el cual coincidió con diversos proyectos competitivos de investigación del CPSV en los que he participado activamente, debiendo destacar tres de ellos²:

- *CLIM-CAP*³, *Competences for sustainable city development: Qualification scheme for Climate Adaptation in Construction, Architecture and Planning*, establecido para desarrollar en la Unión Europea “un innovador título de formación acreditada ofreciendo a los profesionales que trabajan en el sector del medio ambiente construido, las competencias y los conocimientos prácticos necesarios para planificar y entregar la adaptación en el entorno construido de las zonas urbanas”. CLIM-CAP está cofinanciado por el “European Union's Lifelong Learning Programme”, gestionado por la “Education, Audiovisual and Cultural Executive Agency” y cuenta con el apoyo de las Direcciones Generales de Clima y de Medio Ambiente de la Unión Europea. Convocatoria 2011. Agencia Ejecutiva en el ámbito Educativo, Audiovisual y Cultural (EACEA). Programa de formación permanente. Ref. 540313-LLP-1-2013-1-DE-LEONARDO-LMP. Período de ejecución: 2013-2015. <https://www.climcap.eu/en/>
- *Urban-CLIMPLAN. La isla de calor urbana: efectos en el cambio climático y modelado para estrategias de planeamiento territorial y urbano. Aplicación a la región metropolitana de Barcelona*. Proyecto financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER). Programa Estatal de Investigación, Desarrollo e Innovación Orientada a los Retos de la Sociedad, Convocatoria 2015. Modalidad 1. Proyectos de I+D+I Ref. BIA2015-68623-R

¹ La COP21 de las N.N.U.U. se celebró en París en 2015, llegando al *Paris Agreement* (http://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf) en el que 191 países, además de la Unión Europea, acordaron reducir sus emisiones y colaborar para adaptarse a los efectos del cambio climático, así como realizar llamamientos a los Estados para que fortalezcan sus compromisos a lo largo del tiempo. El Acuerdo ofrece una vía para que las naciones desarrolladas ayuden a las naciones en desarrollo en su labor de mitigación del cambio climático y adaptación a este, al tiempo que crean un marco para el seguimiento y la presentación de informes transparentes de los objetivos climáticos de los países. El Acuerdo, alcanzado el 12 de diciembre de 2015, tiene por objeto reducir de forma sustancial las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero y limitar el aumento global de la temperatura en este siglo a 2 grados Celsius, al tiempo que busca medios de limitar la subida todavía más, a 1,5 grados. <https://www.un.org/en/climatechange/paris-agreement>

² Cabría citar un cuarto proyecto competitivo desarrollado por el CPSV y vinculado al Clima Urbano: *G-Clima. Guía para la rehabilitación climática de barrios. Caso de estudio Poblenou*. Ayuntamiento de Barcelona. Gerencia de Ecología Urbana. Convocatoria para la concesión de ayudas para el desarrollo de proyectos en el marco de la emergencia climática de la ciudad de Barcelona 2020. Plan Clima. Exp. 2092. Ref. 20S07011-001. Período de ejecución: 2020-2022.

³ Los socios de CLIM-CAP incluyen la Ruhr-Universität Bochum (RUB) and Akademie der Ruhr-Universität gGmbH (AKA) por parte de Alemania, la Town and Country Planning Association (TCPA) en representación del Reino Unido, la Wageningen Academy (WBS) de Netherlands, el Energiaklub Climate Policy Institute and Applied Communications (EK) de Hungría, y la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) por parte española.

(MINECO/FEDER). Periodo de ejecución: 2016-2019.

- *X-ClimPlan. Herramienta de planificación espacial y urbana extrema para episodios de olas de calor e inundaciones repentinas. Construyendo la resiliencia para ciudades y regiones.* Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. Programas estatales de generación de conocimiento y fortalecimiento científico y tecnológico del sistema de I+D+i y de I+D+i orientada a los retos de la sociedad, Convocatoria 2019, Proyectos de I+D+i. Ref. PID2019-105976RB-I00 (MINCIU). Periodo de ejecución: 2020-2022.

En este contexto se inscriben las cuatro aportaciones principales, entre muchas otras, que se presentan en este capítulo y que a continuación se relacionan:

- 17. Identifying Urban Heat Island. The Barcelona Case.** Ponencia presentada en International Conference Virtual City and Territory - 11th Congress Virtual City and Territory, Krakow, 6-8 July 2016 y publicada en *Back to the Sense of the City: International Monograph Book* (pp. 798-812). Centre de Política de Sòl i Valoracions (UPC).
- 18. Green areas and urban heat island: Combining remote sensed data with ground observations.** Ponencia presentada en el congreso SPIE Optical Engineering + Applications, 2018, San Diego, California, United States y publicada en *Proceedings Volume 10767, Remote Sensing and Modeling of Ecosystems for Sustainability XV; 1076705* (2018); doi: 10.1117/12.2320999.
- 19. Remote Sensing and nighttime Urban Heat Island.** Ponencia presentada en el XXIV ISPRS Congress (2021 edition), y publicada en *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLIII-B3-2021, 15-22; doi:10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2021-15-2021.
- 20. Modelling nighttime air temperature from remote sensing imagery and GIS data.** Ponencia presentada en el congreso Space, Satellites + Sustainability (S3), 2021, Glasgow, Scotland, United Kingdom, y publicada en *Proc. SPIE 11888, Space, Satellites, and Sustainability II, 118880H* (2021); doi: 10.1117/12.2599022.

Dichas aportaciones suministran 9 puntos según lo dispuesto en la Normativa para la presentación de Tesis Doctorales según Compendio de Publicaciones del Programa de Doctorado de Gestión y Valoración Urbana y Arquitectónica (PD GVUA), aprobado per la Comissió Permanent de l'Escola de Doctorat de la UPC el 19/07/2019 (Acord núm 2 CP2019/7/19).

Como se ha indicado, las aportaciones seleccionadas representan una síntesis de las investigaciones realizadas en el marco de la tesis y de los proyectos de investigación del CPSV sobre Clima Urbano. Más concretamente sobre el *desempeño de los diferentes tejidos urbanos ante el calentamiento global y en episodios de calor extremo*. Según el Centre for Human Settlements (UN-HABITAT) las ciudades son responsables del 75% del consumo global de energía, así como el 80% de las emisiones gases efecto invernadero (GHG). La contribución de la urbanización al cambio climático es de doble naturaleza:

- Por una parte, por la *generación urbana de GHG*, lo que contribuye de forma determinante al calentamiento global del planeta.
- Por otra, por la radiación generada por la superficie del suelo urbanizado, la cual

determina un determinado flujo de calor sensible y latente en virtud del tipo de cubiertas urbanas, así como a su grado de humedad. Es el llamado *fenómeno de la Isla de Calor Urbana* (UHI).

En este contexto, y como ya se expuso a raíz de las contribuciones 7, 8 y 9, *la urbanización dispersa, el Urban Sprawl, es responsable de una proporción significativa del consumo energético y de las emisiones urbanas*. Según el IDEA⁴, las viviendas unifamiliares en España el consumo medio de las viviendas unifamiliares es 17.012 kWh/vivienda (0,061 TJ), casi el doble del consumo de la vivienda media nacional. De forma opuesta, el consumo medio de las viviendas en bloque es de 7.859 kWh al año (0,028 TJ), inferior en un 25% al consumo de la vivienda media nacional. *Las políticas de mitigación al cambio climático tienen, por tanto, un objetivo central: frenar el proceso de dispersión de la edificación y promover desarrollos urbanos más compactos y densos*.

Ahora bien, *desde la perspectiva de la adaptación al cambio climático, es decir de la resiliencia al calentamiento global, el diagnóstico no es necesariamente el mismo*. El conocimiento del clima urbano es, por tanto, un elemento clave por tal de evaluar la eficiencia de los diferentes tejidos frente al GW.

En este contexto la primera de las aportaciones seleccionadas en este capítulo aborda, siempre referido a la Región Metropolitana de Barcelona, el *comportamiento climático de los distintos usos del suelo*. Estudia el fenómeno de la Isla de Calor y su distribución espacial. Y establece las zonas climáticas, llamadas en la literatura especializada *climatopes* (en la cultura centroeuropea) o *local climate zones* (en la cultura norteamericana). Resultando, de este análisis, *una mayor resiliencia de las zonas urbanas de baja de densidad, frente a los espacios centrales, más densos y congestionados*. El Urban Sprawl, si bien desde la perspectiva de las emisiones tiene un comportamiento mucho peor que la Ciudad Compacta, desde la perspectiva de la adaptación al CC, ofrece mayores atractivos que los centros urbanos. Aparece, por tanto, dibujada una abierta contradicción que el planeamiento urbano ha de saber gestionar, más allá de los paradigmas formalmente establecidos.

La segunda de las aportaciones aquí seleccionadas analiza uno de los factores, acaso el principal, que explica el distinto grado de resiliencia de los diferentes paisajes urbanos frente al GW. *El papel del verde urbano (urban greenery) como elemento amortiguador del calor de la ciudad*. Éste ha sido uno de los elementos centrales que han abordado los proyectos del CPSV sobre el Clima Urbano. La escasez extrema del verde urbano en los centros urbanos, frente a su relativa abundancia en las periferias, sitúa a los primeros en una posición de desventaja absoluta frente a las segundas. Las áreas verdes y azules representan verdaderos activos en el contexto de calentamiento global. A sus valores “estéticos”, que han hecho siempre de ellas lugares que atesoran “externalidades positivas”, se une, ahora, su capacidad de moderación de las elevadas temperaturas. De ahí que no sea extraño que la “demanda”, es decir la decisión de los hogares en el momento de tomar decisiones acerca de la localización de la vivienda, vaya dirigida principalmente a las periferias del Urban Sprawl, donde se produce una mayor concentración de los espacios verdes. La investigación sobre el verde urbano plantea un dilema de gran calado para la planificación urbana: ¿cómo democratizar del verde a los largo y ancho de los sistemas urbanos y metropolitanos?

La tercera de las contribuciones ahonda sobre el problema de la UHI. *La isla de calor urbana, y por tanto su efecto en las condiciones ambientales y el confort de los espacios urbanos, tiene un*

⁴ IDAE (2011). Análisis del consumo energético del sector residencial en España. PROYECTO SECH-SPAHOUSEC.

efecto radicalmente diferente durante el día y la noche. Es durante la noche donde sus efectos son más acusados. De ahí que sea determinante conocer en profundidad la UHI nocturna. Y como afecta a los diferentes tipos de tejidos urbanos. Aparece de nuevo la gran diferencia en el comportamiento climático existente entre los paisajes centrales (de elevada densidad, escasez de espacios verdes, menos capaces de circulación del aire fresco y con una elevada proporción de espacios no permeables), y los paisajes del Sprawl (por lo general mejor dotados de verde, menos densos, más permeables y donde el aire fresco circula con mayor facilidad).

Finalmente, la cuarta (vigésima) aportación aborda el tema central de la *interacción entre el clima y la salud*. El confort y la salud son aspectos íntimamente relacionados. Afectando el clima urbano, diurno, pero sobre todo nocturno, el bienestar humano. En este sentido la última de las investigaciones seleccionadas aborda este tema central de la planificación urbana y territorial, que la reciente pandemia ha venido a subrayar. Y de nuevo en esta perspectiva, los paisajes del Sprawl parecen estar mejor posicionados respecto a los paisajes centrales, de mayor compacidad.

En suma, el capítulo VI plantea un reto de gran importancia para arquitectos y urbanistas: ¿cómo hacer de los tejidos compactos (sin duda más eficientes desde la perspectiva de las emisiones, y, por tanto, de la contribución a reducir los impactos negativos de las ciudades al calentamiento global) lugares más atractivos para disminuir los efectos negativos del Cambio Climático? Y, también de su correlato: ¿cómo hacer de las periferias del Urban Sprawl (sin duda más eficientes desde la perspectiva de la adaptación al GW) espacios de menores emisiones, y, por tanto, más sostenibles ambientalmente?

6.1. Identifying Urban Heat Island. The Barcelona Case

El primer trabajo, la aportación decimoséptima, consiste en una Ponencia presentada en el 11º Congreso CTV, celebrado en Cracovia (Polonia) del 6 al 8 de julio de 2016 y publicada en el libro de actas del congreso *Back to the Sense of the City: International Monograph Book*, 798-812. Centre de Política de Sòl i Valoracions (UPC), doi: 10.5821/ctv.8130. Como indicador de calidad hay que decir que, además de haber recibido 9 citas según Google Scholar, es un ejemplo de las otras 9 aportaciones vinculadas a esta misma materia:

- *Planificación Urbana y Cambio Climático*, ponencia presentada en la *International Conference on Regional Science: Innovation and Geographical Spillovers: New Approaches and Evidence*. XLI Reunión de Estudios Regionales de la Asociación Española de Ciencia Regional, celebrada en Reus (España) entre el 18 y 20 de noviembre de 2015. Trabajo que ha recibido 8 citas según Google Scholar.
- *Urban design and urban heat island*, ponencia presentada en el congreso *SPIE Remote Sensing 10431: Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments*, celebrado en Varsovia del 11 al 14 de septiembre de 2017. Congreso notable UPC.
- *Characterisation of the urban heat island phenomenon in the Barcelona (NE Spain) metropolitan area along the 2006–2017 period*, ponencia cuyos autores son Martínez, M. D., Lana, X., Serra, C., Burgueño, A., Roca, J., Arellano, B., Biere, R. & Moix, M. (2018, April), y que fue presentada en EGU General Assembly Conference Abstracts (p. 5352). <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2018EGUGA..20.5352M/abstract>. Congreso notable UPC.

- *Planning and Urban Heat Island*, ponencia presentada en *APPAM International Conference. Public Policy for Sustainable Metropolitan Development*, celebrada en la Ciudad de México, 18-20 de julio de 2018. <https://www.appam.org/conference-events/international-conferences/2018-international-conference/>.
- *Características de la isla de calor urbana en Barcelona (NE España) en el periodo 2006-2017*, ponencia cuyos autores son Martínez, M. D., Lana, X., Serra, C., Burgueño, A., Roca, J., Arellano, B., Biere, R. & Moix, M., presentada en el Congreso de Ciudad y Territorio Virtual celebrado en Mendoza, Argentina, 5-7 de septiembre de 2018. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/132271>.
- *Can urban design mitigate the UHI effect?*, ponencia presentada, junto a Josep Roca y Rolando Biere, en *SPIE Remote Sensing 10793: Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments*, celebrado en Berlín del 10 al 13 de septiembre de 2018. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/127386>. Congreso notable UPC.
- *Can Planning Mitigate UHI? A “Remote Sensing” and “Local Climate Zones” Analysis for Barcelona*, ponencia cuyos autores son Rolando Biere, Blanca Arellano y Josep Roca, presentada en *International Conference on Passive and Low Energy Architecture. “Planning Post Carbon Cities”*, celebrada en Coruña, 1-3 de septiembre 2020, y publicada en los Proceedings 35th PLEA Conference on Passive and Low Energy Architecture 724-729. ISBN 978-84-9749-794-7. Congreso notable UPC, <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/26695>.
- *Urban-CLIMPLAN. La Isla de Calor Urbana en la Región Metropolitana de Barcelona. Estudio de la intensidad de la UHI diurna y nocturna a partir de diversos sensores*, artículo publicado en *Architecture, City and Environment*, 2021, 15 (45), 10382. Doi: 10.5821/ace.15.45.10381. SJR = 0,24 (2020), 2º cuartil de Architecture.
- *Morfología Urbana i Canvi Climàtic*, capítulo del libro *Ciutat i Salut*, en proceso de publicación por la Diputación de Barcelona, y resultado de la ponencia del mismo nombre presentada en el Seminari online organitzat pel Consorci Universitat Internacional Menéndez Pelayo (CUIMPB) - Centre Ernest Lluch i la Gerència de Serveis d'Habitatge, Urbanisme i Activitats de la Diputació de Barcelona, 1-3 de desembre de 2020. <https://www.diba.cat/es/web/hua/-/ciutat-i-salut>.

La contribución seleccionada presenta alguna de las aportaciones realizadas en el marco del proyecto “*Urban-CLIMPLAN. La isla de calor urbana: efectos en el cambio climático y modelado para estrategias de planeamiento territorial y urbano. Aplicación a la región metropolitana de Barcelona*”, y muy especialmente el análisis de la Isla de Calor Urbana, así como del comportamiento climático de las diferentes cubiertas de suelo de la Región Metropolitana de Barcelona.

El clima de las ciudades depende fundamentalmente de factores de carácter regional, como la longitud-latitud, el relieve o la distancia a las masas de agua, pero también viene afectado por factores locales y de micro-escala, como las características de la estructura urbana, la topografía y superficie de las cubiertas de suelo, la vegetación o el calor antropogénico generado por el metabolismo urbano. Existen diferencias significativas en el clima de las áreas urbanas comparadas con las de carácter rural (Oke, 1987). Es el llamado efecto de la *isla de calor urbana* (UHI), la cual describe la influencia de las superficies urbanas en el patrón espacial de

temperatura de las áreas urbanas en contraposición a las áreas rurales circundantes. Los materiales artificiales (especialmente el asfalto y hormigón) usados usualmente en las áreas urbanizadas son una de las principales causas. La UHI muestra, por lo general, temperaturas más elevadas en las zonas urbanas que en las zonas rurales, dependiendo de diversos factores, como la latitud, la longitud, la altitud, la topografía, la distancia al mar, el tamaño de la ciudad, la intensidad de la edificación, el albedo, el grado de permeabilidad del suelo, la vegetación, el Sky View Factor, así como la distribución de la edificación en relación a los vientos dominantes, entre otros aspectos.

La contribución decimoséptima destaca el *protagonismo de la temperatura de la superficie terrestre (LST) en la UHI*. La LST representa el factor determinante en la radiación de la superficie y el intercambio de energía, además del control de la distribución de calor entre la superficie y la atmósfera. En resumen, la LST regula el ambiente térmico urbano. Por ello, es necesario el modelado y predicción de los cambios ambientales, así como el análisis y la comprensión de la dinámica de la LST y su relación con los cambios de origen antropogénico. La LST sirve como un indicador importante de los procesos físicos, químicos y biológicos del ecosistema y está influenciada, junto a la latitud y tipo de clima, por variables de tipo geográfico, como la elevación, orientación y pendiente, entre otros muchos factores que condicionan la incidencia de la radiación solar en la superficie terrestre, junto a las propiedades de las cubiertas y usos de suelo, como son el color, la rugosidad de la superficie, la humedad, el material, etc. La temperatura de la superficie terrestre regula las capas bajas de la atmósfera. Por lo tanto, se la puede identificar como una variable climática clave y factor crítico para el medio ambiente urbano, dado que la LST modula el equilibrio de la energía.

La composición de las cubiertas de suelo es uno de los principales factores que influyen en la LST. El porcentaje de área construida puede tener un impacto especialmente alto. La temperatura de la superficie terrestre tiene, por lo general, *una correlación positiva con la superficie impermeable de carácter urbano y negativa con la ocupada por bosques y zonas con vegetación.* La disminución de vegetación influye en los saldos de calor, lo que lleva a un aumento de LST; al mismo tiempo, la precipitación y la evapotranspiración tiene la tendencia opuesta. En la literatura especializada está especialmente bien documentada la relación existente entre la LST y el *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*. El NDVI, junto a otros indicadores de vegetación, ha sido ampliamente usado como un indicador de la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación, así como del impacto en la misma de la urbanización. Los trabajos que han analizado la relación NDVI-LST muestran, por lo general, una correlación negativa entre ambas variables. De igual manera se ha demostrado la existencia de una relación positiva entre la superficie impermeabilizada (impervious surface) con la LST.

El remote sensing ha hecho posible el estudio generalizado de la LST y, en consecuencia, de la UHI a escala local y regional. Sin embargo, la gran mayoría de los trabajos se ha limitado a establecer la *temperatura de suelo de día*, puesto que los sensores satelitales de mayor resolución (Landsat, por ejemplo), devuelven tan sólo información del espectro electromagnético diurno. Sin embargo, la UHI es un fenómeno principalmente nocturno, lo que sugiere la necesidad de incorporar otros sensores operacionales que ofrezcan información de la banda térmica nocturna, como MODIS o ASTER. El gran problema, sin embargo, es que éstos tienen un nivel de resolución mucho más bajo (1 km²/píxel), ofreciendo una imagen poco detallada de la isla de calor urbana. Este será uno de los temas centrales de investigación abordados las contribuciones siguientes (19 y 20).

La primera de las aportaciones seleccionadas en este capítulo destaca la *transcendencia fundamental del planeamiento urbano para informar, coordinar e implementar medidas para mejorar la calidad climática de las ciudades frente al cambio climático global.* Sin embargo, en

el momento de redactar el trabajo de investigación no parecía existir una sensibilización significativa al respecto, siendo escasas las iniciativas para adaptarlo por tal de aumentar la resiliencia urbana al cambio climático⁵. La reflexión acerca de la trascendencia del clima urbano permanece todavía al campo teórico, no habiendo descendido a la arena de la práctica de la planificación, a pesar de la abundancia de estudios científicos producidos a lo largo de las últimas décadas sobre los efectos de la urbanización en el clima, así como de los demostrados perversos resultados que en la salud y en la calidad de vida de las personas generan los eventos extremos resultado del cambio climático.

Entre los diferentes estudios sobre clima urbano, tienen especial trascendencia los referidos a los *Climatopes*, así como a las *Local Climate Zones* (LCZ)⁶. Ambos instrumentos se han erigido como uno de los mecanismos más eficaces para la introducción del clima en la planificación territorial y urbana a la “gran escala” (meso-escala, en términos climáticos):

- Los trabajos pioneros desarrollados por investigadores alemanes a finales de los 70’ alumbraron la técnica de los *Climatopes* en las investigaciones seminales de producidas en el marco del proyecto ‘Urban climate 21’ – Climatological basics and design features for ‘Stuttgart 21’. En palabras del Climate Atlas de la Nachbarschaftsverband Stuttgart, los climatopes pueden ser definidos ([http://www.stadtklima-stuttgart.de/index.php?climate atlas 1992 9 climatopes](http://www.stadtklima-stuttgart.de/index.php?climate%20atlas%201992%209%20climatopes)) como las “areas with similar microclimatic characteristics. They differ especially in the daily temperature curve, the vertical roughness (wind field disturbances), the topographic position and exposure and above all in the type of actual land use. Another criterion for particular climatopes is the quantity of emissions. As microclimatic characteristics in built-up areas are primarily determined by the type of actual land use and especially by the type of development, climatopes are named after the dominant type of land use”.
- A partir del trabajo de Stewart & Oke (2012)⁷, en el mundo anglosajón se ha venido implantando la técnica de las *Local Climate Zones*, las cuales “can be understood as regions of uniform surface cover, structure, material, and human activity that span hundreds of meters to several kilometres in the horizontal scale. Each LCZ has a characteristic screen-height temperature regime that is most apparent over dry surfaces, on calm, clear nights, and in areas of simple relief. Each LCZ is individually

⁵ Cabe indicar que en el tiempo transcurrido entre la redacción de la contribución presentada en el congreso de AEER (2015) así como en el 11º CTV (2016) y la actualidad, la conciencia acerca de la importancia del clima urbano ha aumentado considerablemente. Un ejemplo de ello lo tenemos en la aprobación del Pla Clima i Energia 2030 del Área Metropolitana de Barcelona el cual ha tenido influencia en la progresiva consideración de los aspectos climáticos en el Pla Director Urbanístic Metropolità de Barcelona (<https://www.amb.cat/s/web/ecologia/sostenibilitat/canvi-climatic/pla-clima-energia-2030.html>). También es de destacar en este sentido el llamado Pla Clima del Ayuntamiento de Barcelona, el cual ha inspirado el desarrollo de instrumentos urbanísticos como los *sistemas ambientales* en zonas verdes y viales, (https://www.barcelona.cat/barcelona-pel-clima/sites/default/files/documents/pla_clima_cat_maig_ok.pdf).

⁶ Para el detalle de la génesis de ambas técnicas, Climatopes y Local Climate Zones, véase Arellano, B. & Roca, J. 2015: Planificación Urbana y Cambio Climático, ponencia presentada en la *International Conference on Regional Science: Innovation and Geographical Spillovers: New Approaches and Evidence*, XLI Reunión de Estudios Regionales de la Asociación Española de Ciencia Regional, así como Biere, R. Arellano, B. & Roca, J. 2020: Can Planning Mitigate UHI? A “Remote Sensing” and “Local Climate Zones” Analysis for Barcelona, ponencia presentada en International Conference on Passive and Low Energy Architecture. “Planning Post Carbon Cities”, y publicada en los Proceedings 35th PLEA Conference on Passive and Low Energy Architecture, 724-729.

⁷ Stewart, I.D. & Oke, T.R. (2012). ‘Local climate zones’ for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93, 1879-1900.

named and ordered by one (or more) distinguishing Surface property, which in most cases is the height/packing of roughness objects or the dominant land cover”.

En este contexto, la obtención de la LST y de la UHI, así como de los climatopes/LCZ del Área Metropolitana de Barcelona se llevó a cabo por medio de la siguiente metodología:

- En primer lugar, se obtuvo la *LST de día* por medio de Landsat (OLI & TIRS), con una escala de resolución de 30 m²/píxel. Dicha LST permitió determinar el tipo de cubiertas de suelo que irradiaban mayor temperatura, permitiendo verificar la hipótesis de que la artificialización elevada del suelo contribuye de forma positiva a la generación de la UHI. La metodología empleada para obtener la LST consistió en convertir la codificación numérica (Digital Number, DN) resultante de la banda térmica (infrared thermal) de las imágenes satelitales en unidades físicas. Para ello: a) se transformó el DN en radiación espectral (spectral radiance); b) a continuación se obtuvo la temperatura de luminosidad en el sensor (at sensor brightness temperatura), temperatura que no tiene en cuenta el tipo de material o de suelo que emite la energía captada, por tanto equivale a la temperatura emitida por un cuerpo negro (black body); y c) lo anterior condujo a realizar una última corrección del valor obtenido introduciendo la emisividad (emissivity) de los materiales del suelo, a partir, del índice de vegetación NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).
- Mediante un procedimiento similar al descrito en el punto anterior, se obtuvieron las temperaturas de suelo de día y noche (por medio de las imágenes facilitadas por MODIS), con una escala de resolución de 1 km² /píxel. La obtención de la LST diurna y nocturna permitió verificar la hipótesis de que son los usos urbanos más intensos los que atesoran de noche una mayor cantidad de calor, contribuyendo de forma determinante a la generación de la UHI.
- Finalmente se ensayó un preliminar proceso de conversión de la temperatura de noche obtenida a baja resolución (1 km²) a alta resolución (30 m²/píxel) por medio de la construcción de un modelo OLS⁸, con la LST como variable dependiente y diversos indicadores físico-geográficos y urbanístico-territoriales como variables independientes.

En cuanto a los resultados obtenidos, pueden sintetizarse del modo que sigue:

- Se obtuvo, mediante técnicas de remote sensing, por vez primera una imagen precisa, a escala detallada (30 m²/píxel) de la *UHI diurna del ámbito metropolitano de Barcelona* (RMB). Trabajo de investigación pionero, que puede ser destacado como una aportación relevante.
- Dicha imagen de la UHI diurna representó una sorpresa relativa (respecto a nuestros conocimientos limitados de entonces): los espacios urbanizados del continuo urbano de Barcelona, si bien más calientes (UHI) que los espacios rurales, no destacaron por sus elevadas temperaturas. Las áreas rurales de la depresión pre-litoral a menudo alcanzaban temperaturas similares o superiores. Si bien las cubiertas forestales eran considerablemente más frescas, las cubiertas agrícolas casi alcanzaban a los usos urbanos compactos. Sólo las cubiertas industriales destacaban por su elevada temperatura diurna).

⁸ Las contribuciones 19 y 20 desarrollan una técnica mucho más precisa que la ensayada inicialmente para obtención de la UHI nocturna.

- Analizada la LST a partir de Landsat 8 así como de las diferentes *zonas de planeamiento urbanístico*, las actividades económicas logística (34,40°C), industrial (33,29°C) y terciaria y de servicios (31,37°C) representaron las calificaciones de suelo más calientes a escala metropolitana. A su vez el sistema viario (31,34°C) así como, sobre todo, el residencial compacto (31,05°C), en manzana cerrada, mostraron una LST claramente más elevada que la media de la RMB (28,58°C). Dichas calificaciones contribuyen a la UHI de forma claramente más acusada que el “residencial urbano tradicional” (30,43°C) o el “núcleo antiguo” (30,32°C). Por su parte el “suelo no urbanizable de protección especial” (26,17°C), el “suelo no urbanizable de protección” (28,16°C), el sistema de espacios libres y zonas verdes” (28,23°C), así como el “sistema hidrográfico” (28,61°C) son las calificaciones urbanísticas mejor valoradas desde una perspectiva climática. En cambio el “suelo no urbanizable rústico”, de carácter principalmente agrario, muestra una LST media de 29,08°C, más elevada que las “casas aisladas” caracterizadoras de la dispersión urbana. En conjunto las áreas artificializadas obtuvieron una LST media (30,14°C), un 7,2 % más elevada que las no artificializadas (28,13°C), lo que confirmaba el protagonismo de UHI en la Región Metropolitana de Barcelona⁹.
- *Los territorios del Sprawl mostraron un claro mejor comportamiento térmico diurno.* Así, la calificación “casas aisladas” obtuvo una temperatura media (28,62°C) claramente más suave que el conjunto del suelo artificializado.
- Por su parte el análisis de la información suministrada por MODIS noche ofreció una imagen mucho más acorde con lo esperado (aunque a menor resolución, 1 km²/píxel) de la UHI metropolitana. La comparación de ambas imágenes, diurna y nocturna, permitió comprender el proceso de enfriamiento nocturno de las diferentes cubiertas de suelo. El suelo industrial y, sobre todo, el suelo agrícola, observaron reducciones mucho más acentuadas (con más de 14 e incluso 15 grados Celsius), que el suelo compacto o disperso (del orden de 13 grados Celsius). La UHI emergía con toda claridad: aun con la reducción de la LST industrial, *todas las categorías de cubiertas de suelo urbanizadas alcanzan temperaturas nocturnas superiores a las cubiertas rurales.*
- Por su parte *el suelo disperso* (discontinuous urban fabric), a pesar de su menor enfriamiento (sólo 12,6 °C, inferior al suelo compacto), *continuó demostrando un mejor comportamiento climático nocturno*, del orden 1,5 °C menos respecto a los suelos más densos.
- En cuanto al modelo, a elevada resolución de la UHI nocturna, el trabajo seleccionado obtuvo resultados discretos (una R² = 0,583) representando un primer ejercicio en este sentido, posteriormente desarrollado y mejorado en investigaciones ulteriores.

La principal aportación de la contribución 17 (y el resto de publicaciones vinculadas) es, sin duda, la realización de una primera radiografía de la UHI metropolitana. La constatación del diferente comportamiento climático de los distintos “climatopes”, y muy especialmente de la mayor resiliencia de los territorios del Sprawl frente al calentamiento global. Pero, a su vez, introdujo nuevos retos de investigación, los cuales serán analizados en detalle en las contribuciones ulteriores.

⁹ El dato ofrecido por calificaciones de suelo resultantes del planeamiento urbanístico proviene de la contribución presentada en el congreso de AEER (2015), complementaria a la seleccionada como aportación 17.

6.2. Green areas and urban heat island: Combining remote sensed data with ground observations

La aportación decimoctava, consiste en una ponencia presentada por Blanca Arellano, Josep Roca y Enric Batlle en el congreso SPIE Optical Engineering + Applications, 2018, San Diego, California, United States y publicada en *Proceedings Volume 10767, Remote Sensing and Modeling of Ecosystems for Sustainability XV*. Como indicador de calidad, además de corresponder a un congreso notable UPC, la publicación con un SJR de 0,238, tiene un índice de impacto equivalente al segundo cuartil de Scopus-Architecture. Aporta, por tanto, 3 puntos a los efectos de la Normativa de Tesis Doctorales por Compendio de Publicaciones del PD GVUIA.

Estrechamente conectada con la contribución decimoctava cabe citar, asimismo otras 5 publicaciones vinculadas al análisis del efecto del verde en el clima urbano:

- *Áreas verdes e Isla de Calor Urbana*, ponencia presentada en el XII Congreso de Ciudad y Territorio Virtual Ciudades y Territorios Inteligentes, celebrado en Mendoza (Argentina) del 5 al 7 de septiembre de 2018, y publicado en el libro de *Proceedings* del citado congreso, 417-432. Doi: 10.5821/ctv.8255. Dicha publicación ha recibido 7 citas según Google Scholar.
- *Multi-scale approach to quantify the influence of urban green spaces on climate behavior of the Viladecans-Gavà-Castelldefels conurbation in the metropolitan area of Barcelona*. Ponencia presentada por Blanca Arellano, Alan García-Haro y Josep Roca en la *European Geosciences Union General Assembly 2019*, celebrada en Viena, Austria, entre el 7 y el 12 de abril 2019. Congreso notable UPC.
<https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2019/EGU2019-17659.pdf?pdf>.
- *Multi-scale approach to quantify the influence of urban green spaces on urban climate*. Ponencia presentada en el congreso SPIE Optical Engineering + Applications, septiembre 2019, San Diego, California, United States y publicada en *Proc. SPIE 11127, Earth Observing Systems XXIV*, 111272E (9 September 2019); doi: 10.1117/12.2527958. Congreso notable UPC y publicación indexada en Scopus, con un SJR = 0,215, equivalente al segundo cuartil de Architecture.
- *Cooling Effect of Urban Parks in the Metropolitan Region of Barcelona: The sample of Viladecans, Gavà and Castelldefels urban continuous*. Ponencia presentada y publicada por Blanca Arellano, Josep Roca y Alan García-Haro en *35th International Conference on Passive and Low Energy Architecture*, celebrada en a Coruña. Congreso notable UPC y publicada en J.Rodríguez Álvarez & J.C. Soares Gonçalves (Eds.) (2020). *Planning Post Carbon Cities. Proceedings of the 35th PLEA Conference on Passive and Low Energy Architecture*. Doi: <https://doi.org/10.17979/spudc.9788497497947>.
- *Application of conventional UAVs for the identification and classification of dense green spaces*. Capítulo de libro publicado por José António Tenedório, Rossana Estanqueiro and Cristina Delgado Henriques (Eds.) (2021). *Methods and Applications of Geospatial Technology in Sustainable Urbanism*, 364-388. IGI Global. Como indicador de calidad indicar que IGI Global se encuentra en el primer decil en la clasificación de editoriales utilizada para la concesión de sexenios de investigación por parte de la ANECA¹⁰.

¹⁰ Se ha incluido esta publicación como vinculada a la aportación decimoctava debido, a pesar de su carácter principalmente técnico (la utilidad de las imágenes RGB obtenidas mediante drones convencionales) para la identificación semiautomática de la vegetación, a estar directamente relacionada

Los trabajos de investigación relacionados con la aportación seleccionada en el lugar 17 habían puesto de relieve el papel fundamental desempeñado por la vegetación en la suavización de las temperaturas extremas. Aspecto fundamental, también, para comprender el mejor comportamiento climático del Urban Sprawl, al poseer los paisajes dispersos, por regla general, una mayor cantidad y calidad de vegetación. Dada esta premisa, en este bloque relativo a la contribución decimoctava se analiza en profundidad *el papel desempeñado por el urban greenery y la canopia verde en la determinación de las temperaturas urbanas, así como del papel relevante que la ordenación del verde urbano puede tener en el planeamiento urbanístico como instrumento de adaptación y resiliencia al calentamiento global*.

Cabe recordar, a este respecto, tres elementos fundamentales que relacionan el verde urbano con la temperatura de suelo (y la temperatura de aire cercana al suelo¹¹):

- Por un lado, el refrescamiento producido por la *liberación de calor latente*. La evapotranspiración de las plantas permite la transferencia de calor mediante el cambio de estado del agua. La conversión de agua en estado líquido, proveniente de la humedad y la transpiración de la vegetación, a agua en estado gaseoso (humedad del aire), representa la liberación de calor, que de otra manera irradiaría al ambiente aumentando la temperatura de aire. La vegetación, por tanto, refresca el ambiente, a pesar de poseer un reducido albedo¹².
- Los árboles, especialmente los de copa generosa, refrescan la temperatura del aire (y de superficie del suelo) por debajo de la canopia verde. El *efecto de "sombreamiento"* es determinante no sólo por reducir la temperatura radiante (y, por tanto, mejorar el confort humano) en los espacios sombreados, sino también por reducir la radiación incidente en el suelo, y que se acumula en las superficies urbanas.
- Finalmente, *la superficie sobre la que se implanta la vegetación es permeable*, lo que genera la absorción y posterior liberación de humedad, con su correspondiente efecto de refrescamiento por transferencia de calor (latente).

Todo lo anterior determina el hecho no sólo de que las zonas verdes son más frescas que su entorno, sino además que pueden llegar a producir, si tienen una dimensión y diseño adecuados, un efecto de refrescamiento en el mismo. *Los parques urbanos son verdaderas "islas de frío" en el marco de la isla de calor urbana*. De ahí que representen un elemento fundamental de la política climática del planeamiento urbano.

con el objeto principal aquí analizado: el diseño de los espacios verdes urbanos y, en consecuencia, del comportamiento climático de los mismos.

¹¹ Además de la temperatura de suelo (LST), es preciso reconocer, al menos, otros dos tipos de temperatura fundamentales en los análisis climáticos. Por un lado, la *temperatura de aire cercana al suelo*, la Land Surface Air Temperature (LSAT), o temperatura de aire a secas (TA). Es la que marcan los termómetros convencionales, y que en las estaciones meteorológicas se miden a una altura entre 1,5 y 2 metros del suelo. Y la *temperatura radiante*, que incorpora, además el balance radiativo, y que, en el caso de exposición al sol es especialmente importante.

¹² Los espacios verdes se caracterizan por un reducido albedo. Este hecho implicaría, en pura hipótesis, la acumulación de calor en su superficie, incrementado el efecto de isla de calor. Sin embargo, la reducida reflectancia de la radiación solar resultante del bajo albedo no se convierte, en los espacios vegetados, en una acumulación de calor que afecta negativamente al balance térmico. La radiación solar no se convierte en calor, sino que contribuye, a través de la fotosíntesis, en el crecimiento de las plantas. Las plantas "comen" energía proveniente del sol.

De nuevo aparece, en este campo concreto, la mayor resiliencia y capacidad de adaptación del Urban Sprawl al calentamiento global y a los eventos de calor extremo (las llamadas olas de calor). La abundancia de verde de los paisajes del Sprawl explica en buena medida esa mayor eficiencia. La desigual distribución del verde a lo largo y ancho de la ciudad, en especial el déficit de los espacios vegetados en las áreas centrales, explica en buena medida el peor comportamiento de los paisajes compactos, respecto a los dispersos. De ahí que *el diseño del urban greenery sea un elemento clave en la adaptación al Cambio Climático de nuestras ciudades*.

El objetivo general de la investigación aquí seleccionada consiste en estudiar, utilizando técnicas de detección remota, así como mediciones "in situ", cómo afecta el diseño urbano, muy especialmente de la vegetación, en la UHI, así como el microclima urbano en general. Específicamente, *este trabajo busca esclarecer si el diseño de áreas verdes puede mitigar la isla de calor urbana*. Se inscribe, como se ha indicado, en el proyecto de investigación Urban-CLIMPLAN, *La isla de calor urbana: efectos en el cambio climático y modelado para estrategias de planeamiento territorial y urbano. Aplicación a la región metropolitana de Barcelona*. Proyecto financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER). Programa Estatal de Investigación, Desarrollo e Innovación Orientada a los Retos de la Sociedad, Convocatoria 2015.

La investigación es, asimismo, resultado de la solicitud realizada por el despacho de arquitectura Batlleiroig¹³, especializado en Landscape y Planning, el cual estaba interesado en conocer el comportamiento climático de dos proyectos desarrollados en Sant Cugat del Vallés (SCV): las urbanizaciones Parc Central y Coll Favà¹⁴. Dos desarrollos urbanos muy cercanos, cuyas únicas diferencias significativas correspondían al diseño del urban greenery.

La hipótesis de la investigación consistía, por tanto, en intentar demostrar que la morfología del espacio público representa un elemento significativo en la configuración de la Isla de Calor Urbana. En particular, que *el diseño del espacio público, su morfología y la calidad de su vegetación determinan el grado de enfriamiento de las áreas verdes urbanas, delimitando la extensión e intensidad de la Isla de Frio Urbano en el contexto de la UHI*.

En cuanto a *la metodología empleada, consistió en la combinación de técnicas de remote sensing y de estudio "in situ"*.

Específicamente, la metodología de investigación se desarrolló en los siguientes pasos:

1) *Análisis de teledetección*

- a. La LST diurna se obtuvo a partir de LANDSAT 8, con una escala de resolución de 30x30 metros / píxel. La medición de la LST resultante permitió una comparación inicial entre los casos de estudio (Parc Central y Coll Favà), evaluando cuál de los dos desarrollos mostraba un efecto menos pronunciado de la UHI.
- b. La LST nocturna se obtuvo a partir de MODIS, a 1 km² por píxel. Aunque debido a la baja resolución de MODIS, los resultados de la noche LST no permiten un análisis detallado a nivel local, la LST nocturna obtenida a través de MODIS permite conocer

¹³ Más concretamente de Enric Batlle, el cual facilitó los datos urbanísticos de las urbanizaciones Parc Central y Coll Favà, razón por la cual es coautor del estudio.

¹⁴ A pesar de que ninguna de las dos urbanizaciones estudiadas responde específicamente al patrón específico de Urban Sprawl, sino que representan ejemplos de desarrollo urbano de densidades medias (con edificabilidades brutas superiores a 0,5 m²t/m²s), la hipótesis de la investigación es extensible al debate sobre la urbanización compacta/dispersa, tal como se verá más adelante.

la configuración del UHI nocturna a escala metropolitana.

- c. Las temperaturas diurna y nocturna, obtenidas por teledetección, permitieron, por tanto, obtener una aproximación de la UHI.
- d. La información obtenida a través de los satélites permitió conocer, asimismo, junto a la LST, algunos índices que afectan potencialmente a la UHI, como el NDVI o el NDBI. En particular, y como se ha indicado previamente, el NDVI ayuda a conocer el efecto de la canopia verde y la calidad de la vegetación en la UHI de la RMB, así como de los casos de estudio en SCV.

2) *Análisis in situ.*

- a) La información anterior se completó mediante la toma de mediciones (por medio de cámara termográfica) de la LST de las diferentes cubiertas de suelo de Coll Favà y Parc Central, tanto de día como de noche. Este segundo enfoque tenía por objetivo contrastar los resultados obtenidos a través de teledetección.
- b) Además, en los dos casos de estudio se tomaron mediciones de la LSAT de día y de noche, la humedad relativa y la velocidad y dirección del viento. Información que debiera permitir contrastar la hipótesis del efecto microclimático del diseño del espacio público, así como de las infraestructuras verdes (tanto durante el día como durante la noche) desde la perspectiva de la percepción humana.
- c) Finalmente, se analizó en detalle el diseño urbano de ambos casos de estudio y muy especialmente de la infraestructura verde.

En cuanto a los *resultados* obtenidos es de destacar:

- A pesar de que la práctica totalidad de indicadores que eventualmente podían determinar el microclima urbano favorecían a Coll Favà respecto a Parc Central (menor intensidad de edificación, mayor proporción de espacios públicos y abiertos, así como un mayor porcentaje de superficie permeable), *tanto las medidas de remote sensing como las realizadas "in situ" corroboraron el mejor comportamiento climático de Parc Central. El mejor comportamiento climático de Parc Central en comparación con Coll Favà se hizo evidente en todos los análisis realizados.* Tanto el estudio de la LST diurna resultante de la teledetección, como de las temperaturas superficiales del día y la noche resultantes del estudio de campo, mostraron que el diseño de los espacios públicos y las áreas verdes del Parc Central ofrecen un mejor rendimiento térmico que el Coll Favà. Resultados que también fueron confirmados por el análisis LSAT.
- *El análisis de la LST obtenida mediante LANDSAT 8 demostró el mejor desempeño de Parc Central, con un promedio de 32,65°C, en comparación con Coll Favà, con una LST promedio de 35,54°C. Diferencia de casi 3 grados altamente significativa a nivel intraurbano y no era resultado de factores geográficos diferenciales, dada la proximidad existente entre las dos áreas de estudio.*
- *El análisis de las temperaturas diurnas y nocturnas de las diferentes superficies de suelo confirmaron el mejor comportamiento térmico de Parc Central.* Todas las superficies obtuvieron una LST inferior en Parc Central que en Coll Favà. La tierra desnuda obtuvo mayores diferencias entre ambas urbanizaciones (13,2°C), al igual que el asfalto (10,3°C). Las áreas pavimentadas en los parques se encontraban en un nivel intermedio (8,5°C), las baldosas de terracota y bordes de acera (8,2°C). Por su parte, las superficies de cubiertas de césped presentaron una diferencia térmica más pequeña (4,7°C más fríos en Parc Central que en Coll Favà). Asimismo, los análisis de las temperaturas nocturnas en las superficies del suelo confirmaron las temperaturas más bajas de Parc

Central en comparación con Coll Favà.

- *Consideradas en su conjunto, la media de las mediciones “in situ” fueron acusadamente más frescas en Parc Central que en Coll Favà.* En lo que respecta a las temperaturas diurnas, 34,08°C para el área del Parc Central, en comparación con los 44,30°C para Coll Favà; ¡¡una diferencia de más de 10°C!! Por la noche, la temperatura promedio de las mediciones realizadas en Parc Central fue de 24,28°C, en comparación con 24,91°C para Coll Favà. Igualación relativa de las temperaturas de suelo probablemente debida al enfriamiento significativo de las superficies permeables y libres de vegetación en Coll Favà (mayor Sky View Factor). Ese mayor enfriamiento nocturno de Coll Favà (19,39°C frente a 9,8°C) no llegó, sin embargo, a invertir el mejor desempeño de Parc Central.
- *El análisis de las temperaturas de aire (LSAT) in situ confirmó las conclusiones anteriores:* puesto que la temperatura promedio durante el día en Parc Central fue de 33,12°C, 5,03°C más baja que la de Coll Favà (38,14°C). Durante la noche, la temperatura promedio ratificó el mejor desempeño de Parc Central (25,78°C) frente a Coll Favà (27,05°C), aunque la diferencia se redujo a 1,27°C¹⁵.
- *La investigación seleccionada llega a la conclusión de que el factor clave explicativo de las diferencias de comportamiento climático entre ambas urbanizaciones es el distinto diseño de los espacios públicos y del urban greenery.* El dosel de los árboles, la canopia verde, es significativamente mejor en Parc Central que en Coll Favà. Además, es probable que Parc Central tenga un mejor desempeño térmico debido a la *mayor compacidad, concentración y variedad de su infraestructura verde* en comparación a Coll Favà.
- *El análisis del NDVI revela una estructura muy diferente por lo que respecta a la calidad de la vegetación entre Coll Favà y Parc Central.* El NDVI promedio en Coll Favà es de 0,3435, acusadamente menor que en Parc Central, que es 0,4529. Parc Central tiene un NDVI cercano al promedio municipal de SCV, que incluye casi el 50% de espacios naturales protegidos, como es el Parque Natural de Collserola. La vegetación por *encima de rasante*¹⁶ (canopia verde) en Parc Central juega un papel fundamental, a diferencia de Coll Favà, donde las áreas "verdes" no tienen un follaje denso en la mayor parte del área, incluido el eje central del barrio.
- *Mientras que en el primero de esos desarrollos urbanos las áreas con vegetación densa son marginales, ocupando los límites perimétrales al este y al oeste del ámbito, en Parc Central se observa abundante vegetación en el núcleo central de la zona.* Parc Central tiene un mejor microclima debido a la mayor densidad de la canopia verde, a diferencia de Coll Favà, con árboles muy altos y esbeltos y por tanto con un dosel mucho más pobre y desnudo. *Localización, densidad y variedad del verde tienen, en consecuencia, un papel muy destacado en la regulación del clima urbano.*

¹⁵ Esta reducción de la diferencia entre las temperaturas nocturnas de Coll Favà y Parc Central se debe, principalmente, a la mayor proporción de áreas de compensación en la primera de esas urbanizaciones. Mayor Sky View Factor y mayor proporción de superficie permeable que representó un enfriamiento de 11,09°C en Coll Favà, frente a 7,33°C en Parc Central. Aun así, la temperatura nocturna media de Coll Favà superó la de Parc Central, alcanzando un nivel de discomfort acusado (superando la barrera de los 24/25 grados de referencia, a partir de la cual el descanso nocturno se ve gravemente comprometido).

¹⁶ Se entiende aquí “rasante”, como la cota por encima de la visión humana paralela al suelo. “Bajo rasante” representaría, por tanto, la vegetación a ras de suelo. Y “sobre rasante”, el dosel arbóreo.

El trabajo seleccionado como decimoctava contribución a la tesis aporta, en consecuencia de todo lo anterior, algunas aportaciones de relieve:

- En primer lugar, y desde un punto de vista estrictamente metodológico, el interés de *combinar el análisis remoto resultante de la teledetección con las medidas "in situ"*.
- En segundo lugar, confirmar, mediante el análisis de caso, la tesis ya avanzada en la contribución anterior acerca de la gran relevancia de la vegetación en la regulación de la temperatura. *El efecto combinado de la vegetación, el dosel arbóreo y la permeabilidad del suelo representan verdaderas "islas de frío" en el contexto de la isla de calor urbana.*
- *El diseño del espacio público, y muy principalmente del verde urbano es crítico a los efectos de garantizar el correspondiente efecto de enfriamiento del urban greenery.* La localización, densidad y variedad de la vegetación son elementos clave.

Finalmente indicar, en relación a esta tesis dirigida al estudio del Urban Sprawl, que a pesar del mejor comportamiento climático observado en los desarrollos dispersos (puesto de relieve en la contribución precedente), muy probablemente su mejor desempeño sea motivado por la cantidad y calidad del verde (sea público o privado). El estudio de caso muestra que la urbanización de menor densidad (Coll Favà, con un índice de edificabilidad bruto de 0,61 m²t/m²s) es menos eficiente climáticamente que la de mayor densidad (Parc Central, con una edificabilidad de 0,85 m²t/m²s). *Menor densidad, mayor dispersión, no es sinónimo de mejor comportamiento climático. Es el diseño y la calidad del verde urbano el que tiene un efecto relevante.* Conclusión que viene ratificada por el resto de estudios de caso realizados en el marco del proyecto Urban-CLIMPLAN, y que conforman alguna de las publicaciones vinculadas a la presente contribución¹⁷.

6.3. Remote Sensing and nighttime Urban Heat Island

La tercera investigación seleccionada en este capítulo, decimonovena aportación de la tesis, consiste en una ponencia presentada en el XXIV ISPRS Congress (2021 edition), y publicada en *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLIII-B3-2021. Como indicador de calidad indicar que además de tratarse de un congreso notable UPC, está indexado en Scopus, con un SJR = 0,264, correspondiendo al segundo cuartil de Scopus-Architecture, razón por la cual aporta 3 puntos a los efectos de la Normativa de Tesis Doctorales por Compendio de Publicaciones del PD GVUIA. Ha recibido 3 citas, según Google Scholar.

Dicha aportación aborda, junto a las publicaciones vinculadas que a continuación se detallan, la *identificación de la isla de calor nocturna*:

¹⁷ Véanse, en especial, las publicaciones vinculadas presentadas en segundo y cuarto lugar, relativas al efecto del verde urbano en las temperaturas de suelo y de aire en una muestra de siete parques urbanos del continuo urbano de Viladecans-Gavà-Castelldefels. Se trata, en esas publicaciones, de un estudio realizado por encargo del Área Metropolitana de Barcelona, en el cual se evidencia 1) la importancia del estudio del NDVI para la comprensión a escala local de los microclimas urbanos, y 2) el efecto de enfriamiento de los parques urbanos en el entorno inmediato edificado (identificando la alcance e intensidad de ese enfriamiento).

- *Combining different sensors for the detailed analysis of the daytime and nighttime UHI*, ponencia presentada en el congreso SPIE Remote Sensing, octubre 2019, Strasbourg, France, y publicada en *Proc. SPIE 11157, Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments IV, 1115703*; doi: 10.1117/12.2532461. Como indicios de calidad, los congresos de SPIE son considerados notables por la UPC, y los proceedings de los mismo están indexados en Scopus, con SJR = 0,215, equivalente al segundo cuartil de Architecture. Además indicar que ha recibido 3 citas, según Google Scholar.
- *Measuring night-time urban heat island. Still a pending issue*. Ponencia presentada en *European Geoscience Union (EGU 2020)*, celebrada en Vienna, Austria: May 3-8, 2020, y publicada en book of abstracts, 2020, p. 1-31; doi: 10.5194/egusphere-egu2020-19577. Como indicios de calidad, las conferencias de EGU son consideradas congresos notables de la UPC.
- *Urban landscapes and night time urban heat island*, ponencia presentada en SPIE Remote Sensing, 2020, Online Only, y publicada en *Proc. SPIE 11535, Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments V, 1153504 (20 September 2020)*; doi: 10.1117/12.2573599. Como indicador de calidad, los congresos de SPIE son considerados notables UPC, además de estar indexados sus Proceedings en Scopus, con un índice de impacto SJR = 0,192, equivalente al segundo cuartil de Scopus-Architecture.
- *Using remote sensing imagery to study urban heat island and heat waves*, ponencia presentada en el congreso SPIE Optical Engineering + Applications, 2021, San Diego, California, United States, y publicado en *Proc. SPIE 11829, Earth Observing Systems XXVI, 1182905 (1 August 2021)*; doi: 10.1117/12.2594387. Como indicador de calidad recordar que los congresos de SPIE son considerados notables UPC, además de estar indexados sus Proceedings en Scopus, con un índice de impacto SJR = 0,192 (2020), equivalente al segundo cuartil de Scopus-Architecture.
- *Towards a new methodology to determine nighttime Urban Heat Island*. Ponencia presentada en EGU General Assembly 2021, online, 19–30 Apr 2021, y publicada en *EGU General Assembly Conference Abstracts* (pp. EGU21-1483). Como indicios de calidad, las conferencias de EGU son consideradas congresos notables de la UPC. doi: 10.5194/egusphere-egu21-1483, 2021.

Este grupo de publicaciones, sintetizada en el artículo de Archives ISRPS seleccionado como decimonovena aportación, ahonda en el análisis de la UHI. Se parte de la hipótesis de que *la isla de calor urbana, y por tanto su efecto en las condiciones ambientales, el confort y la salud, tiene un efecto radicalmente diferente durante el día y la noche*. Es durante la noche donde sus efectos son más acusados. De ahí que sea determinante conocer en profundidad la UHI nocturna. Y como afecta a los diferentes tipos de tejidos urbanos. Aparece aquí de nuevo el distinto comportamiento climático de los diferentes paisajes urbanos, y muy particularmente entre los espacios centrales y compactos (de elevada densidad, escasez de espacios verdes, bajo SVF, menos capaces de circulación del aire fresco y con una elevada proporción de espacios no permeables), y los paisajes del Sprawl (por lo general mejor dotados de verde, menos densos, mayor SVF, más permeables y donde el aire fresco circula con mayor facilidad).

En este contexto, el trabajo escogido repasa los métodos tradicionales para la obtención de UHI nocturna. Tanto los dirigidos a) a la extrapolación de datos de estaciones meteorológicas, como, b) a la obtención de temperaturas del aire a través de transectos urbano. En el primer caso, la escasez de estaciones meteorológicas en los paisajes urbanizados dificulta enormemente la

obtención de datos para extrapolar y proponer modelos a una escala de resolución detallada. En el segundo caso, existe una dificultad manifiesta para obtener datos de manera simultánea y significativamente representativos de las zonas urbanas y rurales.

La baja resolución espacial de la información de temperatura del aire resultante de las anteriores metodologías contrasta con la muy superior resolución de los datos térmicos de las cubiertas terrestres suministrados por los sensores satelitales. Como ya se ha indicado previamente (contribución decimoséptima), existe un elevado consenso académico en que la temperatura de la superficie terrestre (LST) juega un papel fundamental en la generación de UHI, representando un elemento determinante de la distribución de calor entre la superficie de la tierra y la atmósfera. La LST es una variable clave en la regulación de los flujos de radiación y los intercambios de calor, latentes y sensibles. La LST representa un indicador fundamental para la comprensión de los procesos químicos, físicos y biológicos de los ecosistemas, viniendo influenciada, junto con la longitud/latitud y tipo de clima, por variables geográficas, como elevación, orientación y pendiente, entre muchos otros factores que condicionan la incidencia de la radiación solar en la superficie terrestre. Junto a dichas propiedades físico-geográficas, la LST viene condicionada por las propiedades de las diferentes cubiertas y usos del suelo, como el color, la rugosidad superficial, la humedad, la composición química, etc. La temperatura de la superficie terrestre regula la transferencia de calor en las capas inferiores de la atmósfera. Por tanto, puede identificarse como una variable climática clave y un factor crítico para el entorno urbano ya que modula el balance energético.

Como se puso de relieve en la contribución decimoséptima, las tecnologías vinculadas a la teledetección han hecho posible el estudio generalizado de la LST y, en consecuencia, de la UHI a nivel local y regional. Los sensores instalados en los satélites se caracterizan por una variedad muy diversa de resoluciones espaciales y temporales. Entre los más utilizados se encuentran MODIS y Sentinel 3, con una resolución espacial de 1 km / píxel, y Landsat 8, con 30 m / píxel (re-escalando los 100 m/p originales en la banda térmica).

Sin embargo, el estudio de la LST nocturna aún está poco desarrollado debido a problemas estructurales relacionados con la disponibilidad de datos detallados. La mayoría de los sensores satelitales (Landsat, Aster, ...) permiten obtener imágenes térmicas diurnas, pero de forma mucho más limitada datos térmicos nocturnos¹⁸. Sólo MODIS o Sentinel 3 proporcionan abundantes imágenes térmicas nocturnas, pero la baja resolución de estas imágenes (1 km / píxel) dificulta en extremo la construcción de modelos detallados de la UHI durante la noche. Por estos motivos, *la estimación del UHI nocturna sigue siendo un desafío pendiente*.

En este contexto, *el artículo seleccionado tiene como objetivo determinar la LST nocturna¹⁹ del Área Metropolitana de Barcelona con un nivel de resolución elevado: 30 m/píxel*. En los trabajos precedentes (véase contribución 17), el estudio de la UHI a escala detallada se había limitado a las horas en que la Tierra recibe de forma directa radiación solar. El estudio de la UHI nocturna se había limitado a analizar las imágenes térmicas suministradas por MODIS, de baja resolución, así como a la construcción de una serie de modelos de enfriamiento nocturno, los cuales, a pesar de representar un primer ejercicio no exento de interés, carecían de un grado de definición suficiente para el estudio a nivel de detalle de la isla de calor durante la noche.

¹⁸ En algunos casos Landsat obtiene imágenes térmicas en escenas nocturnas (ascendentes), que ocasionalmente se adquieren para las filas 123 a 246 del WRS-2. Esto brinda la posibilidad de estudiar LST nocturna (y por lo tanto UHI). Y, en consecuencia, conocer (y modelar) el grado de enfriamiento nocturno de los distintos usos del suelo.

¹⁹ LST y, por tanto, UHI nocturna en época calurosa. Más específicamente, y como se verá en la contribución vigésima, en contexto de evento climático extremo de ola de calor.

Para ello se propone en este trabajo (y en el resto de publicaciones vinculadas) *una nueva metodología basada en contrastar las imágenes nocturnas de Landsat con las diurnas*. A tal efecto, las principales novedades metodológicas son las que se exponen a continuación:

- Primero de todo, es preciso *establecer la LST nocturna partir de las imágenes Landsat disponibles*. La estimación de la temperatura de la superficie terrestre durante la noche mediante las bandas térmicas Landsat no es una cuestión baladí. La metodología más utilizada para determinar la LST diurna se basa en estimar la emisividad del terreno a partir de su grado de vegetación (método del umbral de NDVI, Sobrino et al., 2008²⁰). Pero este método presenta importantes limitaciones durante la noche. El NDVI sobrevalora la vegetación al considerar el dosel de los árboles. Esta sobreestimación no representa un problema grave durante el día, cuando la sombra de los árboles limita la radiación incidente en el suelo. Pero es crítico por la noche. Por la noche, el resultado de la aplicación del método estándar para determinar la emisividad implica la subestimación de la radiación superficial terrestre en áreas con árboles de abundante copa. El resultado es crítico tanto en las calles como en los parques con un grado significativo de dosel arbóreo. Por ello, el trabajo seleccionado busca desarrollar una nueva metodología para estimar el grado de vegetación y humedad del suelo y, en base a ella, determinar la emisividad y, en consecuencia, la LST nocturna. Para ello, *en lugar de utilizar el NDVI de verano, se utiliza el NDVI de invierno, ya que este último representa mejor el grado de vegetación a nivel del suelo*. En invierno, el dosel arbóreo desempeña un papel más pequeño debido a la naturaleza principalmente de hoja caduca de los árboles en el área de estudio. Por la noche, cuando la radiación solar es inexistente, la radiación de onda larga del suelo no se ve afectada significativamente por la copa de los árboles. Por dicho motivo, la LST nocturna resultante de la emisividad obtenida por el NDVI invernal identifica claramente el calor acumulado en las superficies artificiales de las calles, como el asfalto o el hormigón, sin verse afectada de forma significativa por la copa de los árboles.
- Junto a otras aportaciones (como, por ejemplo, el modelo utilizado para obtener la emisividad de las cubiertas de suelo), la investigación seleccionada, una vez obtenida el LST nocturna y por tanto la UHI durante la noche, desarrolla un conjunto de *modelos dirigidos a explicar la distribución espacial de la LST nocturna y a compararla con la UHI diurna*. Dichos modelos de “enfriamiento” nocturno se obtienen mediante análisis de regresión múltiple, utilizando como variables explicativas, además de las características físicas del territorio (longitud, latitud, altitud, distancia al mar, pendiente, orientación), las características derivadas de la artificialización del suelo (NDVI, NDBI, impermeabilidad, albedo, coberturas del suelo, usos del suelo derivados del urbanismo, etc). *Modelos que, además, permiten mejorar la visualización de la UHI, superando la limitación del sensor TIR (100 m/píxel en origen), y su “downscaling” a escala de 20 o de 10 m/píxel*.
- Finalmente, la introducción en dichos modelos de la información proveniente de MODIS (noche) posibilita no sólo la mejora estadística de los mismos, sino, sobre todo, la *posibilidad de replicar la UHI a otros momentos temporales en los que no existan imágenes térmicas nocturnas de Landsat*. La escasez de este tipo de imágenes a una resolución media/alta, como la del Landsat 8, se propone sea compensada con la

²⁰ Sobrino, J.A., Jiménez-Muñoz, J.C., Sòria, G., Romaguera, M., Guanter, L., Moreno, J., Plaza, A., Martínez, P., 2008. Land surface emissivity retrieval from different VNIR and TIR sensors. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens*, 46, 316–327.

aplicación de las ecuaciones resultantes de los modelos de regresión desarrollados.

Los resultados, referidos a la UHI de agosto de 2015²¹, pueden sintetizarse como sigue:

- Primero de todo, *el trabajo publicado en Archives ISPRS confirma el mejor desempeño del NDVI de invierno respecto al de verano para interpretar la LST nocturna en época de calor extremo*²². No sólo en cuanto dicho indicador explica mejor que no el NDVI de verano la distribución espacial recogida en las bandas térmicas de Landsat, sino, sobre todo, por corresponder en mayor medida a las estimaciones independientes de la LST obtenidas por el Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC, <https://www.icgc.cat/en/>), así como por las medidas de la LST obtenidas “in situ” (mediante cámara termogràfica).
- La investigación confirma una *manifiesta UHI nocturna en el Área Metropolitana de Barcelona en agosto de 2015*. Mientras el suelo rural del AMB obtuvo una temperatura media de 21,23°C, el suelo urbanizado alcanzó los 24,10°C, 2,87 grados más, un 13,5% superior.
- *El análisis de la UHI nocturna ratificó, asimismo, el mejor desempeño de los paisajes de Sprawl en cuanto a la temperatura nocturna*. Durante la noche, y según los usos de suelo de Corine Land Cover, el puerto (26.09°C), el aeropuerto (25.07°C), el tejido urbano continuo (“continuous urban fabric”, 24.95°C), el terreno más cercano al mar (24.76°C) y las áreas industriales (24.31°C) fueron las cubiertas con mayor temperatura. Por el contrario, los espacios forestales (20,14°C), las marismas (20,58°C) y los terrenos rurales con abundante vegetación (20,78°C) fueron las cubiertas de suelo más frescas. La zona de edificación discontinua (“discontinuous urban fabric”, 23,36°C) alcanzó unos 1,5 grados menos de temperatura que la cubierta “continuous urban fabric”, aunque superior a la temperatura media del conjunto de la AMB (22,57°C). De forma más precisa, según los usos de suelo de Urban Atlas²³, *las viviendas unifamiliares (22,52°C), alcanzaron una temperatura ligeramente inferior a la media metropolitana, siendo 2,5°C más frescas que la compacta ciudad central (25,05°C), centros históricos (24,90°C), e incluso zonas residenciales de densidad media y edificación abierta (24,47°C)*.²⁴

²¹ Agosto de 2015 fue un mes excepcionalmente cálido. Durante el mismo se desarrollaron diversas olas de calor, tanto de carácter diurno como nocturno. Es, por tanto, un buen ejemplo para la comprensión de la UHI (diurna y nocturna), en contexto de evento extremo de calor.

²² Hay que indicar que la novedad metodológica de no utilizar, para determinar la LST nocturna, en época de verano, del NDVI del mismo periodo (veraniago) no está exenta de debate. En el transcurso del proyecto de investigación se consultó con José Sobrino, una de los mayores exponentes del estudio de la LST por medio de remote sensing, el cual no quedó completamente convencido de la utilidad de utilizar el NDVI de invierno como proxy para el cálculo de la emisividad. No obstante estas reticencias, los referees del artículo publicado apoyaron la nueva metodología, aunque sugirieron diversos tests de comprobación de su mayor utilidad. Comprobaciones que se recogieron en la versión definitiva del artículo.

²³ Véase nota a pie de página n, 10 del Capítulo V.

²⁴ En el trabajo “Using remote sensing imagery to study urban heat island and heat waves”, publicado en *Proc. SPIE 11829, Earth Observing Systems XXVI, 1182905*, y vinculada a la que aquí se presenta como contribución 19, se desarrolló un modelo estrictamente “geográfico”, el cual permitió conocer con mayor profundidad el grado de resiliencia de los diferentes paisajes urbanos, *extrayendo el efecto de la diferente ubicación espacial de los usos del suelo*. Dicho modelo “geográfico” predice una LST más baja para los principales paisajes urbanizados. *La diferencia entre la LST observada y la predicha en el modelo aumenta cuanto mayor es la densidad de las cubiertas terrestres*. “Continuous urban fabric”, “Discontinuous dense urban fabric” y “Discontinuous medium density urban fabric” tienen una temperatura real superior a la prevista por el modelo geográfico, confirmando nos encontramos ante un efecto de verdadera UHI, y no sólo resultado de la localización geográfica de la urbanización.

- Por su parte, *el modelo, “híbrido”, de la variación espacial de la LST, alcanzó un nivel explicativo muy elevado ($R^2 = 0,899$)*. Por tanto, dicho modelo, además de mejorar nuestra comprensión de los factores que determinan la distribución espacial de la LST, permite simular una visualización más precisa y detallada de la UHI, tanto durante el día como la noche. La “confusión” de la banda térmica de Landsat 8, resultado del tamaño original del píxel (100 x 100 metros, aunque re-escalado a 30 x 30), puede ser subsanada mediante la mapificación de los del modelo. Por tanto, *el modelo desarrollado posibilita reducir la escala (“downscaling”) de la LST a una resolución espacial más alta: 30 metros/píxel, usando la información de Landsat, 10 metros/píxel, a través de Sentinel 2 e, incluso, 1 metro/píxel, utilizando información de origen de esa resolución²⁵*.
- Finalmente, la inclusión de la variable de la LST nocturna de MODIS elevó la eficiencia del modelo híbrido al 90,9%, *posibilitando estimar la variación temporal de la LST en escenarios similares al estudiado*, en los que se pueda disponer de información de la LST a menor resolución. Aspecto, éste, de enorme trascendencia, dada la muy escasa disponibilidad de imágenes nocturnas de Landsat.

6.4. Modelling nighttime air temperature from remote sensing imagery and GIS data

La aportación vigésima, consiste en una ponencia presentada en el congreso Space, Satellites + Sustainability (S3), 2021, Glasgow, Scotland, United Kingdom, y publicada en *Proc. SPIE 11888, Space, Satellites, and Sustainability II, 118880H (12 October 2021)*, cuyos autores son Blanca Arellano, Josep Roca, Dolors Martínez, Carina Serra, Xavier Lana y Rolando Biere. Como indicios de calidad, los congresos de SPIE son considerados “notables” por la UPC, estando sus publicaciones indexadas en Scopus, con un índice de impacto (2020) SJR = 0,192, equivalente al cuartil segundo de Architecture, razón por la cual aporta 3 puntos a a los efectos de la Normativa de Tesis Doctorales por Compendio de Publicaciones del PD GVUIA.

Dicha aportación aborda el tema central de la *interacción entre el clima y la salud*. El confort y la salud son aspectos íntimamente relacionados. Afectando el clima urbano, diurno, pero sobre todo nocturno, el bienestar humano. En este sentido la última de las investigaciones seleccionadas en este capítulo aborda este tema central de la planificación urbana y territorial. La reciente pandemia ha venido a poner en primer plano el protagonismo que en el planeamiento urbano debe tener la protección de la salud. Y es un hecho evidente que *el calentamiento global, con el incremento de las temperaturas, afecta de forma muy especial a la salud humana*. Para ello

Esta aportación viene complementada por un conjunto de publicaciones complementarias²⁶, que se relacionan a continuación:

²⁵ Para un ejercicio de esa mayor resolución, 1 m/p, utilizando información de base (NDVI) del Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, véase la investigación vinculada “Combining different sensors for the detailed analysis of the daytime and nighttime UHI”, publicada en *Proc. SPIE 11157, Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments IV, 1115703*.

²⁶ No se escoge ninguna de ellas como contribución a esta tesis debido a dos razones. La primera, y fundamentalmente, a que la autora de esta tesis doctoral tuvo un papel secundario en su elaboración (tal como refleja el lugar entre los autores), correspondiendo dichos trabajos a resultados de la investigación colectiva enmarcada en el proyecto Urban-CLIMPLAN. Su mérito principal corresponde a los tres primeros

- *Estimation of surface air temperature of Barcelona metropolitan region from MODIS land surface temperature and GIS data*, ponencia presentada en 20th EGU General Assembly, EGU2018, realizada el 4-13 April, 2018, Vienna, Austria, y cuyos autores son Serra, C., Lana, X., Martínez, D., Roca, J., Moix, M., Arellano, B., Biere, R. & Burgueño, A. (2018). Publicada en *EGU General Assembly Conference Abstracts* (p. 6744). <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2018/EGU2018-6744-1.pdf>. Como indicio de calidad, las conferencias de EGU son consideradas congresos “notables” de la UPC.
- *Temperatura del aire de la Región Metropolitana de Barcelona a partir de la temperatura en superficie MODIS y de datos topogeográficos*, ponencia cuyos autores son Serra de Larrocha, C., Lana Pons, F. J., Martínez Santafé, M. D., Roca Cladera, J., Arellano Ramos, B., Biere Arenas, R. M., & Moix Bergadà, M. presentada en el XII Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual: “Ciudades y Territorios Inteligentes”, celebrado en Mendoza (Argentina), 5-7 septiembre 2018 y publicada en *Libro de proceedings, CTV, 2018*: (pp. 357-368). Centre de Política de Sol i Valoracions, CPSV/Universitat Politècnica de Catalunya, UPC; doi: 10.5821/ctv.8251.
- *Air temperature in Barcelona metropolitan region from MODIS satellite and GIS data*, artículo cuyos autores son Serra, C., Lana, X., Martínez, M. D., Roca, J., Arellano, B., Biere, R., Moix, M. & Burgueño, A. (2020) publicado en *Theoretical and Applied Climatology*, 139(1), 473-492; doi: 10.1007/s00704-019-02973-y. Como indicio de calidad, *Theoretical and Applied Climatology* tiene un índice de impacto SJR = 0,935 (2020), equivalente al primer decil de *Architecture-Scopus*.

Como se ha desarrollado a lo largo de este capítulo, la literatura especializada ha destacado la singular importancia del LST en la generación de la Isla de Calor Urbana (UHI), especialmente durante la noche. Es durante la noche que los efectos del UHI se hacen más evidentes, debido a la baja capacidad de enfriamiento de los materiales de construcción urbana y *es durante la noche que las temperaturas pueden causar mayores riesgos para la salud*, lo que lleva a la agravación de los impactos negativos en la salud y el confort de las personas en eventos extremos como olas de calor, cada vez más frecuentes y de mayor duración.

Sin embargo, el estudio de la UHI nocturna aún está poco desarrollado, debido a los problemas estructurales analizados en la contribución decimonovena: por un lado, la escasez de estaciones meteorológicas que permitan obtener la temperatura del aire (T_a , o LSAT) con un grado adecuado de resolución espacial. Y, por otro, por la limitada disponibilidad temporal de imágenes satelitales nocturnas de media/alta resolución que permitan conocer la LST de noche.

Las imágenes obtenidas mediante remote sensing se han situado como la metodología más utilizada para medir la UHI, pero la mayor limitación de este método es la escasez de imágenes de alta resolución que permitan obtener una LST nocturna de forma rigurosa. Solo MODIS o Sentinel 3 ofrecen imágenes térmicas nocturnas gratuitas de resolución media para análisis de la LST y, por tanto, la UHI. En este contexto, la contribución decimonovena ha planteado un método práctico para reducir la escala de la UHI nocturna, basada en las limitadas imágenes Landsat disponibles durante la noche.

autores (Serra, Lana y Martínez). Y la segunda, y no menos importante, a que abordan tan sólo indirectamente el tema principal aquí tratado: la interacción entre clima y salud. *Dichas publicaciones van dirigidas a establecer la relación entre la LST y la LSAT*, representando el marco conceptual en el que se desarrolla la aportación vigésima.

Sin embargo, la integración de la LST (obtenida a partir de imágenes de teledetección) con T_a (obtenida de estaciones meteorológicas) sigue siendo un reto pendiente. La estimación correcta de la temperatura del aire a ≈ 2 m de altura sobre el suelo (T_a) a partir de LST es posible pero compleja. El gradiente vertical a aplicar es función del balance de la energía superficial y de su distribución en el aire, hecho que varía en función de la naturaleza de la superficie, del instante del día, así como de las condiciones de ventilación y circulación del aire.

El objetivo de la investigación seleccionada como aportación vigésima de la tesis es integrar la información derivada de la banda térmica de imágenes satelitales (LST) con las medidas "in situ" de la T_a obtenidas en estaciones meteorológicas. Dicha integración permite conocer en detalle la distribución espacial de la temperatura de aire en el momento de análisis, y por tanto la isla de calor (nocturna) derivada de la misma. Es esa temperatura de aire nocturna la que tiene un efecto relevante en el confort humano, y que por tanto permite establecer el riesgo para la salud, objetivo último del trabajo que aquí se presenta. El ámbito de estudio es el Área Metropolitana de Barcelona.

Como es suficientemente conocido a partir de los informes del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), así como de la Conferencia sobre el Clima celebrada en París (2015), si el calentamiento del planeta supera los dos grados respecto a la era pre-industrial, los efectos sobre los ecosistemas y sobre el confort y la salud humanas serán muy severos. Calentamiento global que ya ha llegado a $1,1$ °C, según los documentos presentados en la cumbre del clima de Glasgow (2021)²⁷. Como ya indicaba el IPPC en 2012: “It is virtually certain that the frequency and intensity of hot extremes and the intensity and duration of heat waves have increased since 1950 and will further increase in the future even if global warming is stabilized at 1.5°C ”²⁸.

Los efectos de las *olas de calor* (HW)²⁹ sobre la población han sido descritos por numerosos autores que han establecido claras relaciones entre las altas temperaturas, la morbilidad y la mortalidad, especialmente en enfermedades respiratorias y cardiovasculares. El organismo humano y la atmósfera se encuentran en un equilibrio físico y químico en constante interacción, razón por la cual todo ser humano se ve obligado a reaccionar ante los elementos atmosféricos para garantizar el correcto y óptimo funcionamiento de su organismo. El ambiente térmico juega, por tanto, un papel importante en lo que respecta a la salud pública. Salud que se ve afectada en función a las características sociodemográficas de la población, así como de las características físico-climáticas de los paisajes urbanos. En las zonas urbanas, además, las olas de calor también tienen efectos negativos sobre la calidad del aire y el número de días con altos niveles de contaminantes, ozono troposférico y partículas en suspensión, aspectos todos ellos con grave impacto en la salud.

²⁷ El trabajo realizado por nuestros alumnos del MArch en la asignatura Arquitectura, Ciudad y Proyecto, este curso académico 2021-2022, han situado hacia 2032 el momento en el que planeta superará la cota máxima de calentamiento deseable ($1,5^\circ\text{C}$), adelantando a 2060 la superación del límite crítico de los 2°C . Se trata, por tanto, de un futuro muy cercano en términos de la vida humana: la mayor parte de los habitantes actuales experimentarán los efectos del GW, si la acción humana no les pone freno.

²⁸ Intergovernmental Panel on Climate Change (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. Cambridge University Press.

²⁹ El concepto de HW es objeto de debate a nivel internacional. En nuestro trabajo de investigación asumimos la definición de la AEMET de que nos encontramos ante un evento de ola de calor cuando durante tres o más días consecutivos la temperatura máxima supera el percentil 95% de la temperatura de los meses de julio y de agosto del periodo 1971-2000. En nuestra investigación, sin embargo, hemos diferenciado las olas de calor diurnas (DHW, que son las generalmente consideradas en la literatura) de las nocturnas (NHW).

En gran parte del mundo desarrollado, las sociedades han envejecido de forma acusada, siendo, por lo tanto, más vulnerables a los eventos extremos climáticos, como las olas de calor. Europa, por ejemplo, actualmente tiene una población que envejece en mayor medida que cualquier otro continente. Las islas de calor urbanas representan, en consecuencia, un riesgo adicional para los habitantes urbanos de las metrópolis europeas, afectando principalmente a los ancianos, a los enfermos, así como a los hogares de bajos ingresos. En este contexto, *las islas de calor urbanas (UHI) aumentan los efectos de las olas de calor, lo que representa un grave inconveniente para la salud y el confort humanos.*

Como se ha desarrollado a lo largo de este capítulo de la tesis, las ciudades acumulan calor tanto en las cubiertas urbanas como en las infraestructuras construidas, representando verdaderas islas de calor en relación a su entorno rural (menos artificializado). Los espacios urbanos más densos, así como las áreas industriales y comerciales se caracterizan por acumular más calor durante el día. Durante la noche, la mayor inercia térmica de las zonas centrales reduce su capacidad de enfriamiento, lo que representa un serio inconveniente en el caso de noches “tropicales” (> 20 Celsius) y “tórridas” (>25 centígrados). Por otro lado, los paisajes urbanos de baja densidad, las áreas de Urban Sprawl, tienden a tener un mejor comportamiento climático, siendo más resilientes a las olas de calor extremas. La menor densidad, así como, sobre todo, la mayor cantidad de vegetación de las áreas de expansión urbana reducen las temperaturas diurnas, así como aumentan su enfriamiento nocturno debido a la mayor ventilación resultante de su alto SVF.

La investigación aquí resumida recuerda que la literatura sobre el clima urbano ha destacado la singular importancia de la UHI nocturna. Como decíamos en la contribución decimonovena, es durante la noche cuando los efectos de la UHI se hacen más evidentes, debido a la baja capacidad de enfriamiento de los materiales de construcción urbana. *Y es durante la noche cuando las temperaturas pueden provocar mayores riesgos para la salud.*

En este contexto, y continuando con la metodología sugerida en los trabajos investigación desarrollados en el marco del proyecto Urban-CLIMPLAN (de los que esta contribución es continuación), *el trabajo aquí presentado busca determinar con un elevado grado de resolución la distribución espacial temperatura de aire en un período de máximo calor nocturno (agosto 2015), así como determinar el grado de riesgo para salud que tales temperaturas extremas tienen en los distintos paisajes urbanos del Área Metropolitana de Barcelona.*

Para ello desarrolla la siguiente *metodología*:

- En primer lugar el trabajo seleccionado estudió la *relación entre la mortalidad de la ciudad de Barcelona³⁰ y la temperatura máxima y mínima* de todos los días entre 2007 y 2018, a fin de determinar el grado de correspondencia entre ambas variables (mortalidad y temperatura), así como verificar, en su caso, la hipótesis del mayor protagonismo de las temperaturas nocturnas³¹.
- Se analizó, asimismo, y siguiendo la metodología presentada en la contribución 19, *la estructura espacial de la LST nocturna* del periodo estudiado (agosto 2015, en pleno apogeo de diversas olas de calor).

³⁰ Información facilitada por la Agència de Salut de Barcelona (ASB) y que consiste en la cuantificación de las muertes producidas diariamente entre 2007 y 2018, explotada por los 73 barrios de la ciudad.

³¹ Así mismo se han estudiado modelos de “rezago”, así como de acumulación (varios días seguidos a elevadas temperaturas). Aspectos, estos, que aún están pendientes de publicación.

- Una vez obtenida la LST, la aportación seleccionada propuso *el modelado de la temperatura del aire*. Siguiendo la metodología del artículo publicado en *Theoretical and applied climatology*, se desarrolló un modelo de multi-regresión con la temperatura mínima (por tanto, nocturna) del aire (obtenida a partir de las estaciones meteorológicas³²) como variable dependiente, y la LST nocturna y diurna (obtenida por MODIS), latitud, longitud, altitud, pendiente, orientación, distancia al mar, calendar day (cd^*)³³, NDVI y NDBI como variables independientes. Modelo desarrollado en el Área Metropolitana de Barcelona para todos los días no nublados del año.
- Una vez obtenido el modelo de temperatura del aire obtenido a partir de las estaciones meteorológicas, *se fusionó dicho modelo con la LST resultante de los sensores satelitales de elevada resolución* (Landsat 8), pudiendo, de esta forma, conocer el UHI derivada de la temperatura del aire con mucho más detalle que la información obtenida de MODIS.
- Finalmente, el artículo publicado en SPIE 35, permite no sólo conocer en detalle (a una resolución espacial de 30 m/p) la Isla de Calor Urbana de la temperatura del aire del Área Metropolitana de Barcelona, sino también *determinar las zonas urbanas con temperaturas nocturnas superiores a los 20 grados ("noches tropicales")*, así como las *zonas de la ciudad más expuestas a las olas de calor nocturnas*. El mapeado del riesgo para la salud es, por tanto, el resultado final esperado.

En cuanto a los principales resultados obtenidos de la investigación, cabe destacar los que se resumen a continuación:

- En primer lugar, la *confirmación de la hipótesis del mayor protagonismo de las elevadas temperaturas nocturnas como un mayor riesgo para la salud*. La elevación de las temperaturas máximas (diurnas) y mínimas (nocturnas) a lo largo del año genera, por regla general, una reducción de la mortalidad, sin embargo, a partir de determinado umbral, 27,7°C de las máximas diurnas y 21,3°C de las mínimas, la mortalidad empieza a crecer, especialmente en el caso de las temperaturas nocturnas donde a partir de los 25°C el crecimiento es exponencial. Mayor protagonismo del calor nocturno que confirman los modelos explicativos desarrollados.
- *El modelo de multiregresión obtiene un resultado óptimo ($R^2 = 0,943$), lo que significa su buen desempeño para explicar la variación de las temperaturas mínimas del aire a lo largo del año*. Dicho modelo se construye con tan sólo 7 variables significativas, siendo la más significativa la LST nocturna (obtenida a partir de MODIS), seguida de la distancia al mar (con el signo negativo), pendiente (positivo), longitud geográfica (negativo), NDVI (negativo), NDBI (positivo) y el día del calendario (cd^*)³⁴.
- *La fusión de la LST nocturna obtenida a partir de Landsat 8 con el modelo resultante de la temperatura del aire, permite, para los días más calurosos del año, replicar la UHI de*

³² La AMB sólo cuenta con 13 estaciones meteorológicas en su ámbito espacial. Nosotros hemos utilizado las 20 estaciones más cercanas al centro de la ciudad para mejorar la significación estadística del modelo de regresión.

³³ En el modelo de multirregresión cd^* es el día del calendario (cd , 1-365/366) linealizado, a partir de una transformación del coseno. $cd^* = \cos \frac{2\pi(cd-cd_{max})}{365}$

³⁴ El signo del coeficiente de regresión (+ o -) implica, como es obvio, una incidencia positiva o negativa en las temperaturas de aire nocturnas. Por su parte indicar que la altitud y la latitud no se incorporan en el mejor modelo (stepwise), a pesar de su elevada correlación con las temperaturas, debido a su alta colinealidad con la variable distancia al mar.

noche con una elevada resolución espacial (30 m/p). Si en la contribución decimonovena se obtuvo la UHI a partir de la LST, en la presente aportación se hace lo propio con la LSAT. Es decir, con la temperatura de percepción humana, que es la que genera (cuando es excesivamente elevada) el empeoramiento de la salud, e, incluso, de la mortalidad.

- Todo lo anterior conduce a poder *mapificar el riesgo para la salud* que las elevadas temperaturas nocturnas pueden tener en eventos extremos, como las olas de calor.

En resumen, los trabajos presentados en este capítulo de la tesis permiten resumir las principales aportaciones del modo que sigue:

1. *Mejorar la comprensión de la isla de calor de Barcelona y su Área Metropolitana*, trascendiendo los tradicionales estudios acerca de la UHI, que suelen limitarse a las temperaturas diurnas, puesto que es en la noche donde la acumulación de calor en las cubiertas y los edificios urbanos es más acusada.
2. *Evaluar el grado de resiliencia al calentamiento global de los distintos tipos de paisajes urbanos*. Y, en este sentido, confirmar el mejor desempeño de los espacios del Urban Sprawl, cuando de adaptación al Cambio Climático nos enfrentamos.
3. *Conocer el efecto benefactor del urban greenery en la suavización de las temperaturas extremas*. Y, con ello, y trascender una identificación en exceso simplista + Sprawl → - Calor. Es la cantidad y la calidad de la vegetación, y no tanto el modelo de urbanización disperso, lo que permite una mejor adaptación y resiliencia al calentamiento global.
4. Desde el punto de vista técnico, *reducir la escala de las imágenes nocturnas de la isla de calor a una mejor resolución espacial* (por ejemplo, 30 metros por píxel), frente a las imágenes tradicionales de 1 km/píxel provenientes de MODIS. Esta reducción (“downscaling”) es de crucial importancia para poder desarrollar políticas urbanas, a nivel de planeamiento general (“climatopes”) y de detalle.
5. *Extrapolar los modelos explicativos de la distribución espacial de las temperaturas*, gracias a la mayor frecuencia temporal de MODIS o Sentinel 3, *los resultados obtenidos a otras instancias temporales para las que no existe información de detalle de las bandas térmicas Landsat 8*.
6. *Modelar la temperatura del aire a una escala de detalle (30 m/p)*, compatible con los requerimientos exigidos en los estudios urbanos, trascendiendo así la información suministrada por las (escasas) estaciones meteorológicas, así como los estudios basados, tan sólo, en las temperaturas de superficie.
7. *Evaluar el riesgo para la salud de los eventos de calor extremo*. Y, a tal efecto, diferenciar las olas de calor diurnas y nocturnas.

Todo lo anterior ha de permitir *desarrollar instrumentos de planeamiento urbano y territorial más adecuados para combatir el cambio climático*, sin comprometer la utilización racional de los recursos.

IDENTIFYING URBAN HEAT ISLAND: THE BARCELONA CASE

Blanca Arellano Ramos

M. Sc. Architect. Assistant professor

blanca.arellano@upc.edu

Josep Roca Cladera

PH. D. Architect. Full professor

josep.roca@upc.edu

Center for Land Policy and Valuation (CPSV)

Department of Architectural Technology (TA)

Technical University of Catalonia (UPC)

Barcelona, 08028, Spain

+ 34 934016396

Key words: UHI, climate change, LST, NDVI, land use, urban sprawl.

Abstract

There is a large consensus that cities have a special role in the process of climate change. Cities are responsible for 75% of global energy consumption and 80% of GHG emissions, both due to "lifestyle" generated in the last 150 years and changes associated with urbanization process in the era of globalization and urban sprawl. The specialized literature has devoted many efforts to analyze the contribution of urban systems to climate change, occupying the Urban Heat Island (UHI) an important place in studies on urban climate. In this sense, the use of remote sensing technology has allowed detailed mapping of (daytime) land surface temperature (LST) for urban and metropolitan systems. These studies have demonstrated the key role played by vegetation, impervious soil and land uses to explain differences in the spatial distribution of LST. However, the information provided by satellites has important limitations: especially the low resolution of the thermal band of night images. MODIS, for example, provides valuable information on the night LST; however, the spatial resolution of the thermal band is about one km², scale clearly insufficient to identify accurately the spatial structure of the UHI. In the opposite site, Landsat offers a more acceptable spatial resolution (30 m² / pixel for the visible bands of the electromagnetic spectrum as well as 60 to 100 m² / pixel in the thermal bands), but does not provide information about night soil temperature. In addition, it is at night when the urban heat island becomes more evident. Therefore, to determine the night LST in an appropriate scale (as offered by Landsat) remains a significant challenge in studies aimed at identifying the spatial structure of the UHI.

In Metropolitan Area of Barcelona (AMB, 3,200 km² and 4.8 million inhabitants), the (day) highest temperatures are not in the CBD but in areas that are more peripheral specialized in economic activity such as industrial parks, producing a "donut" in the spatial distribution of the LST. Bare soil also shows a (day) high surface temperature. In contrast, sprawled areas have a less pronounced LST. The spatial structure of the LST, however, changed significantly during the night: compact and sprawl areas maintain high levels of heat, facing the agricultural soil,

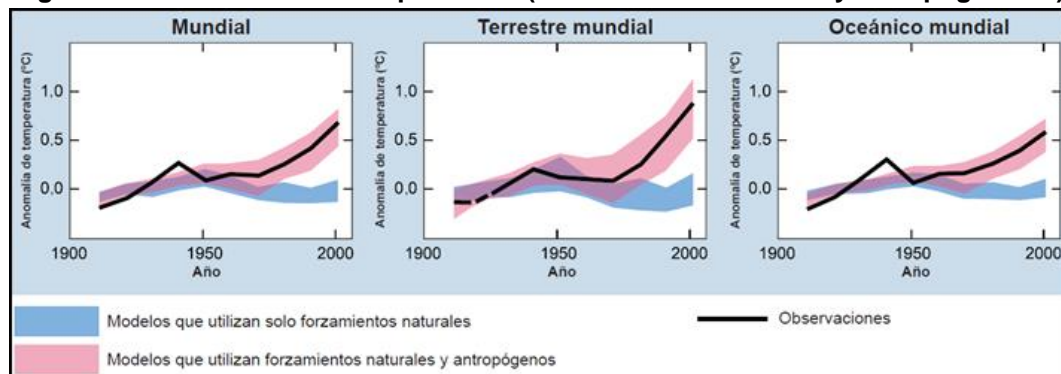
which cools more sharply as also happens in the industrial land. UHI appears therefore overnight.

This paper aims to show the spatial patterns of Urban Heat Island in the Metropolitan Area of Barcelona at medium scale (30 m² / pixel). It develops a new methodology aimed at modeling the night temperature at one km² resolution (MODIS) and then extrapolating this methodology to a most accurate scale of 30 m² / pixel (Landsat). The study allows identifying differences in (night) LST according to the distribution of land use, quantity and quality of the vegetation, intensity of urban sprawl, spatial distribution of economic activity and type of urban morphology (continuous vs. scattered urbanization).

Introducción

“El calentamiento del sistema climático es inequívoco, como evidencian ya los aumentos observados del promedio mundial de la temperatura del aire y del océano, el deshielo generalizado de nieves y hielos, y el aumento del promedio mundial del nivel del mar” (IPCC 2007¹, pág. 2). De los 12 años comprendidos entre 1995 y 2006, 11 figuran entre los más cálidos en los registros de temperatura terrestre mundial existentes desde 1850. Este aumento de temperatura está distribuido por todo el planeta y es más acentuado en las latitudes septentrionales superiores. Las regiones terrestres (fig. n. 1) se han calentado más aprisa que los océanos. La variación de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, y las variaciones de la cubierta terrestre y de la radiación solar, alteran el equilibrio energético del sistema climático. En este sentido, el origen antropogénico de los cambios observados (Trenberth et al., 2007²) parece hoy un hecho igualmente incontrovertible. Las emisiones mundiales de GHG por efecto de actividades humanas han ido en aumento desde la era preindustrial, entre 1970 y 2004 este aumento ha sido del 70%. El resultado de los diferentes modelos de la evolución de las temperaturas de la superficie terrestre, evidencian el protagonismo de los forzamientos de origen antropogénico, respecto a los de carácter natural. Estas tendencias continuarán produciéndose, acelerando incluso, a lo largo del siglo XXI. Los modelos de simulación del clima muestran un elevado nivel de coincidencia respecto a que las emisiones mundiales de GEI seguirán aumentando en los próximos decenios, con las políticas actuales de mitigación de los efectos del cambio climático. “De proseguir las emisiones de GEI a una tasa igual o superior a la actual, el calentamiento aumentaría y el sistema climático mundial experimentaría durante el siglo XXI numerosos cambios, muy probablemente mayores que los observados durante el siglo XX” (IPCC 2007, pág. 8).

Figura 1. Evolución de las temperaturas (forzamientos naturales y antropogénicos)



Fuente: IPCC 2007

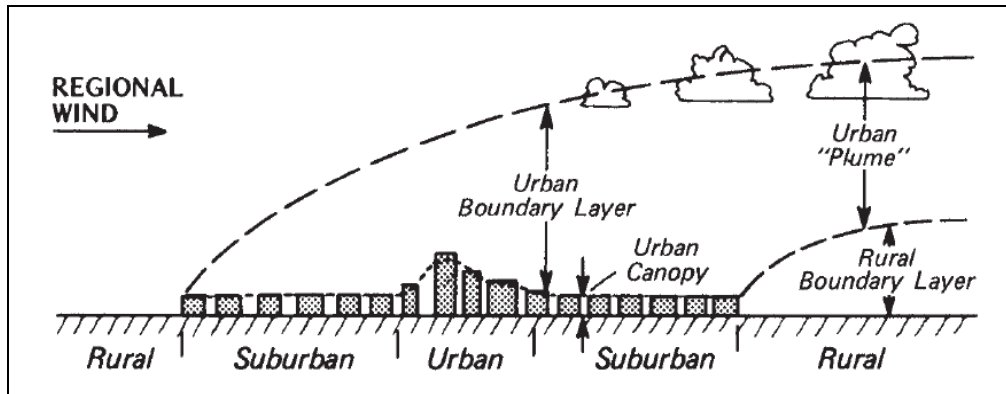
Existe un elevado consenso acerca de que las ciudades tienen un protagonismo especial en este contexto de cambio climático. Según el Centre for Human Settlements (UN-HABITAT) las ciudades son responsables del 75% del consumo global de energía, así como el 80% de las emisiones GEI (<http://www.un.org/press/en/2007/gaef3190.doc.htm>). Con independencia que estos datos estén o no sobredimensionados y de que no exista todavía un protocolo estandarizado para el análisis de la contribución de las ciudades al cambio climático, como sucede en cambio para los países, no cabe duda que el estilo de vida generado a partir de la industrialización y muy particularmente los cambios asociados a la urbanización son elementos determinantes del calentamiento global. Dicha contribución de la urbanización al cambio climático es de doble naturaleza. Por una parte, por la generación urbana de GEI, lo que contribuye de forma determinante al calentamiento global del planeta, y por otra, a la concreta radiación generada por la superficie del suelo urbanizado, la cual determina un flujo de calor sensible y latente en virtud del tipo de cubiertas urbanas, así como a su grado de humedad.

A pesar de que el clima de las ciudades depende fundamentalmente de factores de carácter regional, como la latitud, el relieve o la distancia a las masas de agua, también es afectado por factores locales y de micro-escala, como las características de la estructura urbana, la topografía y superficie de las cubiertas de suelo, la vegetación o el calor antropogénico generado por el metabolismo urbano (Lowry, 1977³; Oke, 1973⁴). Existen diferencias significativas en el clima de las áreas urbanas comparadas con las de carácter rural (Oke, 1987⁵). El efecto de la isla de calor urbana (UHI) describe la influencia de las superficies urbanas en los patrones de temperatura de las áreas urbanas en contraposición a las áreas circundantes. Los materiales artificiales (especialmente el asfalto y hormigón) usados usualmente en las áreas urbanizadas son una de las principales causas. Aparte de las zonas áridas y semiáridas, la UHI muestra temperaturas más altas en las zonas urbanas que en las zonas rurales y depende de diversos factores, como la latitud, la altitud, la topografía, el tamaño de la ciudad y la estabilidad atmosférica.

La acumulación de calor en las ciudades no sólo afecta a los entornos urbanos, sino que también tiene efectos a escala local e incluso global: la isla de calor urbana (UHI) se encuentra estrechamente vinculada con el cambio climático general (Roth et al, 1989⁶). Cambiando los usos permeables y húmedos, característicos del espacio rural, por los secos e impermeabilizados propios de pavimentación y edificación de las áreas urbanas se afecta de forma acusada el balance energético y la temperatura del suelo (Guo et al., 2012) así como muchas otras propiedades como la evapotranspiración, la infiltración de agua en la superficie, el sistema de drenaje, entre otros factores, que afectan al clima y al conjunto de ecosistemas.

Los efectos de la UHI se manifiestan en diferentes escalas. Pueden distinguirse dos tipos de UHI: la "canopy layer heat island" y la "boundary level heat island" (fig. n. 2). La primera depende de la rugosidad del suelo generada por los edificios y la copa de los árboles, con un límite superior situado justo por encima del nivel de las cubiertas de los edificios. En esta capa, el flujo del aire y los intercambios de energía vienen gobernados por procesos de microescala que dependen de las características específicas de la superficie. La segunda se sitúa por encima de la primera, con un límite inferior sujeto a la influencia de la superficie urbana. En la capa límite urbana, que es la parte de la capa límite atmosférica por encima del nivel de los edificios cuyas características están afectadas por la presencia de la urbe, la UHI opera de forma distinta, tratándose de un fenómeno de escala local a mesoescala, controlado por procesos que operan a mayor escala espacial y temporal.

Figura 2. Urban Canopy & Urban Boundary Layers



Fuente: Oke (1987)

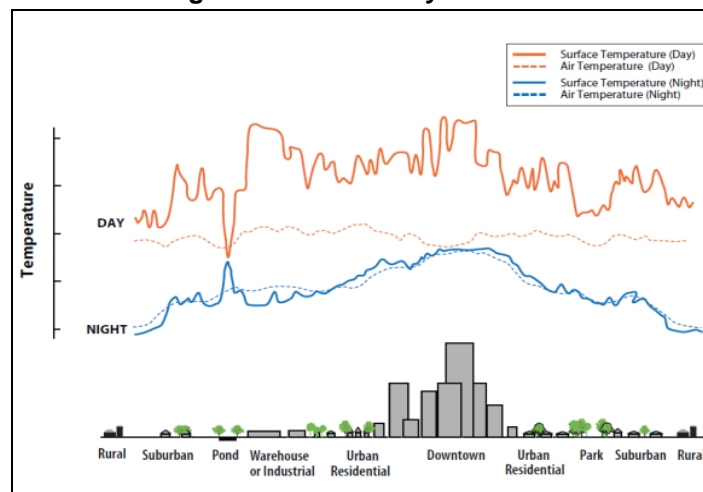
La temperatura de la superficie terrestre (LST) ocupa un papel fundamental en la generación de la UHI, al representar un factor determinante de la radiación de la superficie y el intercambio de energía (Weng, 2009⁸), además del control de la distribución de calor entre la superficie y la atmósfera (Oke, 2006). En resumen, la LST regula el ambiente térmico urbano. Por ello, es necesario el modelado y predicción de los cambios ambientales así como el análisis y la comprensión de la dinámica de la LST y su relación con los cambios de origen antropogénico. La LST sirve como un indicador importante de los procesos físicos, químicos y biológicos del ecosistema y está influenciada, junto a la latitud y tipo de clima, por variables de tipo geográfico, como la elevación, orientación y pendiente, entre otros muchos factores que condicionan la incidencia de la radiación solar en la superficie terrestre, junto a las propiedades de las cubiertas y usos de suelo, como son el color, la rugosidad de la superficie, la humedad, el material, etc. La temperatura de la superficie terrestre regula las capas bajas de la atmósfera. Por lo tanto, se la puede identificar como una variable climática clave y factor crítico para el medio ambiente urbano, dado que la LST modula el equilibrio de la energía (Tan et al., 2009).

La composición de las cubiertas de suelo es uno de los principales factores que influyen en la LST, en particular el porcentaje de cada tipo de cobertura terrestre que ocupa el área urbanizada. El área construida, asimismo, puede tener un impacto especialmente alto (Zhou et al. 2011). La temperatura de la superficie terrestre tiene, por lo general, una correlación positiva con la superficie impermeable de carácter urbano y negativa con la ocupada por bosques y zonas con vegetación. La disminución de vegetación influye en los saldos de calor, lo que lleva a un aumento de LST, al mismo tiempo, la precipitación y la evapotranspiración tiene la tendencia opuesta. En la literatura especializada está especialmente bien documentada la relación existente entre la LST con las cubiertas verdes y el Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). El NDVI, junto a otros indicadores de vegetación, ha sido ampliamente usado como un indicador de la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación, así como del impacto en la misma de la urbanización. Los trabajos que han analizado la relación NDVI-LST muestran, por lo general, una correlación negativa entre ambas variables. De igual manera se ha demostrado la existencia de una relación positiva entre la superficie impermeabilizada (impervious surface) con la LST. Por su parte, otras investigaciones han demostrado la correlación positiva existente entre la LST con distintos indicadores de intensidad de la edificación, como por ejemplo el NDBI (Normalized Difference Built-up Index), lo que representa que la isla de calor urbana es más alta en las áreas edificadas respecto a las no

edificadas; dicha variable, han indicado diversos autores, es más esTabla que el NDVI, al no depender de forma acusada de la estación del año, así como por tener una relación más abiertamente lineal con la LST que el índice de vegetación (Li & Liu, 2008). Asimismo, se ha demostrado como la LST está relacionada no sólo con el tipo de vegetación sino también con la humedad del suelo y la densidad demográfica. Aplicando técnicas de teledetección (*remote sensing, RS*), Weng (2001¹³) analizó la expansión urbana y sus impactos en la LST, obteniendo que la expansión urbana causaba el crecimiento de la LST en 13.01 K.

El acceso al RS ha hecho posible el estudio generalizado de la LST y, en consecuencia, de la UHI a escala local y regional. Sin embargo la gran mayoría de los trabajos se ha limitado a esTablacer la temperatura de suelo de día, puesto que los sensores satelitales de mayor resolución (Landsat, por ejemplo), devuelven tan sólo información del espectro electromagnético diurno. Sin embargo la UHI es un fenómeno principalmente nocturno (ver figura n. 3), lo que sugiere la necesidad de incorporar otros sensores operacionales que ofrezcan información de la banda térmica nocturna, como MODIS. El gran problema, sin embargo, es que éstos tienen un nivel de resolución mucho más bajo, ofreciendo una imagen poco detallada de la isla de calor urbana.

Figura 3. UHI diurna y nocturna



Fuente: US Environmental Protection Agency (2008)

Por otra parte, *el planeamiento urbano tiene una transcendencia fundamental para informar, coordinar e implementar medidas para mejorar la calidad climática de las ciudades frente al cambio climático global* (Alcofrado & Matzerakis, 2010). Sin embargo, no parece existir una sensibilización al respecto, siendo escasas las iniciativas para adaptarlo por tal de aumentar la resiliencia urbana al cambio climático. En este sentido la reflexión permanece todavía en el campo teórico, no habiendo descendido a la arena de la práctica de la planificación. A pesar de la abundancia de estudios científicos producidos a lo largo de las últimas décadas acerca de los efectos de la urbanización en el clima, así como de los demostrados perversos resultados que en la salud y en la calidad de vida de las personas generan los eventos extremos resultado del cambio climático, el planeamiento territorial y urbano aún no parece haberse adaptado al mismo (Arellano & Roca, 2015).

La presente ponencia tiene por objeto modelar la UHI del Área Metropolitana de Barcelona (AMB, 3,200 km², 4,8 millones de habitantes) a una escala intermedia, equivalente a unos 30-100 m²/píxel, mediante la utilización cruzada de las imágenes satelitales de MODIS y Landsat, con el fin de una herramienta adicional para la toma de decisiones en el diseño y planeamiento de la ciudad.

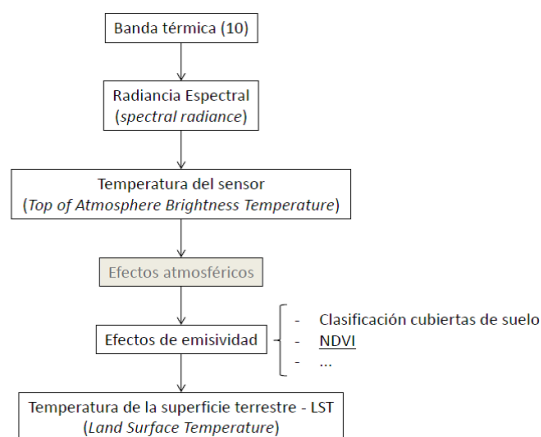
Metodología

Las imágenes satelitales que se utilizarán son MODIS, (por medio de su sensor Advanced Spaceborne Thermal mission and Reflection - ASTER) y Landsat-8 (con sus sensores OLI - Operational Land Imager y TIRS - Thermal Infrared Sensor). El primero con una resolución (diurna y nocturna) de 1 km²/píxel, y el segundo (sólo diurna) con 30 m²/píxel para el sensor multi-espectral OLI y 100 m²/píxel para las bandas térmicas. Las imágenes analizadas corresponden a la época de inicios del otoño (octubre).

La obtención de la UHI del Área Metropolitana de Barcelona se llevará a cabo por medio de la siguiente metodología:

1. En primer lugar se obtendrá la *LST de día* por medio de Landsat (OLI & TIRS), con una escala de resolución de 30-100 m²/píxel. Dicha LST permite determinar el tipo de cubiertas de suelo que radian mayor temperatura diurna, permitiendo verificar la hipótesis de que la artificialización elevada del suelo contribuye de forma positiva a la generación de la UHI. La metodología que se emplea para obtener la LST consiste en convertir la codificación numérica (Digital Number-DN) de la banda térmica (infrared thermal) en que se facilitan las imágenes satelitales en unidades físicas. Para ello: a) se transforma el DN en radiación espectral (spectral radiance); b) se calcula la temperatura de luminosidad en el sensor (at-sensor brightness temperatura). Esta temperatura no tiene en cuenta el tipo de material o de suelo que emite la energía captada, por tanto equivaldría a la temperatura emitida por un cuerpo negro (black body); y c) lo anterior conlleva a realizar una última corrección del valor obtenido introduciendo la emisividad (emissivity) de los materiales del suelo, a partir, por ejemplo, del índice de vegetación NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) o el NDBI (Normalized Difference Building Index). La figura n. 4 reproduce el proceso seguido.

Figura 4. Metodología para la obtención de la LST

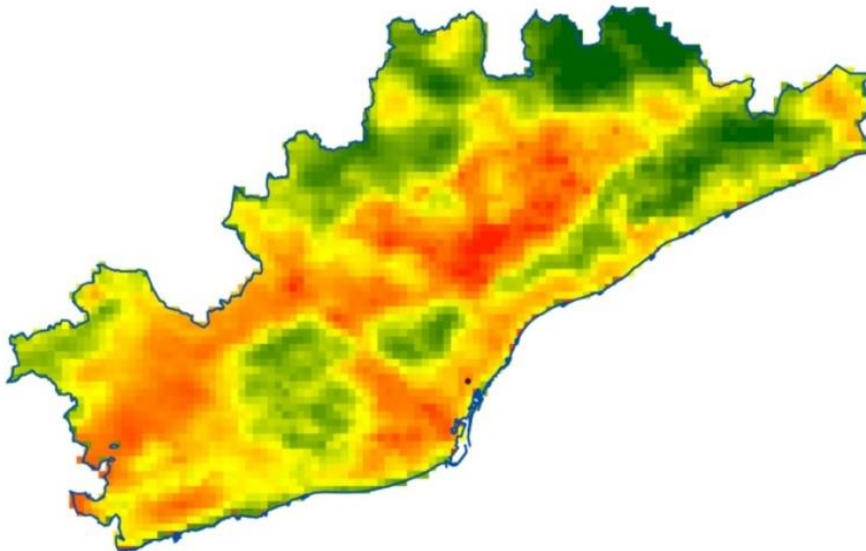


2. Mediante un procedimiento similar al descrito en el punto anterior, se obtienen las *temperaturas de suelo de día y noche* por medio de MODIS (ASTER), con una escala de resolución de $1 \text{ km}^2/\text{píxel}$. La obtención de la LST diurna y nocturna permite verificar la hipótesis de que son los usos urbanos más intensos los que atesoran de noche una mayor cantidad de calor, contribuyendo de forma determinante a la generación de la UHI.
3. Finalmente se ensaya un proceso de conversión de la temperatura de noche obtenida a baja resolución (1 km^2) a alta resolución ($30\text{-}100 \text{ m}^2/\text{píxel}$) por medio de la construcción de un modelo explicativo (OLS). Dicho modelo, generado a partir de la información asociada a la escala de la imagen de MODIS, se aplica a la escala pormenorizada de Landsat, lo que permite comprender con un grado de verosimilitud razonable el proceso de enfriamiento nocturno de las distintas cubiertas de suelo, verificando la existencia de la UHI del caso estudiado.

Resultados

El análisis de las imágenes ofrecidas por Landsat y MODIS permite la obtención, por medio de la metodología desarrollada en el epígrafe precedente, de las temperaturas diurnas de suelo del Área Metropolitana de Barcelona (así como de las temperaturas nocturnas, en el caso de específico de MODIS). Las figuras n. 5 y 6 muestran las LST diurnas obtenidas mediante las bandas térmicas de los citados satélites. Como se puede observar, ambas imágenes muestran un patrón parecido, existiendo una correlación entre ambas LST relativamente elevada ($R^2 = 0,727$, figura n.7)¹.

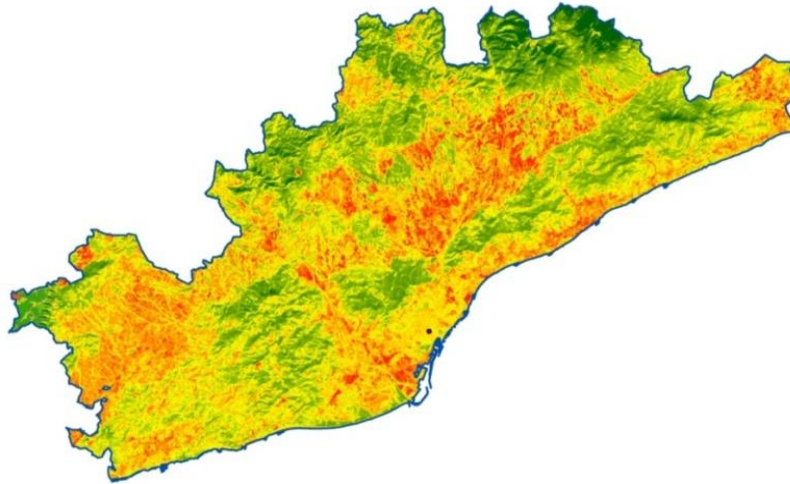
Figura 5. LST diurna (MODIS, 1 km de resolución)



Fuente: MODIS. Elaboración propia

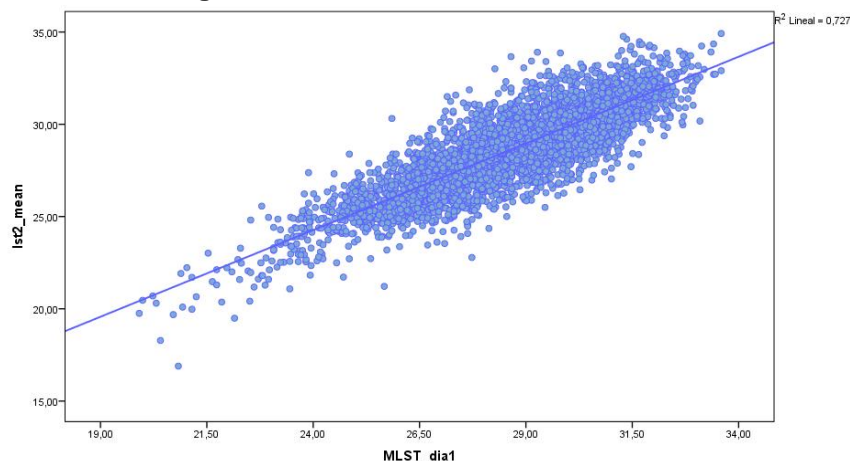
¹ La obtención de la R^2 citada se refiere a la LST de los 3,759 píxeles contenidos en la imagen de MODIS en relación a la LST media obtenida para esos mismo píxeles a partir de Landsat.

Figura 6. LST diurna (Landsat, resolución 30 m)



Fuente: Landsat. Elaboración propia

Figura n. 7 LST MODIS vs. LST Landsat



Fuente: MODIS, Landsat. Elaboración propia

El análisis realizado confirma la existencia de la isla de calor urbana en el Área Metropolitana de Barcelona. El suelo artificializado, según Corine Land Cover (CLC), alcanza mediante el análisis de la imagen MODIS una temperatura media diaria de 29,7 °C, mientras que el suelo no artificializado 28,3 °C. Dichos resultados son similares según la LST obtenida a partir de Landsat (30,1 vs. 28,2 °C).

Sin embargo, las temperaturas de día vienen parcialmente sesgadas por el sobrecalentamiento de los suelos agrícolas, parcialmente desnudos en la época otoñal². La tabla n. 1 muestra para las principales cubiertas de CLC de las temperaturas diurnas de MODIS y Landsat, junto a alguno de los principales indicadores utilizados.

² En otoño, una parte importante del suelo agrícola pierde, para la latitud del Área Metropolitana de Barcelona, cuotas significativas de vegetación. Es el caso, especialmente, de la viña, una vez producida la recolección de la uva, así como del cereal. El suelo, "desnudo", acumula importantes cantidades de calor durante las horas de insolación diurna, presentando una imagen térmica muy distinta de la imaginada en las representaciones clásicas de la isla de calor urbana.

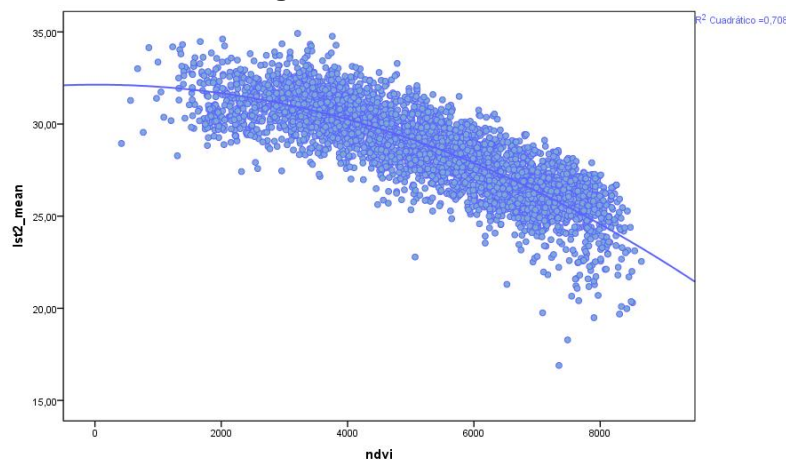
Tabla 1. LST para distintas cubiertas de suelo

Corine	NDVI	NDBI	Emisividad	LST Landsat	LST MODIS
Compacto	0,173103	0,208387	0,888741	30,4517	30,3514
Disperso	0,331724	0,106548	0,953275	28,8689	28,8026
Industrial	0,149585	0,195983	0,869183	32,3301	31,2106
Otros Usos Urbanos	0,226186	0,173915	0,890682	30,0831	29,716
Agrícola	0,315412	0,168982	0,947661	30,6329	30,0684
Forestal	0,509443	-0,055711	0,975901	26,1898	26,934
Otros Usos Rurales	0,422224	0,050236	0,968013	28,1666	28,3466

Fuente: MODIS, Landsat. Elaboración propia

El uso industrial junto al residencial compacto alcanzan las temperaturas de día más elevadas. De forma opuesta, el uso residencial disperso, relativo a las áreas caracterizadas por sprawl, observan una LST mucho más suave. En este sentido se confirma una correlación claramente negativa entre el NDVI y la LST, contribuyendo el grado y la calidad de la vegetación a la suavización temperaturas diurnas. Efecto beneficioso de la vegetación que queda plenamente confirmado tanto en el suelo forestal como en el resto del suelo rural (otros usos del suelo distintos del suelo agrícola y forestal), que son las cubiertas con menor temperatura de las observadas en el caso de estudio. La figura n. 8 muestra esta elevada correlación entre el NDVI y la LST ($R^2 = 0,708$)³.

Figura 8. LST vs. NDVI



Fuente: Landsat, MODIS. Elaboración propia

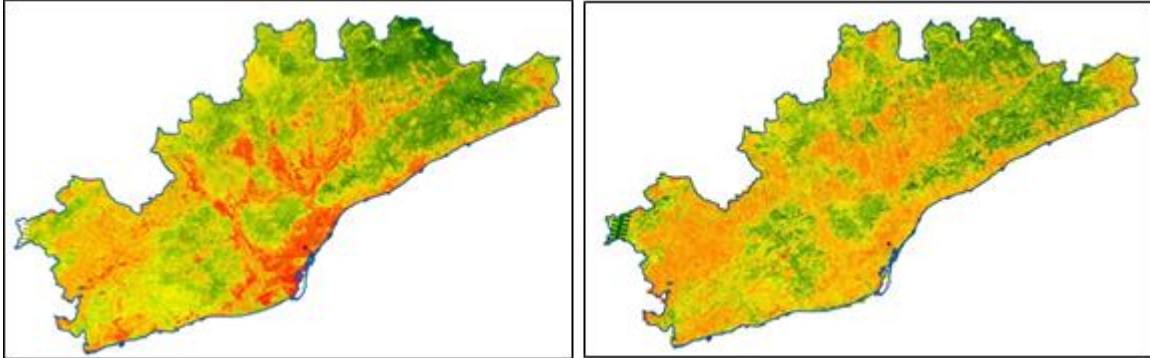
La elevada temperatura del suelo agrícola, con un NDVI parecido al suelo residencial disperso pero acusadamente más caliente, no permite sostener, para la época estacional de las imágenes, la existencia de una clara y definitiva UHI diurna⁴. Al “donut” generado por la LST del suelo industrial, más periférico, se le añade el caliente suelo rural ocupado por la agricultura.

³ La figura muestra la LST media de Landsat obtenida por píxel de 1 km (MODIS) vs. el NDVI suministrado por MODIS. En caso de utilizar la LST de día de MODIS, como variable dependiente, la R^2 alcanzada (por medio de un modelo cuadrático) es 0,660.

⁴ El hecho de haber utilizado una única imagen, relativa a la época otoñal, dificulta el entendimiento de la UHI diurna. Un refinamiento posterior al trabajo que aquí se presenta debería incluir las imágenes de primavera, verano e invierno.

Por su parte, la utilización del NDBI no permite resolver el problema de discriminar el efecto de los suelos desnudos en la LST. Como se puede deducir tanto de la tabla n. 1 como de la figura n. 9 los suelos agrícolas obtienen, por lo general, un elevado NDBI.

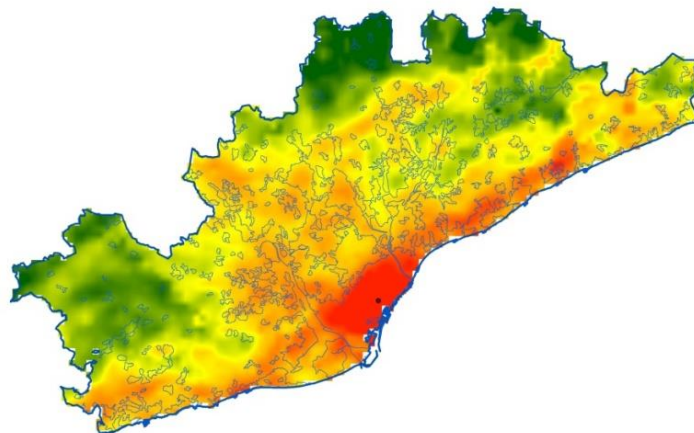
Figura 9. NDVI vs. NDBI



Fuente: Landsat. Elaboración propia

La LST nocturna, en cambio, ofrece una imagen mucho más nítida de la UHI metropolitana de Barcelona (figura n. 10). Los valores máximos de la LST noche aparecen, por lo general, asociados a las zonas de mayor artificialización, en especial Barcelona ciudad y su continuo urbano, que alcanza las temperaturas nocturnas más elevadas. También la línea litoral, con una mayor proporción de suelo urbanizado, o los enclaves altamente artificializados del Vallés, muestran una temperatura más acusada. No obstante, la temperatura nocturna dista de mostrar una relación lineal con el grado de urbanización. Otros factores como la cercanía al mar, o la altitud determinan también la LST de noche. Especialmente determinante es el efecto marítimo, que en la época del año analizada (inicio del otoño) mantiene elevadas temperaturas en la costa, provocada por la acusada inercia térmica del mar.

Figura 10. LST nocturna (MODIS, 1 km de resolución)



Fuente: MODIS. Elaboración propia

Sin embargo, y a pesar de que los factores geográficos condicionan de manera acusada la temperatura nocturna, emerge una clara isla de calor de origen intrínsecamente urbano. *El suelo artificializado tiene, de media, más de un grado de diferencia respecto al suelo no*

artificializado (16,67 frente a 15,39 °C). Como muestra la tabla n. 2, el suelo residencial compacto, el residencial disperso así como el resto de cubiertas urbanas y el suelo forestal denotan una mayor inercia térmica, con reducciones de temperatura entre la noche y el día inferiores a los 13 grados. Frente a los anteriores, el suelo industrial y, sobre todo, el suelo agrícola, observan reducciones mucho más acentuadas (con más de 14 e incluso 15 grados Celsius). La UHI emerge con toda claridad: aun con la reducción de la LST industrial, todas las categorías de cubiertas de suelo urbanizadas alcanzan temperaturas nocturnas superiores a las cubiertas rurales. Es de destacar, en este sentido, la elevada temperatura nocturna del suelo residencial disperso, característico del urban sprawl, a diferencia de su más moderada LST diurna.

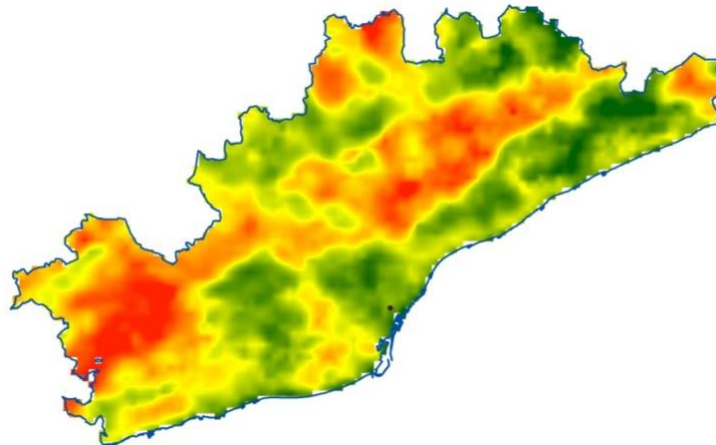
Tabla 2. Diferencias de LST diurnas y nocturnas

Corine	LST (día)	LST (noche)	Diferencia
Compacto	30,3514	17,62809	12,72331
Disperso	28,8026	16,17281	12,62979
Industrial	31,2106	16,51994	14,69066
Otros Usos Urbanos	29,716	17,05805	12,65795
Agrícola	30,0684	15,06178	15,00662
Forestal	26,934	15,23426	11,69974
Otros Usos Rurales	28,3466	15,32152	13,02508

Fuente: MODIS. Elaboración propia

Por su parte la figura n. 11 muestra la diferencia de temperatura entre el día y la noche según MODIS. Puede observarse que las zonas más centrales y urbanizadas (especialmente el continuo urbano de Barcelona) así como las cubiertas de suelo forestal tienden a tener un menor enfriamiento nocturno (color verde), a diferencia de las áreas agrícolas (mayormente desnudas) e industriales, cuyo enfriamiento es más acusado (gama de rojos). No obstante, también intervienen de forma significativa factores de orden geográfico, como la cercanía al mar. En este sentido se contraponen la depresión y cordillera litoral (con menor enfriamiento) a la depresión pre-litoral (con diferencias de temperatura día/noche más pronunciadas).

Figura 11. Diferencia entre la LST de día y de noche (MODIS, 1km de resolución)



Fuente: MODIS. Elaboración propia

A fin de explicar la variación de la LST nocturna suministrada por MODIS se ha ensayado un modelo OLS. La tabla n. 3 presenta los resultados. El modelo, a pesar de obtener un modesto nivel explicativo ($R^2 = 0,58$), limitado por la exclusiva inclusión de variables explicativas que pudiesen más adelante ser aplicadas a la escala de resolución de Landsat⁵, permite comprender los factores explicativos de la formación y distribución espacial de la LST. Los factores geográficos participan de forma significativa en el modelo, como por ejemplo la altura respecto al nivel del mar ("DTM"), la distancia a la costa ("Dist_costa"), la orientación ("orientació") o la pendiente ("pendent"). El NDVI ("mndivi" y "mndivi_corine") confirma su contribución suavizadora de la LST. Igualmente, se confirma la importante significación de las cubiertas de suelo ("corine_rec"), segmentadas en virtud a las cubiertas de CLC ("MLST_dia_corine"), así como por la distancia al mar ("MLST_dia_corones_corine_rec"). Estas últimas variables, unido a la contribución negativa de la distancia al centro metropolitano ("Dist_Centre"), ratifican la existencia de la UHI nocturna en la AMB.

Tabla 3. Modelo OLS de la LST nocturna

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,763 ^a	,583	,582	1,08252

a. Variables predictoras: (Constante), mndivi_corine, Orientació, Dist_costa, Dist_Centre, Pendent, Corine_rec, MLST_dia1, DTM, MLST_dia1_corones_corine_rec, mndivi, MLST_dia1_corine
b. Variable dependiente: mlst_nit1

Coefficientes^a

Modelo	Coefficients no estandarizados		Coefficients tipificados		t	Sig.
	B	Error típ.	Beta			
1 (Constante)	40,4457015672	1,399			28,913	,000
Dist_costa	-,0000502338	,000	-,297		-18,944	,000
Dist_Centre	-,0000161871	,000	-,124		-11,051	,000
DTM	-,0039855700	,000	-,543		-26,592	,000
Orientació	-,0004865825	,000	-,029		-2,699	,007
Pendent	,0165971210	,001	,191		13,963	,000
Corine_rec	-,1309106575	,017	-,136		-7,691	,000
MLST_dia1	-,1034591827	,018	-,137		-5,908	,000
mndivi	-,10638771573	,241	-,107		-4,417	,000
MLST_dia1_corine	-,2923398718	,041	-,275		-7,073	,000
MLST_dia1_corones_corine_rec	-,2769668444	,026	-,261		-10,838	,000
mndivi_corine	-4,4747101596	,577	-,376		-7,757	,000

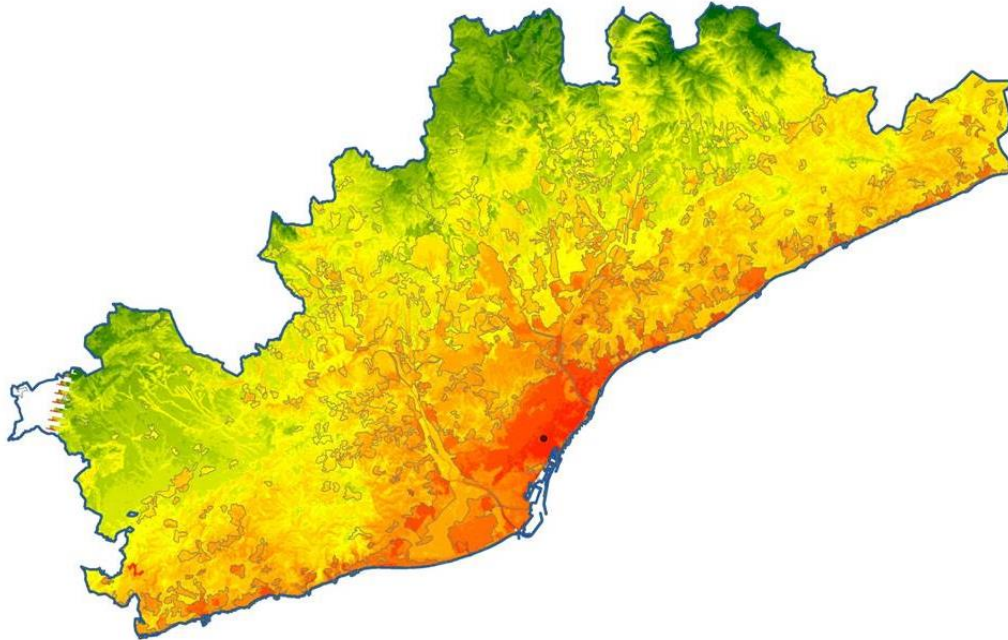
a. Variable dependiente: mlst_nit1

Fuente: MODIS. Elaboración propia

La aplicación del modelo anterior a la escala de resolución de Landsat (30-10 m²/píxel) permite visualizar con un mayor grado de precisión la LST nocturna del Área Metropolitana de Barcelona. La figura n. 12 representa la imagen del modelo OLS anteriormente expuesto, adaptada a la escala de resolución de Landsat. La superposición de la LST con los contornos urbanizados obtenidos por medio de CLC evidencia la existencia de una marcada UHI en la AMB y para la época estacional analizada.

⁵ El ensayo de un modelo OLS con variables "nocturnas" en vez de "diurnas" es acusadamente más explicativo de la variación espacial de la LST, del orden de un 70%. Sin embargo, como se ha indicado más arriba, el objetivo del modelo consiste en replicar la distribución espacial de la LST nocturna con la información proveniente de Landsat, y de esta manera alcanzar una resolución más detallada.

Figura 12. LST nocturna a 30-100 m/píxel



Fuente: MODIS, Landsat, CLC. Elaboración propia

Conclusiones

La realización del estudio que aquí se presenta confirma la existencia de una clara Isla de Calor Urbana en el Área Metropolitana de Barcelona. Tanto la información resultante de Landsat (día) como de MODIS (día y noche) confirma una mayor concentración de calor en las superficies artificiales resultantes de la urbanización respecto las de carácter rural. El análisis de la imagen térmica nocturna, así como de la diferencia día/noche ratifica la hipótesis de que es especialmente durante la noche cuando emerge la UHI. Sin embargo la LST nocturna tan sólo ha podido ser obtenida a baja resolución ($1 \text{ km}^2/\text{píxel}$), lo que presenta una imagen excesivamente poco detallada de la isla de calor de Barcelona. Por ese motivo se ha ensayado un modelo para trasladar la estructura de la LST nocturna obtenida mediante MODIS a una mayor resolución, de $30\text{-}100 \text{ m}^2/\text{píxel}$, equivalente a la resultante del satélite Landsat. La comparación entre ambas imágenes de elevada resolución, diurna y nocturna, evidencia con toda rotundidad la existencia de una acusada UHI en el Área Metropolitana de Barcelona.

Los resultados obtenidos sugieren que la UHI puede ser modelada, a pesar de las limitaciones de información sobre LST nocturna. Es importante destacar la importancia de este tipo de estudios con el fin de introducirlos en la práctica de la planificación urbana y territorial por tal de poder anticipar los efectos climáticos de la misma y permitir, en consecuencia, incrementar la resiliencia de los sistemas urbanos al cambio en el clima.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a Montserrat Moix, Licenciada en Informática e investigadora del Centro de Política de Suelo y Valoraciones, su contribución a este artículo, especialmente la revisión de la metodología para la obtención de la LST. Asimismo, resaltar que este primer artículo forma parte del proyecto nacional de investigación "Urban-CLIMPLAN. La isla de calor urbana: efectos en el cambio climático y modelado para estrategias de planeamiento territorial y urbano. Aplicación a la Región Metropolitana de Barcelona", financiado por MINECO y FEDER.

Bibliografía

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007): Climate Change 2007: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by S. Solomon et al., Cambridge Univ. Press, New York, 2007, pág. 2

Trenberth KE, Jones PD, Ambenje P, Bojariu R, Easterling D, Klein Tank A, Parker D, Rahimzadeh F, Renwick JA, Rusticucci M, Soden B, Zhai P. 2007. Observations: Surface and atmospheric climate change. In Climate Change 2007: The Physics Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL (eds). Cambridge University Press: Cambridge, New York. IPCC 2007, pág.8

Lowry, W.P., 1977: Empirical estimation of urban effects on climate: A problem analysis. *Journal of Applied Meteorology*, 16, 129-135.

Oke, T.R. (1973): City Size and the Urban Heat Island. Atmospheric Environment, Pergamon Press 1973, vol.7, 769-779.

Oke, T.R. (1987): Boundary Layer Climates. Second edition 1987. Taylor & Francis.

Roth M., Oke T. R., Emery W. J. (1989): Satellite-derived urban heat islands from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 10, Iss. 11, 1989

Guo, Z. Wang, S.D., Chengc, M.M. & Shu, Y. (2012): Assess the effect of different degrees of urbanization on land surface temperature using remote sensing images. *Procedia Environmental Sciences*, 13, 935-942.

Weng Q., (2009): Thermal Infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 64, Issue 4, July 2009, Pages 335-344.

Oke TR. 2006. Towards better scientific communication in urban climate. *Theoretical and Applied Climatology* 84: 179–190. Volume 64, Issue 4, July 2009, Pages 335-344.

Tan K. C., Lim H. S., MatJafri M. Z., Abdullah K., (2010): Landsat data to evaluate urban expansion and determine land use/land cover changes in Penang Island, Malaysia. *Environmental Earth Sciences*, Vol. 60, Iss. 7, 2010.

Zhou W., Huang G., Cadenasso M. L., (2011): Does spatial configuration matter? Understanding the effects of land cover pattern on land surface temperature in urban landscapes. *Landscape and Urban Planning*, Volume 102, Issue 1, 30 July 2011, Pages 54-63.

Li, J. & Liu, Q. (2008): Comparison of NDBI and NDVI as indicators of surface urban heat island effect in MODIS imagery. International Conference on Earth Observation Data

Processing and Analysis (ICEODPA), edited by Deren Li, Jianya Gong, Huayi Wu, Proc. of SPIE Vol. 7285, 728503.

Weng Q., (2001): A remote sensing-GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China. *International Journal of Remote Sensing*, 2001, Vol.22 (10), pp.1999-2014

Alcoforado & Matzerakis, 2010. Planning with Urban Climate in Different Climatic Zones. *Geographicalia*, 57: 5-39.

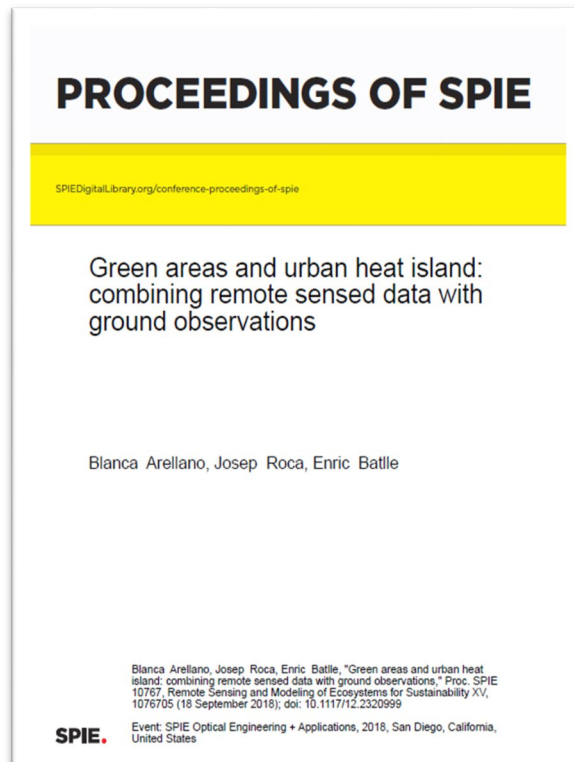
Arellano, B. & Roca, J., 2015. Planificación Urbana y Cambio Climático. *Proceedings of International Conference of Regional Science. XLI Reunión de Estudios Regionales AECR*. Reus, 2015.

Atención

Nota del Servei de Biblioteques, Publicacions i Arxius de la Universitat Politècnica de Catalunya

Las páginas 439 a 455 de la tesis, que contienen el artículo

Roca, J., Arellano, Blanca, E. B. I. D. *Green areas and urban heat island: Combining remote sensed data with ground observations*. A: SPIE Optics + Photonics. "Proceedings of SPIE 2018". Washington: International Society for Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE), 2018, p. 1-17.



Deben consultarse en la página web del editor

<https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/10767/0000/Green-areas-and-urban-heat-island--combining-remote-sensed/10.1117/12.2320999.short?SSO=1>

REMOTE SENSING AND NIGHT TIME URBAN HEAT ISLAND

Blanca Arellano¹ & Josep Roca¹ *

¹ Technical University of Catalonia

ICWG III/1: Thematic Information Extraction

KEY WORDS: Nighttime Urban Heat Island, LST, Emissivity, Fractional Cover, Landsat 8, summer and winter NDVI, Metropolitan Area of Barcelona

ABSTRACT:

The urban climate literature has highlighted the remarkable prominence of nighttime UHI phenomenon. During nighttime the UHI effects become more evident due to the greater thermal inertia of the materials used in urban fabric. It is during the night when the heat accumulated in urban materials, especially in contexts of heat waves, can generate significant health risks. The low cooling capacity of urban construction materials negatively affects the comfort and the health of urban dwellers. However, and despite the great importance of night stress due to heat, the study of night UHIs is still underdeveloped. In this context, this paper aims to determine nighttime LST contrasting Landsat's very limited nighttime images with daytime ones. The example developed refers to heat wave situations during the summer 2015. The case study is the Metropolitan Area of Barcelona (35 municipalities, 636 km², 3.3 million inhabitants).

1. INTRODUCTION

Although the climate of the cities depends fundamentally on mesoscale factors, local and micro-scale factors, such as the different characteristics of the urban structure, the topography and surface of the roofs, the vegetation, as well as the anthropogenic heat generated by urban metabolism, among other factors, can modify the regional climate to the urban scale (Oke, 1973, 1987). There are significant differences in the climate of urban areas compared to those of a rural nature. The urban heat island effect (UHI) describes the influence of urban surfaces on the temperature patterns of urban areas as opposed to surrounding areas. Artificial materials (especially asphalt and concrete) usually used in urbanized areas are one of the main causes. The UHI depends on various factors, such as the degree of waterproofing of the land, the ground cover, the vegetation, the Sky View Factor or the albedo, among others (Arellano & Roca, 2019a), such as latitude, altitude, topography or the size of the city.

The study of urban heat island (UHI) is of great importance in the context of climate change (CC). The urban climate literature has highlighted the remarkable prominence of nighttime UHI phenomenon. During nighttime the UHI effects become more evident due to the greater thermal inertia of the materials used in urban fabric. It is during the night when the heat accumulated in urban materials, especially in contexts of heat waves, can generate significant health risks. The low cooling capacity of urban construction materials negatively affects the comfort and the health of urban dwellers. The human organism and the atmosphere are in a constantly interacting physical and chemical equilibrium. All human beings are forced to react to atmospheric elements in order to guarantee the correct and optimum functioning of their organs. The urban thermal environment has a determining effect on human health and the comfort, playing an important role with regard to public health (Parsons 2014). In cases of high nighttime temperatures, as a

consequence of high daytime temperatures, heat stress persists and is aggravated by the fact that the human body cannot rest at night. The most common impact of hot nights on human health is sleep and rest. Heat, along with other factors, can cause sleep disturbances and deprivation due to the necessary thermoregulation processes (Royé, 2017). In this sense, and within the context of climate change, in Mediterranean towns there is a noteworthy increase in the number of tropical nights (minimum temperature ≥ 20 °C), and even of *torrid* nights (minimum temperature ≥ 25 °C) (Martin-Vide & Moreno-García, 2020).

Traditional methods for obtaining nocturnal UHI have been directed either to extrapolation of data from weather stations (Martin-Vide & Moreno-García, 2020), or obtaining air temperatures through urban transects (AMB, 2015, figure 1). In the first case, the lack of weather stations in urban landscapes makes it extremely difficult to obtain data to extrapolate and propose models at a detailed resolution scale. In the second case, there is a manifest difficulty in obtaining data simultaneously and significantly representative of urban and rural zones.

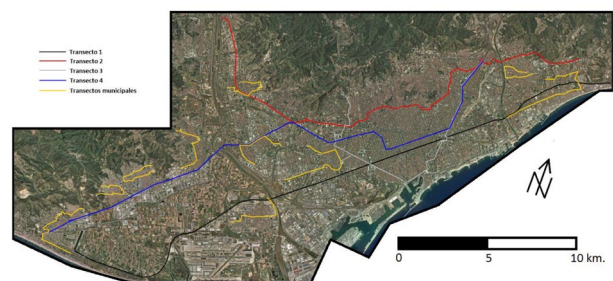


Figure 1. Urban Transects in Barcelona (AMB, 2015)

* Corresponding author

The low spatial resolution of the air temperature information contrasts with the higher resolution of the thermal data of the land covers supplied by the satellite sensors. There is a high consensus that the temperature of the earth's surface (LST) plays a fundamental role in the generation of UHI, representing a determinant of surface radiation and energy exchange, as well as the control of the heat distribution between surface and atmosphere. The earth's surface temperature (LST) is a key variable that helps regulate radiation flows and heat exchanges, latent and sensitive. Therefore, modeling and prediction of environmental changes is necessary, as well as the analysis and understanding of the dynamics of LST and its relationship with changes of anthropogenic origin. The LST serves as an important indicator of the chemical, physical and biological processes of the ecosystem and is influenced, together with the latitude and type of climate, by geographic variables, such as elevation, orientation and slope, among many other factors that condition the incidence of solar radiation on the earth's surface, together with the properties of the roofs and land uses, such as color, surface roughness, humidity, chemical composition, etc. The temperature of the earth's surface regulates the lower layers of the atmosphere. Therefore, it can be identified as a key climatic variable as well as a critical factor for the urban environment since the LST modulates the energy balance.

As indicated, the composition of the land covers is one of the main factors that influence the LST, in particular the percentage of each type of land cover within the urbanized area. The constructed area can have an especially high impact. The temperature of the earth's surface has, in general, a positive correlation with the impermeable surface of urban character and negative with that occupied by forests and areas with vegetation. The decrease in vegetation influences heat balances, which leads to an increase in LST, while precipitation and evapotranspiration have the opposite tendency. The relationship between LST and green roofs and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) is especially well documented in the specialized literature. The NDVI, together with other indicators of vegetation, has been widely used as an indicator of the quantity, quality and development of vegetation, as well as its impact on urbanization. The papers that have analyzed the NDVI-LST relationship show, in general, a negative correlation between both variables (Weng *et al.*, 2004). Similarly, the existence of a positive relationship between impervious surfaces and the LST has been demonstrated.

The technologies linked to Remote Sensing have made possible the generalized study of the LST and, consequently, of the UHI at local and regional levels. The sensors installed in the satellites are characterized by a very diverse variety of spatial and temporal resolutions, generally resulting in a higher spatial resolution, a lower temporal resolution, and vice versa. Among the most used are MODIS and Sentinel3 (which offer the thermal band both day and night), with a spatial resolution of 1 km / pixel, and Landsat8, with 30 m / pixel (100 in the thermal band, only during daytime).

However, the study of the nocturnal LST is still poorly developed due to structural problems related to the availability of detailed data on the LST at night (Arellano & Roca, 2019b). Most of the satellite sensors (Landsat, Aster, ...) allow to obtain daytime thermal images, but in a much more limited way nighttime thermal data. Only MODIS or Sentinel 3 provide abundant thermal night images, but the low resolution of these images (1 km / pixel) does not allow the construction of

detailed models of the nocturnal UHI. For these reasons, estimating the nocturnal UHI remains a pending challenge.

This paper aims to determine nighttime LST contrasting Landsat's very limited nighttime images with daytime ones. However, the estimation of the nighttime land surface temperature by means of the Landsat thermal bands, is not a trivial question. The most used methodology to determine daytime LST is based on estimating the emissivity of the land from its degree of vegetation (NDVI threshold, Sobrino *et al.*, 2008). But this method shows significant limitations at night. The NDVI overvalues vegetation when considering the canopy of trees. This overestimation does not represent a serious problem during the day, when the shade of the trees limits the radiation incident on the ground. But it is critical at night. At night, the result of the application of the standard method for determining emissivity implies the underestimation of land surface radiation in areas with abundant tree vegetation. The result is critical on the streets as well as in parks with a significant degree of canopy. For this reason, this paper seeks to develop a new methodology to estimate the degree of vegetation and soil moisture, and, based on it, determine the emissivity and, consequently, the nocturnal LST.

And, once the nighttime LST is obtained, the comparison with the daytime LST allows the construction of a set of nocturnal cooling models, which, potentially, can be extrapolated to other similar climatic situations. And these models, in turn, be applied at more detailed scales (10m/pixel) by fusing data Landsat 8 and Sentinel 2 (Wang *et al.*, 2017). Downscaling data, which can help to visualize nighttime UHI more clearly

The example developed refers to heat wave situations during the summer. The case study is the Metropolitan Area of Barcelona (MAB, 35 municipalities, 636 km², 3.3 million inhabitants, figure 2).

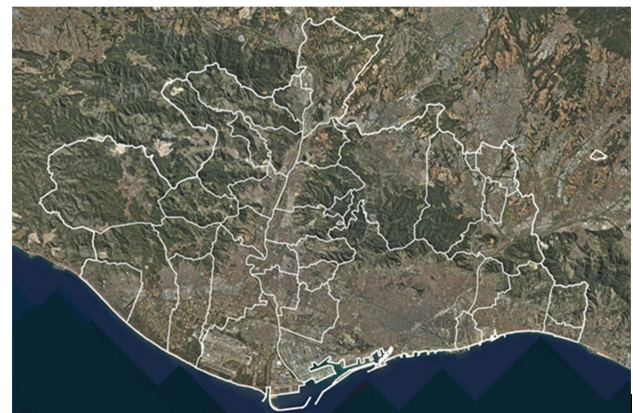


Figure 2. Metropolitan Area of Barcelona (with municipalities)

2. METHODOLOGY

The main methodological contributions of this paper can be synthesized as follows:

1. Propose a new methodology to estimate land covers emissivity which allows obtaining the summer night LST with a higher degree of efficiency. For this, instead of using summer NDVI, winter NDVI will be used, as it better represents the degree of vegetation at the ground level (figure 3). Winter NDVI more faithfully reproduces

vegetation at ground level. The tree canopy plays a smaller role due to the deciduous nature of the trees in the study area. At night, when solar radiation is non-existent, long-wave radiation from the ground is not significantly affected by the tree canopy. Nighttime LST resulting from the emissivity obtained by the winter NDVI clearly identifies the accumulated heat on existing street surfaces (and also, partially, in parks), such as asphalt or concrete, without being affected by the tree canopy. So, the hypothesis from which this paper is based is that the summer NDVI is not fully adequate to identify the real vegetation at ground level, which is why the winter NDVI is used as a better approximation.

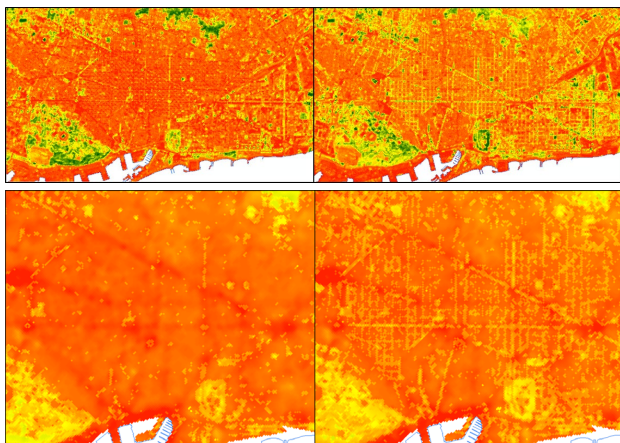


Figure 3. NDVI (winter/summer) 2015

- The standard method to obtain the emissivity (and therefore the LST) from remote sensing images (Sobrino et al., 2008) produces a significant discontinuity due to the "cavity term" (figure 4). For this reason, various methodologies have been checked to obtain emissivity (continuous, logistic, ...), finally using the method suggested by Guo *et al.* (2020).

$$\varepsilon_p = \begin{cases} \varepsilon_s & NDVI < NDVI_s(\text{barren soil}) \\ \varepsilon_v f + \varepsilon_s(1-f) + 4 < de > f(1-f) & NDVI_s \leq NDVI \leq NDVI_v(\text{partly vegetated}) \\ \varepsilon_v & NDVI > NDVI_v(\text{fully vegetated}) \end{cases}$$

where ε_p is the pixel emissivity, ε_s is the soil component emissivity, ε_v is the vegetated component emissivity, $<de>$ is the maximum cavity term and is set as 0.01, and f is the fraction of vegetation cover (FVC). $NDVI_s$ is the NDVI for barren soil (0.20); $NDVI_v$ is the NDVI for fully vegetated (0.5).

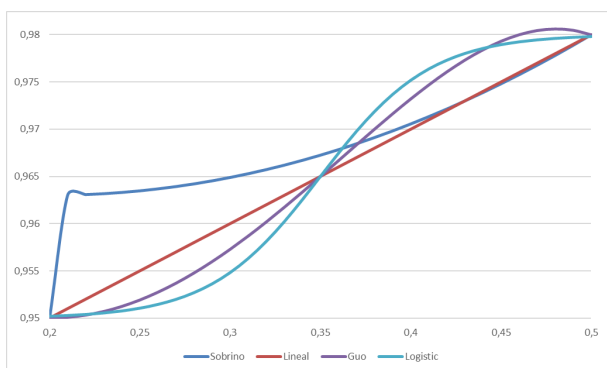


Figure 4. Emissivity vs. NDVI

- Estimate nighttime LST using the emissivity obtained in the previous steps and compare the results with the LST obtained by means of the standard methodology (based on the summer NDVI). These results are contrasted for impervious areas where there is abundant deciduous tree vegetation. And they will also be contrasted with images of the night LST (in summer) of the Barcelona area obtained by airborne sensors with high spatial resolution.
- Once the nighttime LST is obtained, the comparison with the daytime LST allows the construction of a set of nocturnal cooling models, which, potentially, can be extrapolated to other similar climatic situations (Arellano & Roca, 2020). These models of night "cooling" (contrasting the day and night images of the LST) are obtained by means of multiple regression analysis, using as explanatory variables, in addition to the physical characteristics of the territory (longitude, latitude, altitude, distance to the sea, slope, orientation), the characteristics derived from artificialization (NDVI, NDBI, imperviousness, albedo, land covers, land use derived from urban planning).

3. RESULTS

In order to proceed with the analysis of the day and night LST, the Landsat8 images relative to the month of August 2015 have been used (8/3, 8/28). In order to obtain a completely cloud-free image of the study area, the night thermal images of 8/28 and 9/13 were combined (figure 5).

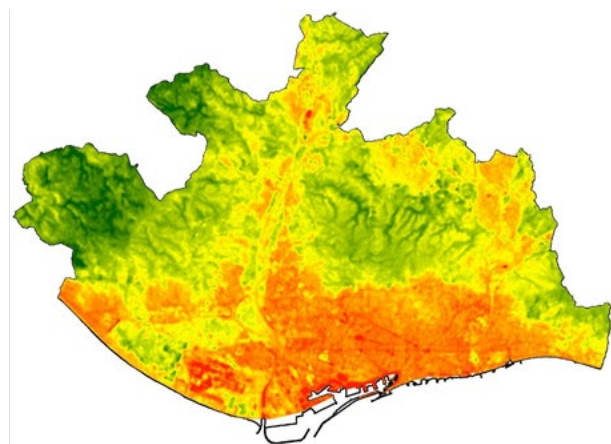


Figure 5. Band 10 (thermal). Nighttime August 2015

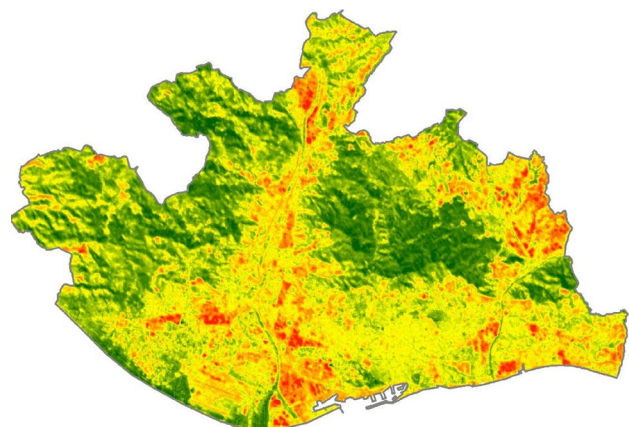


Figure 6. Daytime LST. August 2015

Daytime LST (figure 6) was obtained by the traditional method (Sobrino *et al.* 2008) based on the NDVI of the date of obtaining the Landsat images (summer NDVI). As can be seen, the daytime UHI of the MBA is not very accentuated. Although the forest areas (Collserola Park) are clearly cooler than the urbanized areas, and that the industrial land highlights for its high temperatures, the urban center of Barcelona is not particularly hot, due to the cooling resulting from the proximity to the sea. The UHI reaches 3.4 degrees, reaching the LST of the urbanized area 36.76 compared to 33.36 of the rural area.

Figure 7 shows the result of obtaining the nocturnal LST for the month of August by means of the traditional method, based on the summer NDVI. As can be seen, the UHI of the MAB appears with great clarity. Despite the greater clarity of the spatial distribution of the UHI, the LST gradient between the urbanized and rural areas is reduced to 2.59 degrees Celsius.

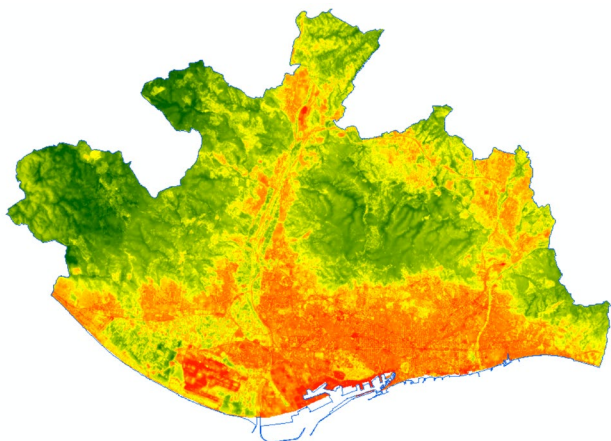


Figure 7. Nighttime LST (using summer NDVI) August 2015

For its part, figure 8 shows the result of obtaining nighttime LST of the MAB by calculating the emissivity developed by Guo *et al.* (2020) as well as by means of the degree of vegetation obtained by the winter NDVI. The sharpness of the nocturnal UHI is even more pronounced, since urban covers tend to have less cooling than in the standard method (passing the mean LST from 23.89° to 24.10°), unlike rural covers that cool to a greater extent (from 21.30° to 21.23°).

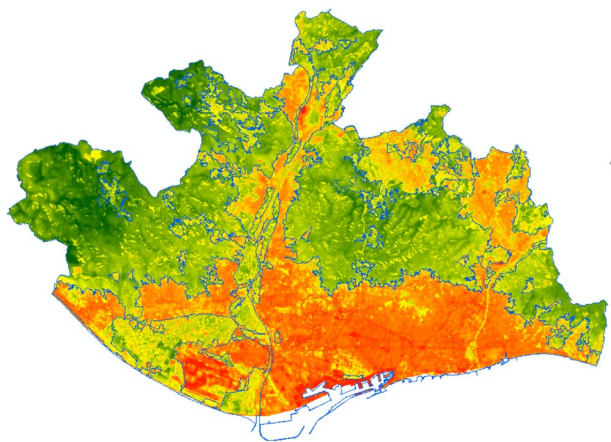


Figure 8. Nighttime LST (using winter NDVI) summer 2015 (blue line shows artificialized land)

Table n. 1 shows the Pearson correlations between the day and night LSTs with the geographic and urban variables. Night LST

has a greater correlation with winter NDVI ($R=-0.860$), in contrast to the day LST, which maintains a higher correlation with summer NDVI ($R=-0.750$). Regarding the geographical variables, both longitude (+) and altitude-DTM (-) have a higher correlation with the nighttime LST than with the daytime LST. Both latitude and distance to the sea invert the sign between the day LST (+) and the night LST (-). Greater presence of water confirms a greater cooling capacity during the day (-0.539) than at night (-0.351). In the opposite direction, greater soil waterproofing (impervious) shows a greater correlation with the LST at night (0.748) than during the day (0.467).

		LST_night_2015	LST_day_2015
NDVI_L8_20150201	Pearson	-.860	-.554
NDVI_20150803	Pearson	-.772	-.750
long	Pearson	,511	,193
Lat	Pearson	-.024	,177
Dist_coast	Pearson	-.381	,070
Water	Pearson	,351	,539
NDBI	Pearson	,572	,737
ALBEDO	Pearson	,613	,667
IMPERVIOUS	Pearson	,748	,467
DTM	Pearson	-.701	-.498
Orientation	Pearson	-.039	-.064
Slope	Pearson	-.553	-.558
CLC18	Pearson	,833	,768
Planning	Pearson	,736	,564

Table 1. LST vs. NDVI

3.1- Daytime Urban Heat Island

The development of the OLS models allows us to approach the exercise of changing the native Landsat 100 meter / pixel scale to a real scale of 30 meters. These models can serve to understand the factors that determine the spatial distribution of the LST, as well as to visualize the UHI more clearly.

The hybrid model (table 2, figure 9) raises the explanatory power to 82.2% of the spatial variation of the daytime LST, with longitude, altitude, NDVI, impervious, orientation and slope (-), latitude, NDBI and albedo (+), and urban planning as land covers (CLC18) as variables statistically significant. The "wrong" sign for albedo and impervious is due to their high collinearity with the NDVI.

Model	R	R square	Adjusted R2	Standard error
1	,907	,822	,822	1,420840741

Model	B	Desv. Error	Beta	t	Sig.
1					
(Constant)	-464,217	3,945		-117,673	,000
NDVI_20150803	-5,451	,031	-.266	-173,467	,000
long	-8,211E-5	,000	-.200	-92,868	,000
Latitud	,000	,000	,251	119,866	,000
Dist_coast	6,463E-5	,000	,110	53,349	,000
Water	,905	,022	,036	41,444	,000
Artificial	-.437	,005	-.065	-81,327	,000
NDBI	6,596	,039	,252	169,119	,000
ALBEDO	10,175	,087	,098	116,958	,000
IMPERM	-.009	,000	-.092	-108,407	,000
DTM_MAB	-.003	,000	-.126	-140,626	,000
Orientation_MAB	,000	,000	-.009	-17,980	,000
Slope_MAB	-.035	,000	-.100	-140,726	,000
CLC18	,461	,001	,353	406,761	,000
Planning	,076	,001	,043	57,689	,000

Table 2. Daytime LST hybrid model

In the hybrid model, CLC 2018 reaches a higher explanatory level of the spatial variation of the LST ($t = 406.761$). Non-irrigated arable land (39.94°), industrial and commercial units (38.99°), roads and rail networks (38.34°) and airports (37.48°) are the hottest covers. On the other hand, coastal lagoons and estuaries (30.26°), broad-leaved forest (30.36°), mixed forest (31.47°), and coniferous forest (31.62°) are the coolest covers. Continuous urban fabric (36.05°) reaches a temperature higher than the average for the entire MAB (34.96°), slightly above discontinuous urban fabric (35.73°). Single family homes (35.15°), reach a temperature slightly cooler than historic centers (35.97°) and compact residential areas (36.12°).

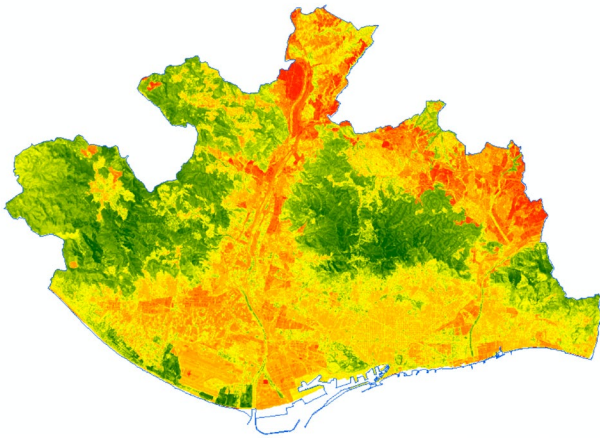


Figure 9. Daytime LST (hybrid model)

The segmented model (table 3, figure 10) by land artificialization (rural vs. urban) obtains an R^2 of 0.839. In rural land, the most significant variables are Corine Land Covers (+), altitude (-), latitude, water and NDBI (+), and NDVI and slope (-). In urban land stand out CLC (+), NDVI and slope (-), distance to the coast and NDBI (+) and impervious (-). As in the hybrid model, the "wrong" sign for albedo and impervious is due to their high collinearity with the NDVI.

Model	R	R square	Adjusted R2	Standard error
1	,916	,839	,839	1,353067608

Artificial Model	B	Desv. Error	Beta	t	Sig.	
Rural	(Constant term)	-635,765	5,440	-116,861	,000	
	NDVI_20150803	-5,018	,043	-,196	-,117,682	,000
	long	,000	,000	-,276	-,97,551	,000
	Latitud	,000	,000	,369	119,629	,000
	Dist_coast	-6,852E-6	,000	-,011	-,4,217	,000
	Water	4,033	,034	,163	119,126	,000
	NDBI	6,520	,055	,246	118,049	,000
	ALBEDO	12,870	,173	,098	74,278	,000
	Impervious	-,001	,000	-,002	-,2,227	,026
	DTM_MAB	-,004	,000	-,187	-,163,531	,000
	Orientation_MAB	-,001	,000	-,018	-,25,491	,000
	Slope_MAB	-,029	,000	-,087	-,101,269	,000
	CLC18	,320	,001	,227	224,428	,000
	Planning	,003	,002	,001	1,610	,107
Urban	(Constant term)	-155,328	5,828	-26,653	,000	
	NDVI_20150803	-5,839	,044	-,309	-,131,295	,000
	long	-6,458E-6	,000	-,019	-,4,368	,000
	Latitud	3,755E-5	,000	,111	26,753	,000
	Dist_coast	,000	,000	,454	96,656	,000
	Water	-1,112	,029	-,053	-,38,221	,000
	NDBI	4,590	,052	,185	88,774	,000
	ALBEDO	4,666	,097	,059	47,987	,000
	Impervious	-,006	,000	-,093	-,62,787	,000
	DTM_MAB	-,002	,000	-,062	-,44,060	,000
	Orientation_MAB	-2,864E-5	,000	-,001	-,1,094	,274
	Slope_MAB	-,054	,000	-,144	-,126,161	,000
	CLC18	,516	,002	,322	266,663	,000
	Planning	,112	,002	,082	68,540	,000

Table 3. Daytime LST segmented model

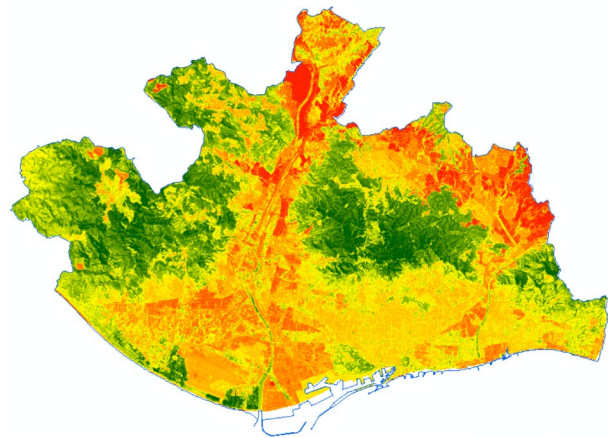


Figure 10. Daytime LST (segmented model)

3.2- Nighttime Urban Heat Island

The construction of the hybrid OLS model of nighttime LST (table 4, figure 11), allows to explain 88.9% of the spatial distribution of LST at night, with NDVI (-) as main explanatory variable. Next, the geographical variables stand out: altitude (-), longitude (+), latitude (-), distance to the coast (+) and slope (+). The rest of the variables are also significant and appear with the correct sign, highlighting impervious (+).

Hybrid Model	R	R square	Adjusted R2	Standard error
1	,943	,889	,889	,6331032717

Model	B	Desv. Error	Beta	t	Sig.	
1	(Constant term)	304,5163820	1,783	170,748	,000	
	NDVI_L8_20150201	-4,53342396	,007	-,467	-,637,318	,000
	longitude	,00007672	,000	,331	192,243	,000
	Latitude	-,00006891	,000	-,272	-,162,741	,000
	Dist_coast	,00005527	,000	,166	101,947	,000
	Water	,33711439	,009	,024	38,023	,000
	Artificial	,65717704	,004	,172	181,989	,000
	NDBI	,16382397	,012	,011	13,952	,000
	ALBEDO	-,83635486	,037	-,014	-,22,803	,000
	Impervious	,00454960	,000	,087	125,581	,000
	altitude	-,00284868	,000	-,198	-,283,655	,000
	Orientation	-,00017752	,000	-,009	-,22,301	,000
	Slope	,01295113	,000	,066	119,062	,000
	CLC18	,07533048	,001	,063	52,330	,000
	Planning	,04360114	,001	,028	41,138	,000

Table 4. Nighttime LST hybrid model

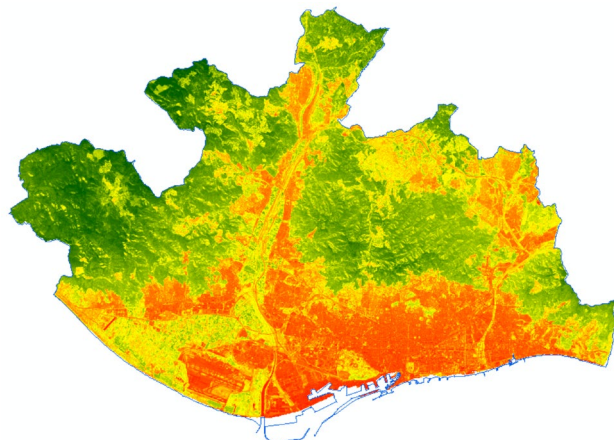


Figure 11. Nighttime LST (hybrid model)

During the night the port (26.09°), airport (25.07°), continuous urban fabric (24.95°), the land closest to the sea (24.76°) and the industrial areas (24.31°) are the hottest covers. In contrast, mixed forestry (20.14°), dump sites (20.30°), inland marshes (20.58°), land with abundant vegetation (20.78°) and broad-leaved forest (20.98°) are the coolest covers. Discontinuous urban fabric area (23.36°) is about 1.5 degrees cooler than the compact city, although higher than the average temperature of the MAB (22.57°). Single-family homes (22.52°), reach a temperature slightly lower than the metropolitan average, and are more than 2.5° cooler than the compact central city (25.05°), historical centers (24.90°), and even residential areas of medium density and open buildings (24.47°).

The segmented model by land artificialization (rural vs. urban) obtains an R² of 0.899 (table 5, figure 12), with all significant variables, among which stand out NDVI (-), both in rural and urban land. Altitude (-), longitude (+), slope (+) and latitude (-) in rural land. And altitude (-), longitude (+) and latitude (-) in urban land. The "wrong" sign of NDBI in urban land cover is due to their high collinearity with the NDVI.

Segmented Model	R	R square	Adjusted R2	Standar error
1	,948	,899	,899	,6036798364

Artificial	Segmented Model	B	Dev. Error	Beta	t	Sig.
Rural	(Constant)	389,5111910	2,278		171,020	,000
	NDVI_L8_20150201	-3,85688798	,008	-,481	-467,888	,000
	longitude	,00009242	,000	,663	195,048	,000
	Latitude	-,00008956	,000	-,614	-166,812	,000
	Dist_coast	,00009907	,000	,473	148,123	,000
	Water	-,03490336	,013	-,004	-2,750	,006
	NDBI	,57059778	,015	,062	38,926	,000
	ALBEDO	4,64563846	,072	,101	64,721	,000
	Impervious	,01131545	,000	,084	97,100	,000
	Altitude	-,00227513	,000	-,281	-207,752	,000
	Orientation_MAB	,00004238	,000	,004	4,482	,000
	Slope_MAB	,02216154	,000	,191	185,200	,000
	CLC18	,06748914	,002	,038	31,940	,000
	Planning	,11616939	,002	,072	74,336	,000
Urban	(Constant)	261,4911476	2,816		92,864	,000
	NDVI_L8_20150201	-5,36792521	,013	-,595	-426,984	,000
	longitude	,00006721	,000	,347	93,980	,000
	Latitude	-,00005813	,000	-,302	-85,844	,000
	Dist_coast	,00002965	,000	,125	31,421	,000
	Water	,50056392	,013	,042	39,769	,000
	NDBI	-,81315729	,019	-,058	-43,941	,000
	ALBEDO	-2,54764975	,045	-,057	-56,715	,000
	Impervious	,00222787	,000	,062	47,612	,000
	Altitude	-,00369979	,000	-,211	-177,722	,000
	Orientation_MAB	-,00016233	,000	-,011	-12,914	,000
	Slope_MAB	-,00293198	,000	-,014	-14,352	,000
	CLC18	,08856023	,002	,049	45,944	,000
	Planning	-,00575962	,001	-,004	-4,083	,000

Table 5. Nighttime LST segmented model

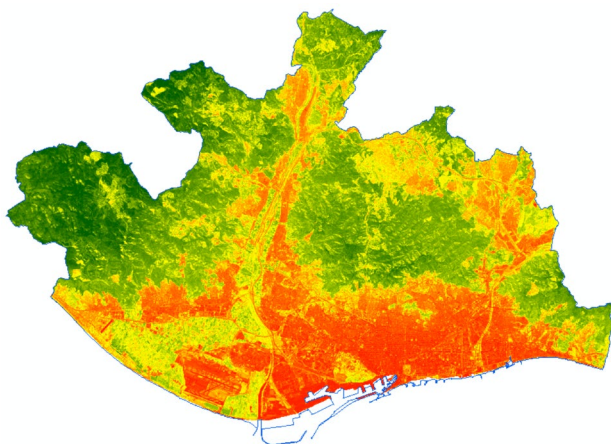


Figure 11. Nighttime LST (degmented model)

4. DISCUSSION

The comparison between the LST resulting from the application of the standard method (obtaining the PV with the summer NDVI and the emissivity with the PV suggested by Sobrino *et al.* 2008) with the one resulting from the application of the method proposed in this paper (using the Winter NDVI and emissivity with the methodology proposed by Guo *et al.* 2020) shows an open contradiction in the road space (figure 12).

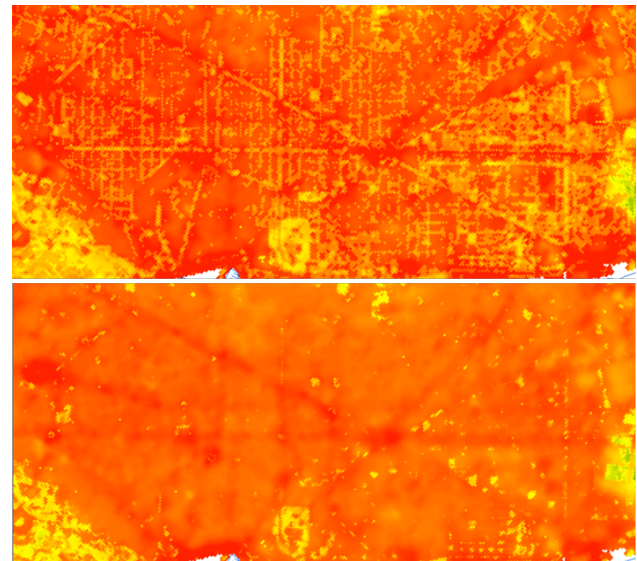


Figure 12. Standard vs. new method to obtain nighttime LST

The LST of the streets (and also, partially, of the urban parks) appears clearly cooler than the real one when the standard method is applied. The tree canopy, which during the day represents an important factor in reducing incoming solar radiation, does not have any positive factor in reducing nighttime temperatures. However, when correcting the thermal band of Landsat 8 by means of the summer NDVI (with the treetops in all their splendor) the application of the traditional method represents an excessive cooling of the street surfaces, characterized by materials (asphalt and concrete) that accumulate a lot of heat throughout the hours of solar radiation.

In order to contrast the hypothesis that the winter NDVI represents a better alternative to determine the land emissivity and, consequently, the LST, the results of applying the standard and the new methodology have been compared in relation to an image provided by Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC, <https://www.icgc.cat/en/>). This is the LST was obtained by a flight carried out on September 26, 2014, and despite being from a previous year, it accurately represents the temperature of the land covers at the end of summer, when deciduous trees existing on the streets of Barcelona have not yet lost their leaves.

The thermal images were obtained between 0:47 and 1:52 local time by an airborne TASI sensor. The spectral window covered by the TASI sensor covers the most significant part of the Thermal InfraRed (TIR) and allows the retrieval of quantitative information on the temperature of the observed cover and its chemical composition. In the case of TIR acquisitions, the temperature parameter and the emissivity spectrum are coupled when determining the amount of thermal radiation emitted by the observed cover reaching the sensor. The spectral window covered by the TASI sensor covers the most significant part of

the Thermal InfraRed (TIR) and allows the retrieval of quantitative information on the temperature of the observed cover and its chemical composition. In the case of TIR acquisitions, the temperature parameter and the emissivity spectrum are coupled when determining the amount of thermal radiation emitted by the observed cover reaching the sensor. The quantitative recovery of the absolute temperature parameter, key for different applications, goes through an additional process of atmospheric correction (ModTran5.0 code with simultaneous radiosounding in flight) and decoupling of the emissivity spectrum called TES (Temperature and Emissivity Separation). The TES result is an absolute temperature value and a vector of 32 emissivities for each pixel in the image. The spatial resolution is 4 meters/pixel, and the spectral resolution is 16 bits. Figure 13 shows the LST obtained in the center of Barcelona (Eixample district).

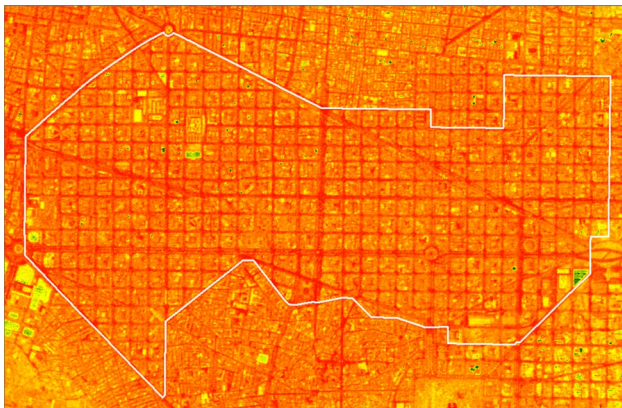


Figure 13. LST September 2014 (ICGC)

As can be seen, the LST of the ICGC is more similar to the LST obtained through the new methodology than with the standard methodology based on the summer NDVI. Despite the fact that the correlations obtained are very low, given the very different spatial resolution of the analyzed images (4 meters in the TASI sensor image and 100 meters in the Landsat 8 thermal band), the image obtained with the methodology proposed in this paper achieves a higher Pearson correlation (0.190) than the image obtained by the standard methodology (-0.038). The negative sign of the correlation clearly shows the inadequacy of the application of the summer NDVI to obtain nocturnal LST. This inadequacy is especially evident in the case of the streets. The streets obtain, in the standard methodology, an LST 20.2% cooler than the average of the Eixample district, while in the thermal image of the ICGC they have an LST 4.7% warmer than the average. With the new methodology, the LST obtained in the streets of Eixample is 0.3% higher than the district average.

The inadequacy of obtaining the nighttime LST of tree-lined streets by means of the summer NDVI is also deduced from the information obtained in situ by means of thermal camera. Field studies carried out in Barcelona Metropolitan Area confirm that the LST of the asphalt of the roads and the concrete of the sidewalks of the streets maintain a high temperature at night, regardless of being or not under the treetops. Table n. 6 shows the temperature obtained by means of a (calibrated) thermal camera of different materials in a sample of 5 study areas in the urban continuum of Viladecans-Gavà-Castelledefels (MAB). The table shows, for daytime and nighttime field measurements, the daytime and nighttime air temperatures, as well as the land surface temperatures for asphalt, concrete, bare soil, grass and rubber, differentiating whether the materials were exposed.

directly to solar radiation, in the shade or if the measurements were taken at night.

		Riera S. Climent	Torrent Ballester	Torre Lluç	Muntanyeta	Tallanaires	MEAN	Ratio
Air Temp.	Day	33,00	33,43	31,85	35,42	34,36	33,61	
	Night	22,26	25,50	25,11	27,96	28,33	25,83	
Mean Measures	Sun	49,49	52,80	49,64	52,93	52,66	51,50	
	Shadow	34,72	37,54	38,98	37,98	40,30	37,90	
Asphalt	Night	24,87	29,17	28,90	31,22	32,04	29,24	
	Sun	52,81	55,11	53,09	56,29	55,11	54,48	1,06
Concrete	Shadow	36,19	39,73	40,78	40,78	44,20	40,34	1,06
	Night	26,94	30,06	29,41	33,16	34,05	30,72	1,05
Bare Soil	Sun	50,39	53,03	47,71	52,61	53,21	51,39	1,00
	Shadow	34,26	35,76	37,73	37,44	39,78	36,99	0,98
Grass	Night	26,22	30,21	29,26	31,36	33,00	30,01	1,03
	Sun	49,81	52,65	46,67	54,43	52,88	51,29	1,00
Rubber	Shadow	34,68	38,90	38,67	37,58	38,83	37,73	1,00
	Night	21,51	25,57	26,80	28,70	29,7	26,46	0,90
Asphalt	Sun	35,67	38,90		39,26	42,4	39,06	0,76
	Shadow	30,40	31,65	29,70	30,24	31,18	30,63	0,81
Concrete	Night	18,87	25,65	23,00	24,60	26,12	23,65	0,81
	Sun	59,30	70,40	54,10			61,27	1,19
Bare Soil	Shadow	36,10	39,30	37,40			37,60	0,99
	Night	22,25	25,70	26,60			24,85	0,85

Table 6. LST of different materials in public space

The study was carried out in a heat wave episode, with an average air temperature of 33.61 degrees during daytime and 25.83 at night field measurements. As can be seen in the table, asphalt and concrete maintain high radiant temperatures during the night, 5% and 3% higher than the average of all measurements. The bare soil, hot during the hours of sunlight (ratio = 1), cooled significantly during the night (ratio = 0.90). Vegetated soil (grass) is always cooler than the average of field measurements: between 24% during the day (on surfaces exposed to the sun) and 19% at night. And rubber, very hot during the day (ratio = 1.19), gets very cold at night (ratio = 0.85).

The field measurements confirm the results obtained in the analysis of the image of land surface temperature from the TASI sensor: the dominant materials in the streets (asphalt and concrete) have a higher thermal inertia than the rest of the materials, which determines a higher nocturnal LST (between 3% and 5%). Therefore, it is necessary to modify, especially in the case of night thermal images obtained at lower resolution, the standard methodology consisting of determining the summer emissivity of the land (and therefore the LST) as a function of the summer NDVI.

In the same way that it is necessary to modify the emissivity in the case of water bodies (which have a very low NDVI), it is necessary to estimate the summer emissivity of streets (and, in general, of wooded surfaces) based on the true vegetation existing at ground level. Not at tree canopy. Unfortunately, the information on the impervious soil surface provided by Copernicus (EEA, 2016) is not reliable, since it also considers the summer NDVI to estimate the impervious degree. The solution proposed in this paper (use winter NDVI to identify real vegetation at ground level) is a step in this direction. But still insufficient. Obtaining soil emissivity at night continues to be a pending challenge.

5. CONCLUSIONS

The analysis carried out in this paper has highlighted the limitations of the standard methodology for obtaining the summer nighttime LST from the emissivity estimated by NDVI of the same summer season. The spring-summer NDVI overestimates the true extent of vegetation at ground level. The shadow projected on the ground by the tree canopy during the day, cool certainly land surface temperature (and air temperature). But during the night this beneficial effect

disappears almost completely, as the impermeable soil radiates the heat accumulated during the hours of sunlight. The comparison between nighttime LST obtained by the standard methodology with the ICGC high resolution thermal image confirms that this methodology does not allow the reproduction of the summer night LST with an adequate level of precision, especially in areas characterized by deciduous trees.

It is therefore necessary to promote a profound modification of the standard methodology to estimate nocturnal emissivity. In this work, it has been proposed to replace the summer NDVI with the winter one, as the latter more adequately reflects the degree of vegetation at the ground level. Comparison of the results obtained by this approach with the ICGC image confirms a better performance. However, the knowledge of the nocturnal emissivity at the native resolution of the thermal bands of Landsat 8 continues to be a pending challenge. It is necessary to deepen the study of the nocturnal emissivity of the vegetation (when the evapotranspiration of the plants almost completely disappears), especially on warm nights with high ambient humidity. It is also necessary to know in greater detail the imperviousness of the land, a key aspect to establish the effect of humidity on the transmission of heat.

The day and night OLS models developed in this work allow us to be optimistic about the possibilities of replicating these models in other similar climatic situations, in which there are no night thermal images. The scarcity of such images at a medium / high resolution, such as that of Landsat 8, can perhaps be compensated with the application of the cooling models developed. The combination of the MODIS and Sentinel 3 nighttime LST images, with those cooling models, opens a significant path that must be explored.

In any case, the OLS models allow a more precise and detailed visualization of the UHI during the day and at night. As well as better understanding the causes of the structure of the spatial distribution of the LST.

ACKNOWLEDGEMENTS

Thanks to the Ministry of Economy and Competitiveness of Spain (MINECO) and the European Regional Development Fund (ERDF) that financed the project Extreme Spatial and Urban Planning Tool for Episodes of Heat Waves and Flash Floods. Building resilience for cities and regions (X-ClimPlan).

Thanks, also, to the Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya for providing us with a detailed image of the Barcelona LST at the end of summer 2014.

REFERENCES

Àrea Metropolitana de Barcelona, 2015: La Isla de Calor Urbano en el Àrea Metropolitana de Barcelona y la adaptación al Cambio Climático. AMB, 2015.

Arellano, B. and Roca, J., 2019a: Multi-scale approach to quantify the influence of urban green spaces on urban climate. *Proc. SPIE 11127*, Earth Observing Systems XXIV, 111272E.

Arellano, B. and Roca, J., 2019b: Combining different sensors for the detailed analysis of the daytime and nighttime UHI.

Proc. SPIE 11157, Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments IV, 1115703.

Arellano, B. and Roca, J., 2020: Urban landscapes and night time Urban Heat Island. *Proc. of SPIE 11535*, Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments V 1153504.

European Environment Agency (EEA), 2016: *Copernicus Land Monitoring Service – High Resolution Layer Imperviousness Product Specifications*.

Guo, J., Ren, H., Zheng, Y., Lu, S. and Dong, J., 2020: Evaluation of Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 8/TIRS Images before and after Stray Light Correction Using the SURFRAD Dataset. *Remote Sensing*, 12, 1023.

Martin-Vide, J. & Moreno-García, M.C., 2020: Probability values for the intensity of Barcelona's urban heat island (Spain). *Atmospheric Research*, vol. 240, August 2020, 104877.

Oke, T.R., 1973: City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment* (1967), volume 7, Issue 8, p. 769-779.

Oke, T.R., 1987: *Boundary Layer Climates*. Second edition. Taylor & Francis.

Parsons, K., 2014: Human thermal environments. The effects of hot, moderate and cold environments on human health, comfort and performance. 3rd edition. CRC Press.

Royé, D., 2017: The effects of hot nights on mortality in Barcelona, Spain. *International Journal of Biometeorology*, vol. 61, p. 2127–2140.

Sobrino, J.A.; Jiménez-Muñoz, J.C.; Sòria, G.; Romaguera, M.; Guanter, L.; Moreno, J.; Plaza, A.; Martínez, P., 2008. Land surface emissivity retrieval from different VNIR and TIR sensors. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 46, 316–327.

Wang, Q. *et al.*, 2017. Fusion of Landsat 8 OLI and Sentinel-2 MSI Data, in *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 55, no. 7, pp. 3885-3899, July 2017.

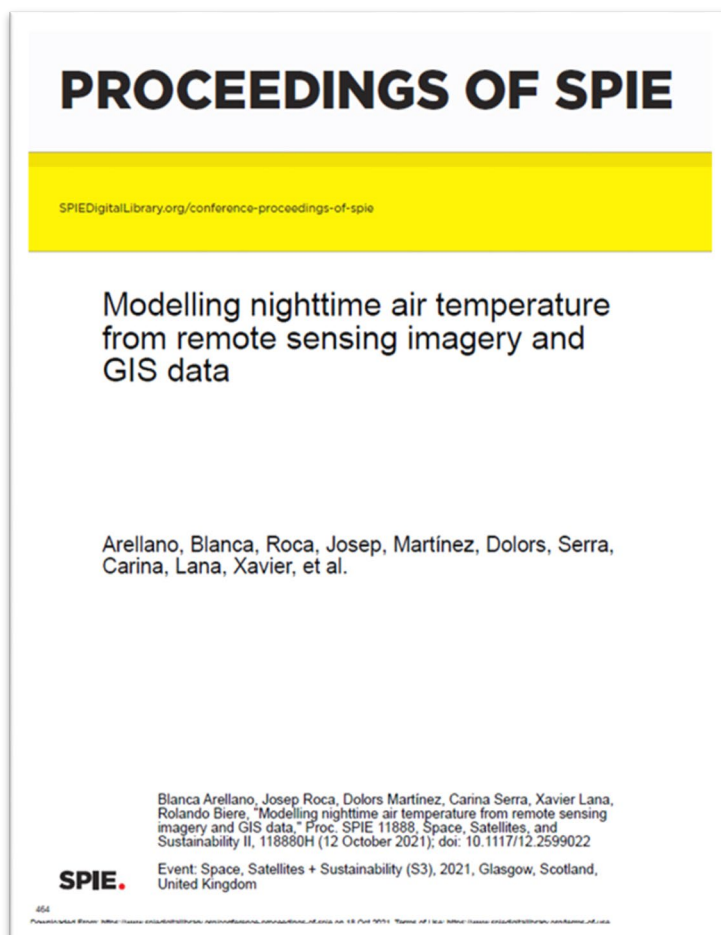
Weng, Q., Lu, D. and Schubring, J., 2004: Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 89 (4), 467-483.

Atención

Nota del Servei de Biblioteques, Publicacions i Arxius de la Universitat Politècnica de Catalunya

Las páginas 465 a 474 de la tesis, que contienen el artículo

Arellano, B. [et al.]. *Modelling nighttime air temperature from remote sensing imagery and GIS data*. A: SPIE Space, Satellites, and Sustainability. "Space, Satellites, and Sustainability II: 28-30 September 2021, Glasgow, United Kingdom". Washington: International Society for Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE), 2021, p. 1-10. ISBN 9781510646254. DOI 10.1117/12.2599022.



deben consultarse en la página web del editor

<https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/11888/118880H/Modelling-nighttime-air-temperature-from-remote-sensing-imagery-and-GIS/10.1117/12.2599022.short?SSO=1>

7

Conclusiones

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES

El presente trabajo de investigación consiste en una tesis por compendio de publicaciones, en el marco de la Normativa para la presentación de Tesis Doctorales del Programa de Doctorado de Gestión y Valoración Urbana y Arquitectónica (PD GVUA), representando la síntesis de las investigaciones desarrolladas por más de 10 años. En este periodo se ha podido participar en diversos proyectos competitivos de investigación, además de otros convenios y contratos de transferencia de tecnología, mi contribución a los cuales representa el corazón a esta tesis. Dichos proyectos han sido:

- *El proceso de urbanización en la costa mediterránea: ¿Hacia un modelo insostenible de ocupación del suelo? Un análisis retrospectivo (1956-2006) y prospectivo (2006-2026)*, financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia, SEJ2006-09630/GEOG.
- *Desarrollo de una Plataforma para el Modelado Prospectivo de los Procesos de Urbanización en las Zonas Costeras*, financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología, CSO2009-09057.
- *CLIM-CAP, Competences for sustainable city development: Qualification scheme for Climate Adaptation in Construction, Architecture and Planning*, proyecto Leonardo Multilateral para el Desarrollo de la Innovación en la Unión Europea, Ref. 540313-LLP-1-2013-1-DE-LEONARDO-LMP.
- *La isla de calor urbana: Efectos en el cambio climático y modelado para estrategias de planeamiento territorial y urbano. Aplicación a la región metropolitana de Barcelona (2016-2019)*, financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad, BIA2015-68623-R.
- *Herramienta de planificación espacial y urbana extrema para episodios de olas de calor e inundaciones repentinas. Construyendo la resiliencia para ciudades y regiones (2020-2022)*, financiado por la Agencia Estatal de Investigación, PID2019-105976RB-I00.

La tesis doctoral ha tenido por objetivo central el análisis del fenómeno de la dispersión de la urbanización llamado Urban Sprawl, a escala planetaria, partiendo de la hipótesis de que se trata de un proceso insostenible.

Además, y como objetivos específicos, se ha propuesto a) analizar y caracterizar el modelo de urbanización dispersa que representa el Urban Sprawl, mediante la revisión en la literatura especializada; b) estudiar la génesis y evolución de dicho modelo de urbanización; c) cuantificar el Urban Sprawl a partir de bases de datos de alcance local, regional y mundial, planteando el interrogante acerca de si ¿es el Sprawl un fenómeno de alcance planetario?; d) verificar la hipótesis de que en Europa, a pesar de venir caracterizada por tener una estructura metropolitana relativamente densa, existe un acusado proceso de Urban Sprawl en las periferias de las grandes ciudades, siendo por tanto compacidad y dispersión dos caras, aparentemente opuestas pero en fondo complementarias, de las metrópolis europeas; e) delimitar la “ciudad” en la era del Sprawl, definiendo los sistemas urbanos y metropolitanos a partir de criterios morfológicos, económicos y funcionales; f) desarrollar una metodología eficiente para el análisis de la estructura interna de las metrópolis, capaz de contrastar el grado de monocentrismo y de

policentrismo de los sistemas urbanos y metropolitanos y verificar, de este modo, la hipótesis de que un mayor grado de policentrismo atenúa el grado de Sprawl (**+ Policentrismo → - Sprawl**); g) aplicación de dicha metodología al análisis de casos concretos, y muy concretamente al sistema urbano español, delimitando los sistemas urbanos y metropolitanos de España, así como su grado de monocentrismo/policentrismo; h) aplicar la anterior metodología para analizar la eficiencia en el consumo de suelo de los sistemas metropolitanos de Madrid y Barcelona, Los Ángeles y Chicago, a fin de verificar la hipótesis **+ Policentrismo → - Sprawl**; i) analizar el proceso de urbanización y “consumo” de suelo (suelo impactado por la urbanización) a escala mundial, por medio del estudio de las luces nocturnas, delimitando las áreas metropolitanas y megalopolitanas a escala mundial y definiendo en las mismas los diferentes tipos de paisajes de los asentamientos humanos; j) evaluar la capacidad de las luces nocturnas para identificar las áreas urbanas (en relación a los asentamientos rurales), y muy especialmente el Urban Sprawl, así como para cuantificar la dinámica retrospectiva (y prospectiva) del proceso de urbanización (con especial atención a China); k) evaluar el comportamiento climático de los tejidos caracterizados por la dispersión de la urbanización en comparación al resto de tejidos y usos urbanos y rurales; l) de forma más específica, estudiar la Isla de Calor Urbana (UHI) y los factores que explican su distribución espacial, con especial atención a la UHI nocturna, evaluando del comportamiento climático de los diferentes tipos de cubiertas urbanas; m) estudiar los factores urbanísticos que permiten incrementar la adaptación de las ciudades al calentamiento global (GW) atendiendo principalmente a los parques urbanos como islas de frío en el contexto de la UHI; y n) analizar los efectos que tienen los eventos climáticos extremos (especialmente las olas de calor, diurnas y nocturnas) en la salud humana, así como el efecto del *urban greenery* en la atenuación de los mismos.

El trabajo de investigación doctoral ha partido de la hipótesis de que el Urban Sprawl representa un modelo de urbanización insostenible, dado que implica un proceso de ocupación del territorio que: a) dilapida un recurso escaso, el suelo; b) erosiona, fragmenta y reduce el suelo rural, los recursos naturales y, en última instancia, la matriz ecológica del territorio; c) genera una movilidad insostenible, basada principalmente en el transporte rodado privado, y caracterizada por largos recorridos tanto en los desplazamientos obligados como no obligados, elevados costes económicos, sociales y ambientales; además de generadora de emisiones contaminantes (que afectan severamente la salud), así como, y muy singularmente de CO² y otros gases de efecto invernadero; d) implica un modelo de urbanización y de construcción (fragmentada y dispersa así como de viviendas unifamiliares) que implican un enorme gasto energético en relación a las formas compactas de urbanización; e) genera desigualdad social, al fomentar la segregación social del espacio, sobre todo gracias a la difusión de las gated communities; y f) privatiza el espacio público, generando formas de vida que alejan progresivamente la ciudad de ese espacio de socialización que justifica su aparición y desarrollo.

La tesis, cuya síntesis aquí se presenta, se ha desarrollado en base a la *Normativa para la presentación de Tesis Doctorales según Compendio de Publicaciones del Programa de Doctorado de Gestión y Valoración Urbana y Arquitectónica* (PD GVUA), aprobado por la Comissió Permanent de l'Escola de Doctorat de la UPC el 19/07/2019 (Acord núm 2 CP2019/7/19), la cual establece que debe estar conformada por un mínimo de 3 publicaciones, las cuales deberán obtener un mínimo de 8 puntos, según el sistema de contaje establecido en la mencionada normativa. A tales efectos se han seleccionado las siguientes 20 contribuciones:

1. **El Urban Sprawl: ¿un fenómeno de alcance planetario? Los ejemplos de México y España.** Artículo publicado en ACE: *Architecture, City and Environment*. 2010, Año 4, núm. 12 febrero. P. 115-147.

2. **The Urban Sprawl: an overview of USA, Mexico and Spain.** Ponencia presentada y publicada en *50th ERSA¹ Congress. Sustainable Regional Growth and Development in the Creative Knowledge Economy*. 19 – 23 August 2010, Jönköping, Sweden.
3. **Urban Detection, delimitation, and Morphology: Comparative analysis of selective megacities.** Paper publicado en *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XXXIX-B7, 2012. XXII ISPRS Congress, 25 August – 01 September 2012, Melbourne, Australia.
4. **Sprawl en las metrópolis europeas: las periferias metropolitanas, ¿principal escenario de la dispersión de la urbanización en Europa?** Artículo publicado en *ACE: Architecture, City and Environment*. 2012, Año 7, núm. 20 octubre P. 95-114.
5. **El Sistema Urbano en España.** Artículo publicado en *Scripta nova*. 2012-03-20, XVI, número 396, 19 pág.
6. **La distribución del tamaño de las ciudades. La Ley de Zipf revisitada.** Artículo publicado en *Architecture, City and Environment*. 2011, Año 6, núm. 16 Junio, pp 199-222.
7. **Estructura urbana, policentrismo y sprawl: los ejemplos de Madrid y Barcelona.** Artículo publicado en *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*. 2011. Vol. XLIII, num. 168, p. 299-321.
8. **Towards a new methodology to evaluate the urban structure of the metropolitan systems: Chicago and Barcelona Metropolitan Areas as examples.** Ponencia presentada en el *51st European Regional Science Association Congress, New Challenges for European Regions and Urban Areas in a Globalised World*. 30 August – 2 September 2011, Barcelona, Spain.
9. **Monocentrism, polycentrism and environmental efficiency Chicago and Los Angeles Metropolitan Areas as examples.** Ponencia presentada en el *52nd ERSA Congress. Regions in Motion – Breaking the Path*. 21 – 25 August 2012, Bratislava, Slovakia.
10. **Las megaestructuras urbanas del siglo XXI: un ensayo para la identificación y caracterización de las megalópolis.** Artículo publicado en *Architecture, City and Environment*. 2014, 9 (25): 127-158, 2014. Doi: 10.5821/ace.9.25.3963.
11. **Landscapes impacted by light.** Artículo publicado en *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLI-B8, 2016, resultante de una ponencia presentada en el XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic.
12. **Defining urban and rural areas: a new approach.** Ponencia presentada en el congreso de SPIE Remote Sensing, 2017, Warsaw, Poland, y publicado en *Proc. SPIE 10431, Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments II, 104310E* (4 October 2017).
13. **The urbanization impact in China: A prospective model (1992-2025).** Ponencia presentada en el congreso SPIE Optical Engineering + Applications, 2018, San Diego,

¹ European Regional Science Association (ERSA).

California, United States y publicado en Proc. SPIE 10767, Remote Sensing and Modeling of Ecosystems for Sustainability XV, 107670A (18 September 2018).

14. **Delimitation of urban systems by Luoja 1-01 night-time light imagery.** Artículo publicado en *Proc. SPIE 11157, Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments IV*, 111570H (2 October 2019).
15. **Can nighttime imagery identify urban sprawl?** Ponencia presentada en el congreso SPIE Optical Engineering + Applications, 2020 (online), y publicada en *Proc. SPIE 11501, Earth Observing Systems XXV*, 115010S (20 August 2020).
16. **Identifying urban sprawl by night lights: a pending issue.** Ponencia presentada en el congreso SPIE Remote Sensing, 2020 (online), y publicada en *Proc. SPIE 11535, Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments V*, 115350H (20 September 2020).
17. **Identifying Urban Heat Island. The Barcelona Case.** Ponencia presentada en International Conference Virtual City and Territory - 11th Congress Virtual City and Territory, Krakow, 6-8 July 2016 y publicada en *Back to the Sense of the City: International Monograph Book* (pp. 798-812). Centre de Política de Sòl i Valoracions (UPC).
18. **Green areas and urban heat island: Combining remote sensed data with ground observations.** Ponencia presentada en el congreso SPIE Optical Engineering + Applications, 2018, San Diego, California, United States y publicada en *Proceedings Volume 10767, Remote Sensing and Modeling of Ecosystems for Sustainability XV; 1076705* (2018).
19. **Remote Sensing and nighttime Urban Heat Island.** Ponencia presentada en el XXIV ISPRS Congress (2021 edition), y publicada en *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLIII-B3-2021, 15-22.
20. **Modelling nighttime air temperature from remote sensing imagery and GIS data.** Ponencia presentada en el congreso Space, Satellites + Sustainability (S3), 2021, Glasgow, Scotland, United Kingdom, y publicada en *Proc. SPIE 11888, Space, Satellites, and Sustainability II*, 118880H (2021).

Dichas contribuciones han aportado un total de 45 puntos según la Normativa para la presentación de Tesis Doctorales según Compendio de Publicaciones del Programa de Doctorado de Gestión y Valoración Urbana y Arquitectónica.

La investigación realizada ha demostrado, en el *Capítulo II de la tesis*, que lo que inicialmente era un modo de asentamiento enraizado con la cultura de buena parte de las civilizaciones humanas (Europa septentrional y oriental, pueblos indígenas de América y África, etc.) y que representó, a principios del siglo XX una forma de *urbanismo vernáculo* (cuya forma más acabada representó la Garden City), se ha convertido, especialmente a partir de la década de los 70 de la pasada centuria, en *International Style*, esto es, en tendencia generalizada a escala global.

La primera aportación seleccionada (*El Urban Sprawl: ¿un fenómeno de alcance planetario? Los ejemplos de México y España*, artículo publicado en ACE: Architecture, City and Environment. 2010, 4-12) muestra como el origen del Urban Sprawl se encuentra, en primera instancia, estrechamente vinculado con la generalización en Europa y en el conjunto de América, de una visión banal del “american dream” basado en el lema “una casa, un coche”. Dicho imaginario, acentuado después de la Segunda Guerra Mundial, exacerbó los procesos de suburbanización que desde finales del siglo XIX se estaban produciendo en EE.UU. y Europa. La crisis del petróleo de los años 70 y la caída del modelo fordista de economía, lejos de representar un freno en el proceso de colonización del suelo rural que representaba el Sprawl, implicó un nuevo impulso al proceso de dispersión de la urbanización. Su generalización, primero a Japón, Europa y al resto de América, luego al mundo entero, especialmente a China e India, fruto de los procesos de globalización de la economía experimentados, representó un paso adelante en la confirmación del Urban Sprawl como modelo de urbanización a escala planetaria.

El artículo publicado en ACE estudia, por tanto, la génesis y evolución de dicho modelo de urbanización, intentando cuantificar el Urban Sprawl a escala mundial, planteando el interrogante acerca de si el Sprawl es un fenómeno de alcance planetario. Se interroga acerca de si el proceso de Urban Sprawl se limita fundamentalmente al mundo desarrollado o si, por el contrario, se trata de una tendencia de carácter mundial. Si el fenómeno de la dispersión de la urbanización es algo específico de las sociedades avanzadas, económicamente fuertes, o si es una tendencia de alcance mundial que desborda a los países desarrollados.

La aportación sugiere que desde mediados del siglo pasado parece apuntarse en Europa una convergencia entre los dos grandes modelos de urbanización históricamente heredados: el modelo denso y compacto, propio del mundo mediterráneo y el modelo mayormente disperso que caracterizó el desarrollo de los asentamientos humanos del centro y el norte de Europa. Convergencia en la que el consumo creciente de ese recurso escaso que es el suelo se convierte en fenómeno dominante. Y en el que el Sprawl, antes confinado a unos pocos países desarrollados, especialmente de influencia anglosajona, se expande (como forma tendencialmente universal de desarrollo urbano) a territorios menos desarrollados.

La segunda mitad del siglo XX ha sido, sin duda, la época en que se ha producido un mayor desarrollo de la urbanización a escala planetaria. Según las Naciones Unidas (United Nations, 2012)² la población humana ha pasado, entre 1950 y 2000, de 2.532 a 6.123 millones de personas, un crecimiento del 141,79%. Crecimiento de la población que ha seguido desarrollándose en lo que llevamos de siglo XXI: según la web del Census Bureau de los EEUU, la población mundial a 10 de julio de 2022 ascendía a 7.907.409.000 habitantes, un 29% más que en 2000³. Y que seguirá haciéndolo como mínimo hasta 2050, donde la población mundial alcanzará 9,77 miles de millones habitantes, según estimación de las Naciones Unidas⁴. Sin embargo, población y urbanización (entendida como población urbana) han tenido un comportamiento diferenciado. El crecimiento de la población que vive en ciudades ha aumentado de forma “exponencial”, a diferencia del crecimiento “lineal” experimentado por la población total a lo largo de los últimos decenios. Así en 2.000, 2.859 millones de personas habitaban en áreas urbanizadas, frente a 745 millones en 1950 y los 215 de 1900. La población urbana, por tanto, habría pasado de representar un 13% de la población mundial al iniciarse el siglo XX a situarse en el 29,4% en 1950, hasta el 46,7% al acabar la anterior centuria. Crecimiento

² United Nations Population (2012): *World Urbanization Prospects: The 2011 Revision*. United Nations Population Division.

³ <https://www.census.gov/popclock/>.

⁴ United Nations Population (2019): *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*. United Nations Population Division.

de la población urbana que no parece vaya a detenerse en los próximos años, ya que las Naciones Unidas³ estiman que la proporción de población urbana alcanzó ya en 2018 el 55,3% y que a mediados de siglo XXI se alcanzarán los 6.680 millones de personas habitando en zonas urbanas, representando más del 70% de la población mundial.

En este contexto, el crecimiento del desarrollo urbano ha superado ampliamente el incremento de población, confirmando el fenómeno del Urban Sprawl a escala planetaria. Utilizando la fuente de información de Demographia, entre 2007 y 2021 la población de las áreas urbanas de más de 500.000 habitantes ha crecido un 71,7%, frente a un 177% la “built-up area” de dichas aglomeraciones⁵. *El desparramamiento de la urbanización ha superado ampliamente el crecimiento demográfico de las áreas urbanas.*

La primera aportación, además de analizar el Sprawl a escala mundial, escoge como campo principal de estudio los casos de España y México. España, como ejemplo del Arco Mediterráneo, y México, como ejemplo de Iberoamérica. Confirmando de forma meridiana el progresivo proceso de Sprawl experimentado en las últimas décadas.

La segunda aportación (*The Urban Sprawl: an overview of USA, Mexico and Spain*, ponencia presentada y publicada en 50th ERSA1 Congress, 19 – 23 August 2010, Jönköping, Sweden) amplía ese estudio, analizando el proceso de consumo de suelo en la nación “madre” del Sprawl, los Estados Unidos, y busca comparar ese consumo de suelo, con el experimentado en España y México. Los resultados confirman la *gran diferencia en el consumo de suelo per cápita existente en las áreas metropolitanas de EEUU y las mexicanas o españolas*. México y España, a pesar de estar experimentando procesos acentuados de desparramamiento de la urbanización, se encuentran a una distancia “sideral” del Urban Sprawl de Estados Unidos, confirmando que, *a pesar de tratarse de un fenómeno mundial, existen distintos modelos de Sprawl*. El modelo de urbanización de los EE.UU. no puede ser generalizado como la única forma de Urban Sprawl a escala planetaria. Las bajas densidades de las áreas urbanas USA no deben ser identificadas como un modelo único de dispersión urbana. Las formas de asentamiento humano en el planeta son enormemente diversas, al partir de diferentes procesos históricos de desarrollo diferenciados entre sí. La experiencia de México y España así lo demuestra.

La tercera aportación (*Urban Detection, delimitation, and Morphology: Comparative analysis of selective megacities*, paper publicado en International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXIX-B7, 2012), ahonda en la afirmación anterior mediante el análisis de la estructura urbana de un conjunto de megaciudades a escala mundial: Tokio, México, Chicago, Nueva York, Londres, Moscú, Sao Paulo y Shanghái. En este sentido es de destacar que dicha aportación aborda, de forma pionera en el Programa de Doctorado de Gestión y Valoración Urbana y Arquitectónica, el uso de remote sensing en el análisis del consumo de suelo. La comparación entre estas megaciudades ayuda a comprender la *gran variedad de modelos de urbanización existentes a escala mundial*, y muy particularmente la diferencia de patrones de urbanización en EEUU y Europa, respecto a Iberoamérica o Rusia, así como a sugerir la *gran diferencia existente en el consumo de suelo de los centros y subcentros urbanos en relación a las periferias de las metrópolis*.

Finalmente, la cuarta aportación incluida en el Capítulo II de la tesis (*Sprawl en las metrópolis europeas: las periferias metropolitanas, ¿principal escenario de la dispersión de la urbanización*

⁵ Demographia (2021). *Demographia. World Urban Areas*. 17th Annual Edition: 202106.

en Europa?, artículo publicado en ACE: Architecture, City and Environment. 2012, 7-20) ha tenido, como principal objetivo, evaluar el proceso de Urban Sprawl en Europa. Desarrollando el discurso político territorial europeo (EEA 2006), el cual ha venido a denunciar el creciente consumo de suelo artificializado que generan los actuales procesos de dispersión urbana, el artículo publicado en ACE confirma que la tendencia progresiva hacia el consumo masivo de suelo es especialmente preocupante en las grandes metrópolis, allá donde la presión de la urbanización alcanza niveles más acusados. Utilizando datos de las Impervious Surface Areas (Elvidge et al, 2007), así como de Corine Land Cover, se contrastó la hipótesis de que es en la periferia de las grandes metrópolis europeas (> 1.000.000 habitantes) donde se producen los mayores procesos de consumo de suelo y, por tanto, un mayor nivel de Urban Sprawl. En este sentido, el estudio de la totalidad de las áreas urbanizadas europeas ha permitido ratificar la citada hipótesis, puesto que a pesar de observar un impacto decreciente de suelo artificializado per cápita en función del tamaño de la aglomeración (puesto que las economías de aglomeración determinan un *menor Sprawl de las grandes metrópolis europeas en relación a las ciudades medias y, sobre todo, pequeñas*), es en las periferias de las grandes metrópolis donde el consumo de suelo por habitante es más acusado. La explosión de la urbanización (no acompañada de un incremento equivalente de la población) demuestra como una metrópolis puede, a la vez, ser “compacta” (resultante del desarrollo histórico heredado) y estar sometida a fuertes tensiones de Urban Sprawl. Los centros, densos y compactos, pueden coexistir con las periferias dispersas y de baja densidad.

En suma, en el Capítulo II se han presentado las primeras aportaciones realizadas en el marco de la investigación de doctorado dirigidas a dar *una visión del fenómeno del Urban Sprawl a escala mundial. La conclusión del conjunto de estas aportaciones permite sustentar la hipótesis de que nos encontramos ante un fenómeno de alcance planetario, si bien existe una considerable pluralidad de procesos de urbanización en los distintos territorios*. Las aportaciones 1ª y 2ª se han concentrado en el estudio comparado entre México, España y Estados Unidos, la 3ª aportación ha permitido el análisis del Urban Sprawl en una selección de megaciudades, y, finalmente, la aportación 4ª se ha centrado en Europa, diferenciando los patrones de consumo de suelo por tipología de ciudades. *El capítulo concluye constatando de que, en Europa, el gran depredador de suelo lo constituyen las periferias metropolitanas*. Es en esas periferias donde el modelo insostenible de urbanización que es el Urban Sprawl se manifiesta de forma más acusada, revertiendo las economías de aglomeración características del fenómeno metropolitanizador.

En el *Capítulo III* se han presentado las aportaciones 5ª a 9ª que abordan la *relación existente entre la estructura urbana y el Urban Sprawl*. En esta sección se ha pretendido verificar la hipótesis de que a mayor policentrismo de las aglomeraciones urbanas, mayor eficiencia en cuanto al consumo de suelo, reduciendo el Sprawl de las mismas. Para ello se ha utilizado la herramienta, propuesta inicialmente por Smart (1974) y Coombes (1982), y desarrollada posteriormente por el Centro de Política de Suelo y Valoraciones⁶, del *valor de interacción*.

El primer trabajo (quinta aportación) representa la *aplicación generalizada del concepto de valor de interacción para el análisis del conjunto del sistema urbano y metropolitano español*; aportación que ha permitido, asimismo, evaluar el grado de monocentrismo vs. policentrismo de la totalidad de las estructuras urbanizadas de España. El segundo (sexta aportación) desarrolla una herramienta para el análisis de la estructura urbana de carácter general,

⁶ Roca, J., Marmolejo, C. & Moix, M. (2009). Urban Structure and Polycentrism: Towards a redefinition of the Sub-centre concept. *Urban Studies*, 46:13, pp. 2841–2868.

vinculada a la evaluación de la Ley de Zipf; metodología que es utilizada a fin de estimar la validez de la estructura de los sistemas urbanos obtenida mediante el valor de interacción (así como de otras metodologías alternativas). El tercer trabajo (séptima aportación) se dirige a identificar el alcance y estructura interna de los sistemas metropolitanos de Madrid y Barcelona, así como a evaluar su eficiencia desde la perspectiva del consumo de suelo; dicha aportación ha permitido contrastar la validez de la hipótesis + **Policentrismo** → - **Sprawl** en relación a las áreas metropolitanas de Madrid y Barcelona. Finalmente, el cuarto y quinto de los trabajos incluidos en este capítulo (aportaciones octava y novena), estrechamente vinculadas con la séptima aportación, presentan un esfuerzo para ampliar el campo de aplicación de la metodología del valor de interacción al análisis de estructuras urbanas tan diferentes a las españolas como son las formas de asentamiento en los EEUU de América, y más concretamente en las áreas metropolitanas de Chicago y Los Ángeles. El estudio pormenorizado de esos sistemas metropolitanos, además de intentar compararlos con el de Barcelona, busca contrastar la validez de la mencionada hipótesis de que a mayor policentrismo, menor consumo de suelo.

La 5ª aportación (*El Sistema Urbano en España*, artículo publicado en Scripta nova. 2012-03-20, XVI, n. 396) ha abordado el reto de *delimitar tanto los sistemas urbanos como su composición interior, estructurada en subsistemas articulados en torno a distintos subcentros, para el conjunto de los asentamientos humanos en España*. La metodología desarrollada, a partir del Valor de Interacción, ha permitido delimitar simultáneamente esos dos niveles de estructuración urbana: el sistema urbano-metropolitano en su conjunto y los subsistemas articulados alrededor de los subcentros, “emergentes” o “maduros”, mediante las relaciones funcionales que se establecen entre el mercado de trabajo y el de residencia. A su vez, *el concepto de valor de interacción ha posibilitado evaluar el grado de policentrismo de las ciudades*, más allá de la simple identificación de subcentros desarrollada en la literatura especializada. Y por tanto verificar, en su caso, la hipótesis de la incidencia del mismo en el consumo de suelo de las ciudades reales.

El artículo constata que la mayor parte de la literatura empírica desarrollada en el análisis del policentrismo adolece de una limitación fundamental: define los subcentros exclusivamente en virtud de la estructura de la densidad de empleo, minusvalorando lo que es el elemento esencial del policentrismo: *la generación de estructura urbana*. No basta con comprobar la existencia de irregularidades en el patrón de densidades de empleo. Es necesario, además, que dichos nodos representen auténticos elementos vertebradores de subsistemas urbanos dentro de la estructura general de la metrópolis.

El artículo parte de la hipótesis de que es posible simultáneamente definir y delimitar la “metrópoli”, a la vez que revelar su estructura interna (monocéntrica/policéntrica). Para ello propone utilizar la metodología propuesta por el CPSV basada en el Valor de Interacción. Dicha metodología permite determinar, más allá de la simple división administrativa, tres niveles en la formación de los sistemas urbanos:

- *La escala local*, delimitándose lo que se denominan *protosistemas*.
- *La escala intermedia*, que permite la identificación de los *sistemas urbanos*.
- *Y la gran escala*, que identifica a los (mal) llamados “*sistemas metropolitanos*”; esto es sistemas de sistemas.

La aplicación de la anterior metodología, a los datos suministrados por el Censo de 2001 (por desgracia el último que ofrece información del commuting residencia-trabajo de forma uniforme para toda España) permite la delimitación, a partir de los 8.106 municipios españoles,

de 1.531 protosistemas, de los cuales 218 no cumplen la condición de autocontención mínima (fijada en un 50%), lo que conduce a una delimitación definitiva de 1.314 protosistemas consolidados, que son considerados como sistemas urbanos reales. La metodología empleada permite a su vez, la comparación entre los sistemas urbanos reales de Madrid y Barcelona, demostrando la gran diferencia de escala entre los mismos. También los de Sevilla, Valencia, Bilbao, Zaragoza, Bahía de Cádiz, Málaga, Gijón-Oviedo, y Las Palmas de GC, que, por este orden, superan los 500.000 habitantes.

El trabajo sustenta la tesis de que, en 2001, había en España un total de 87 *sistemas metropolitanos* con una población superior a 50.000 habitantes (áreas metropolitanas según define la metodología del US Census Bureau). Junto a esos 87 sistemas metropolitanos, aparecían un total de 130 *áreas micropolitanas* (con una población superior a 10.000 habitantes), así como otros 515 sistemas urbanos de menor población.

Finalmente, y esto es lo que tiene más relevancia en esta tesis dedicada al análisis del Urban Sprawl, *se analiza en detalle el grado de policentrismo/monocentrismo del Sistema Urbano Español*. Para ello se construye un indicador de complejidad, como es la *entropía de sistemas urbanos de cada sistema metropolitano*. Más entropía, representa un mayor nivel de policentrismo. Menos entropía, un mayor grado de monocentrismo. Se establece así una categorización de los sistemas metropolitanos que permite evaluar la tesis + **Policentrismo** → - **Sprawl**.

Las principales aportaciones de la quinta contribución consisten en:

- *Confirmar la hipótesis, avanzada por Roca et al (2009), de que es posible simultáneamente definir y delimitar la “metrópoli”, a la vez que revelar su estructura interna (monocéntrica/policéntrica).*
- *De esta manera, alcanzar el objetivo de delimitar y analizar, por primera vez en España y para la totalidad de entidades territoriales (municipios), el conjunto del sistema urbano español.*
- *Desde la perspectiva de la tesis, la principal aportación es, además de delimitar el Sistema Urbano en España, el establecimiento de una metodología general capaz de determinar el grado de monocentrismo/policentrismo de los sistemas metropolitanos mediante la entropía de los sistemas urbanos que los conforman. Elemento clave para corroborar (o no) la hipótesis + P → - S.*

La 6ª aportación (*La distribución del tamaño de las ciudades. La Ley de Zipf revisitada*, publicada en el núm. 16 de del volumen 6 de ACE, junio de 2011) aborda *la validez de la ley de Zipf en el análisis de las estructuras territoriales urbanas*. El artículo sugiere que la observación reiterada del cumplimiento de la Ley de Zipf, destacada por la literatura científica, sería tan sólo la punta emergida de un “iceberg” más profundo, en el que ciudades medias y pequeñas tienen también su protagonismo, y donde una “ley” de carácter más general emerge. El mejor desempeño del modelo cuadrático que el log-log en las áreas metropolitanas (>50.000 hab) que en las micropolitanas (10.000/50.000 hab) de EE.UU., sugiere que la Ley de Zipf no es una aproximación suficientemente buena cuando se considera el conjunto del sistema urbano.

En el trabajo seleccionado, *se contrasta el modelo log-log también para la población de los 8.109 municipios españoles, así como la relativa (a la población de 2009) de los 1.316 sistemas*

urbanos. El conjunto de pruebas realizadas confirma la hipótesis log-normal de la población de los sistemas urbanos, con una contundencia antes no alcanzada para los municipios o las áreas metro y metropolitanas. *La estructura de la población de las ciudades reales parece ajustarse a una distribución log-normal.*

Haciendo un balance de las aportaciones que realiza la contribución:

- a) *Se confirma la validez de la metodología del Valor de Interacción en el análisis de los sistemas urbanos y metropolitanos* (aportación 5).
- b) *Se propone que la Ley de Zipf es tan sólo una singularidad de los “grandes”, pero que el comportamiento del conjunto de sistema urbano se ajusta más a un comportamiento log-normal. El trabajo sugiere la necesidad de estudiar no sólo el “upper tail”, sino la totalidad del sistema urbano. Por tanto, corrobora la necesidad de disponer de una metodología integral, como la del valor de interacción, para estudiar el sistema urbano en su conjunto, más allá de los ámbitos administrativos (municipios, áreas metro o metropolitanas).*
- c) *El análisis de las distribuciones log-log, es decir, de Ley de Zipf y log-normal realizado permite comprender el grado de macrocefalia o de microcefalia de los sistemas de asentamiento humano. Por consiguiente, del monocentrismo o policentrismo de los sistemas urbanos y metropolitanos, aspecto claramente relacionado con el fenómeno del Sprawl.*

La 7ª aportación (*Estructura urbana, policentrismo y sprawl: los ejemplos de Madrid y Barcelona*, artículo publicado en *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*. 2011. Vol. XLIII, núm. 168) aborda la concreción, para las áreas metropolitanas de Madrid y Barcelona, de la metodología del valor de interacción. Dicha aportación ha ido dirigida a evaluar la “eficiencia ambiental”, concretada principalmente en el consumo de suelo, de la estructura urbana de las dos principales aglomeraciones españolas, partiendo de la antes mencionada hipótesis + **Policentrismo** → - **Urban Sprawl**, y demostrando el menor consumo de suelo en el sistema metropolitano de Barcelona respecto al sistema metropolitano de Madrid.

El trabajo sustenta la hipótesis de que la metodología del Valor de Interacción posibilita, además de una delimitar sistemas metropolitanos, identificando los subsistemas metropolitanos articulados en torno a los subcentros, *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 a la segunda con una tendencia marcada hacia el policentrismo. Para ello, más allá de las simples delimitaciones de carácter administrativo, repasa los resultados obtenidos para Madrid y Barcelona por la metodología del Valor de Interacción. Dicho análisis permite entrever dos realidades urbanas muy diferenciadas. Más dispersa Madrid que Barcelona. Más compleja y policéntrica ésta última.

La aplicación de la metodología del VI permite determinar con rigor el grado de policentrismo de ambas metrópolis. El análisis de los resultados obtenidos evidencia (para un número equivalente de municipios, 184 para Barcelona, 180 para Madrid, aunque con una superficie muy diferenciada, 7.198,29 km² en el caso de Madrid, frente a los 3.744,25 km² del sistema de Barcelona) que si bien el número de protosistemas no es muy diferenciado, 44 frente a 32,

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.*

Una vez corroborada la diferente estructura de las áreas metropolitanas de Barcelona y Madrid –tendencialmente policéntrica la primera, monocéntrica la segunda- el artículo contrasta la hipótesis relativa a **+ P** → **- S**. 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 y, por supuesto, sucede en la periferia metropolitana.

La principal conclusión de esta aportación es: *“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”* corroborando la hipótesis propuesta en la tesis: **+ Policentrismo** → **- Sprawl**.

Las aportaciones octava (*Towards a new methodology to evaluate the urban structure of the metropolitan systems: Chicago and Barcelona Metropolitan Areas as examples*, ponencia presentada y publicada en el 51st European Regional Science Association Congress, 2011) y novena (*Monocentrism, polycentrism and environmental efficiency Chicago and Los Angeles Metropolitan Areas as examples*, presentada y publicada en Ponencia presentada en el 52nd European Regional Science Association Congress, 2012) *abordan el desafío de aplicar la metodología del Valor de Interacción a realidades urbanas muy diferenciadas de las existentes en España; concretamente a los EEUU de América.* Representan, asimismo, un esfuerzo para verificar la hipótesis de la mayor eficiencia del policentrismo en el consumo de suelo, complementando el análisis realizado en la aportación séptima.

Ambos artículos utilizan la metodología del Valor de Interacción, contrastando las delimitaciones metropolitanas que de esa metodología se derivan de las obtenidas por el US Census Bureau. Dada la inexistencia de municipios en EEUU, los mencionados trabajos aplican la metodología del VI, sustituyendo a estos por los “places & tracts” en el caso de Chicago y Los Ángeles. El sistema metropolitano de Chicago cierra, al 1 por mil de valor de interacción, con 351 places, 17.403 km² y 8.911.577 habitantes (2000), frente al sistema metropolitano de Barcelona, que cierra con 184 municipios, 3.744 km² y 1.903.795 habitantes (2001). Por lo que respecta a Los Ángeles, el sistema metropolitano cierra con un territorio de 61.695 km², con una población de 16.005.014 habitantes.

La metodología empleada no sólo permite comparar de forma homogénea las metrópolis de Barcelona, Chicago y Los Ángeles, sino también *chequear la validez de la metodología del Valor de Interacción en relación a la metodología oficial del US Census Bureau.* Pero, sobre todo, los trabajos presentados permiten constatar el diferente grado de policentrismo de las referidas metrópolis, constatando un mayor monocentrismo en Chicago (tan sólo 8 sistemas urbanos, con 66 protosistemas) frente a Los Ángeles (45 protosistemas estructurados en 13 sistemas urbanos) y a Barcelona (24 sistemas urbanos, 44 protosistemas).

Los Ángeles no sólo confirma su mayor rango, lo que la ha llevado a representar la segunda metrópolis de EEUU (frente a la tradicional *Second City* que representaba Chicago), sino que muestra *una estructura más policéntrica* (con 13 frente a 8 sistemas urbanos) que la capital de Illinois. La complejidad del sistema metropolitano (medida a partir de la entropía de Shannon de la distribución de la población de los sistemas urbanos) de Los Ángeles es muy superior a la

del sistema metropolitano de Chicago: 1,7244 frente a 1,2515, lo que confirma su mayor policentrismo.

En suma, el estudio de los sistemas metropolitanos de Chicago y Los Ángeles, confirma que *la metodología del Valor de Interacción permite el análisis comparado entre diferentes realidades urbanas (históricas, sociales, económicas o territoriales) de las metrópolis*. La metodología ensayada en las aportaciones 5 (Sistema Urbano en España) y 7 (análisis específico de Madrid y Barcelona), supera la prueba en su aplicación a una realidad tan diferenciada como son los casos de Chicago y Los Ángeles.

Pero, más allá de la importancia de superar esta prueba, estas aportaciones *permiten comparar los distintos modelos de urbanización que representan Barcelona, Chicago y Los Ángeles*. En el caso de Barcelona el consumo de suelo asciende a 147,14 m² de suelo artificializado por habitante. En el de Chicago, 592,69. *Cuatro veces superior el consumo de suelo artificializado por habitante en Chicago respecto a Barcelona*. La aportación 9ª confirma no sólo el mayor policentrismo de la metrópolis angelina respecto a Chicago, sino también su menor consumo de suelo: 439,47 m² de suelo por habitante en el caso de LA y 592,69 en el de Chicago. ¡Un 34,9% de mayor consumo de suelo en Chicago!

Frente a la leyenda urbana que presenta a Los Ángeles como paradigma del Urban Sprawl, los trabajos realizados en esta tesis sostienen la mayor complejidad, policentrismo y densidad de la ciudad californiana, ratificando la tesis: **+ Policentrismo → - Sprawl**.

Las cinco aportaciones seleccionadas en el Capítulo III demuestran la validez de la metodología del Valor de Interacción tanto para delimitar las estructuras metropolitanas como para identificar la estructura interna de las mismas. La metodología del VI se ve, así, validada a nivel no sólo nacional sino también a escala internacional. Lo mismo ocurre con la hipótesis de la mayor eficiencia de las estructuras policéntricas respecto a las monocéntricas en cuanto al consumo de suelo. Finalmente, la aportación sexta desarrolla una metodología que permite evaluar la validez de las metodologías de definición de ciudades reales que realiza el método del Valor de Interacción, así como, en potencia, estudiar la macro o microcefalia de los sistemas territoriales de asentamiento humano.

En el Capítulo IV se han presentado las aportaciones relacionadas con el análisis del *proceso de Urban Sprawl a escala mundial a partir de la explotación y análisis de las luces nocturnas*. Si en el capítulo precedente el análisis del fenómeno metropolitano se realizaba a partir del commuting residencia/trabajo, en éste se analiza por medio de la continuidad de la urbanización. En este sentido *la información suministrada por los sensores satelitales es una oportunidad única para el estudio y conocimiento del proceso de urbanización de los siglos XX y XXI*. En este capítulo de la tesis se ha partido, por tanto, de la hipótesis de que dicha información permite conocer el fenómeno urbano a escala mundial, detectando el cambio de escala producido en la urbanización con el surgimiento de nuevas estructuras urbanizadas, así como evaluar el Urban Sprawl a escala planetaria.

Dicho capítulo se compone de 4 aportaciones. La primera de ellas, desarrolla el concepto de megalópolis y de su identificación a través de *Black Marble*, profundizando en el cambio de escala que ha provocado, a escala planetaria, el proceso de Sprawl. El segundo desarrolla la metodología anterior para *el estudio de los sistemas urbanos y metropolitanos*, igualmente a escala mundial; su principal novedad, además de desarrollar una herramienta útil para la

identificación de las metrópolis desde la perspectiva de la continuidad de la urbanización, consiste en identificar los principales *paisajes urbanos*: centros compactos, periferias caracterizadas por un elevado grado de Sprawl, tejidos rurbanos, y espacios rurales. El tercer trabajo se dirige a presentar una *nueva metodología para la definición, a partir de las ciudades luces nocturnas, de las áreas urbanas y rurales*, superando la simple aproximación “administrativa” u oficial usada por las Naciones Unidas. Finalmente, el cuarto trabajo, representa una aplicación de la información suministrada por el sensor DMSP-OLS al *análisis del proceso de urbanización en China entre 1992 y 2012*, al ser éste país uno de los escenarios donde la urbanización ha sido más acusada en las últimas décadas.

La décima aportación (*Las megaestructuras urbanas del siglo XXI: un ensayo para la identificación y caracterización de las megalópolis*, artículo publicado en *Architecture, City and Environment*. 2014, 9-25) aborda uno de los elementos paradigmáticos del proceso urbanizador contemporáneo: *la irrupción de las megalópolis*. Si a lo largo de la primera mitad del Siglo XX se había producido el desbordamiento de los límites municipales y la irrupción subsecuente de las metrópolis, a partir del último cuarto del siglo pasado se produjo *un nuevo cambio de escala* en el proceso urbanizador: la superación de las *metrópolis* y la generación de un nuevo artefacto urbano jamás antes visto, la metrópolis de metrópolis, las *áreas megalopolitanas*.

Paradójicamente, el gran impulso urbanizador producido en las siete primeras décadas del siglo pasado parecía haber llegado a su límite cuando se produjo la crisis del petróleo, a principios de los 70. En Europa y América del Norte la expansión urbana pareció evidenciar signos de aparente agotamiento. Primero fueron los grandes centros metropolitanos los que empezaron a perder población, pero, más adelante, fueron las metrópolis enteras las que denotaron síntomas de desaceleración del crecimiento, que llegó a ser negativo en algunos (escasos) casos. Las estructuras urbanas forjadas a raíz de la revolución industrial del siglo XIX, y caracterizadas por la concentración de la industria y por las migraciones campo/ciudad, parecieron entrar en crisis. Desde esta perspectiva buena parte de los especialistas del fenómeno urbano (especialmente desde el ámbito de la geografía) llegaron a afirmar que el concepto ciudad había devenido obsoleto; de fuente de progreso y desarrollo, las ciudades se habrían convertido en estructuras gigantescas cada vez menos eficientes. De las economías de aglomeración habríamos pasado a las economías de desaglomeración.

Dicho proceso fue claramente reinterpretado en la literatura iniciada en los 90. En el artículo se pone de relieve como la urbanización masiva del territorio rural resultante del Urban Sprawl no ha dejado lugar a duda acerca de la plena vigencia del proceso urbanizador, el cual no sólo no se habría visto frenado, sino que al contrario habría llegado a su paroxismo en las últimas décadas del siglo pasado. Nueva era en la que, si bien habría decaído el paradigma de la ciudad fordista, y aún el del área metropolitana convencional (monocéntrica), habrían irrumpido nuevas formas y artefactos urbanos que no sólo habrían confirmado la vitalidad del proceso urbanizador, sino la generalización del mismo a escala mundial. Desde el último tercio del siglo XX se habría hecho evidente un *verdadero cambio de escala en la urbanización*.

El artículo publicado sostiene que, desde la perspectiva actual, no se puede interpretar lo sucedido en las estructuras postfordistas como una desaceleración, descomposición incluso, de la urbanización. Muy al contrario, estaríamos en una nueva fase de ésta. Fase en la que las ciudades resultantes de la revolución industrial no sólo habrían devenido áreas metropolitanas, sino que éstas, en un continuo cambio de escala, habrían visto emerger estructuras más y más extensas. *La telaraña de urbanización generada por el Urban Sprawl representó el elemento decisivo para la interconexión de las áreas metropolitanas, aisladas antes por vastos espacios*

abiertos, en estructuras cada vez más extensas, generando las semillas del ulterior proceso megalopolitano.

La aportación décima desarrolla una original metodología, inspirada en el trabajo de Florida *et al* (2008), para identificar las áreas megalopolitanas. La aplicación de la citada metodología permitió la delimitación de 444.502 áreas pobladas iluminadas a escala mundial, concentrando un 37,8% de la población del planeta, y de las cuales, 433 alcanzaban una población superior al millón de habitantes (2012). De esas 433 aglomeraciones urbanas, 92 superaban los 5 millones, representando las semillas primigenias de las estructuras megalopolitanas.

Finalmente, el trabajo identifica 26 megalópolis con una población superior a 20 millones de habitantes. Asia acumula 18 de esas grandes aglomeraciones: 2 transnacionales (India-Pakistán e India-Bangladesh), 5 en India, 6 en China (5 en el continente y 1 en Taiwán) y 1 en Japón, Indonesia, Corea, Filipinas y en Oriente Medio. A continuación, tanto América (4 aglomeraciones) como Europa (3 aglomeraciones) y África (1 aglomeración), evidencian *una geografía de las megalópolis de alcance planetario.*

El trabajo seleccionado permite, por tanto, constatar el *cambio de escala producido por la urbanización a nivel mundial.* Si el Siglo XX fue el siglo de las metrópolis, el Siglo XXI es el de dominio de esos gigantes de la urbanización que son las megalópolis. Constatar, asimismo, el manifiesto error en que cayeron la mayor parte de los trabajos académicos desarrollados en los años 70 y 80 relativo al “agotamiento” de la urbanización en el mundo. El espejismo generado por la crisis del petróleo llevó a esos investigadores a proclamar que se había entrado en una nueva fase del desarrollo humano basado en la contraurbanización (Berry, 1976) o en la desurbanización (Berg, 1982). Sin embargo, *la urbanización, lejos de detenerse, o agotarse, alcanzó en el último cuarto del siglo pasado y en el primer quinto del siglo presente, una intensidad nunca antes alcanzada.* A ello contribuyó, como se ha dicho, la *extensión del fenómeno del Urban Sprawl a escala planetaria.* El crecimiento de la urbanización a un ritmo muy superior al aumento demográfico, la proliferación de la urbanización de baja densidad en Europa y América del Norte, el desarrollo “infinito” de las periferias en el resto de América, Asia y África, así como el surgimiento y auge del “ex-Urban Sprawl” (la rurbanización) han representado alguno de los elementos determinantes del citado cambio de escala de la urbanización a nivel mundial.

Finalmente, cabe destacar otra de las principales aportaciones de la contribución seleccionada en décimo lugar: la *plena validez de las luces nocturnas para el análisis del proceso de megalopolitanización.* Las megalópolis pueden ser analizadas gracias a la información suministrada por los sensores satelitales de la radiación nocturna generada por la iluminación artificial.

La undécima aportación (*Landscapes impacted by light*, publicada en The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B8, 2016) *aborda el complejo problema de identificar, por medio del análisis de las luces nocturnas, los paisajes urbanos a escala planetaria.* Dicha contribución representó un paso adelante en relación a la precedente. Su objetivo no se limitó a cuantificar el alcance del fenómeno megalopolitano, sino a tipificar las diferentes tipologías de áreas urbanizadas (pueblos, ciudades o áreas metropolitanas), así como a identificar los distintos “paisajes” (rurales, rurbanos, periurbanos y centrales) que conforman los asentamientos humanos.

El trabajo parte de la hipótesis de que la llegada de la electrificación a casi todos los rincones del planeta representa el primer y más significativo indicador de artificialización del suelo, y que,

por lo tanto, las imágenes satelitales de luces nocturnas pueden proporcionar una información valiosa para la identificación de los diferentes tipos de paisajes humanos. Los paisajes "oscuros" ciertamente están relacionados con los asentamientos rurales. En cuanto a los paisajes "iluminados", las luces nocturnas identifican claramente áreas del mundo caracterizadas por una elevada artificialización humana. Para ello, la investigación desarrolló una metodología capaz de identificar los territorios urbanizados de los rurales, así como, dentro de los primeros, detectar las áreas centrales, compactas, de las periferias, dispersas. Asimismo, la investigación realizada permitió detectar los territorios que presentan patrones intermedios de ocupación humana del territorio, como el Ex-Urban Sprawl, que se denominaron paisajes rurbanos.

La metodología empleada permitió la identificación, para 2012, de 186.134 áreas urbanas, de las cuales 404 se clasificaron como metrópolis, entendidas éstas como las áreas con una población de más de un millón de habitantes. Áreas metropolitanas que concentraban, a finales de la primera década del presente siglo, el 24,45% de la población mundial. Treinta y cuatro de dichas áreas metropolitanas acumulaban una población superior a los diez millones, representando las verdaderas semillas megalopolitanas identificadas en la contribución décima. En el lado opuesto a las áreas metropolitanas, un 70,15% de las áreas urbanas no superaba los 1.000 habitantes, representando el 0,36% de la población mundial.

Resumiendo las principales contribuciones de la aportación undécima además de confirmar que el análisis de las luces nocturnas posibilita analizar el grado de urbanización a nivel mundial, sirve para *identificar y clasificar los asentamientos humanos a escala mundial*: desde las aldeas y hamlets, a los pueblos, ciudades, áreas micropolitanas, metropolitanas y megalopolitanas. La investigación realizada permite, asimismo, *segmentar y cuantificar los diferentes paisajes humanos: centros compactos, periferias dispersas, asentamientos rurbanos y rurales*, en función al nivel de intensidad de las luces nocturnas. Finalmente, el paper desarrolla diversos indicadores de consumo de suelo a partir de la huella lumínica de los asentamientos humanos, los cuales ayudan a comprender el fenómeno del Urban Sprawl, así como su distribución espacial.

La contribución duodécima (*Defining urban and rural areas: a new approach*, publicada en Proc. SPIE 10431, Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments II, 104310E, 2017) tiene por objetivo *desarrollar una nueva metodología para la definición de las áreas rurales y urbanas, que vaya más allá de la tradicional regulación establecida por las Naciones Unidas*.

El trabajo seleccionado pone de relieve *la ausencia de un consenso académico unánime sobre lo que significa el término "urbanización"*. El carácter plural de las formas de asentamiento humano en el planeta dificulta la identificación y categorización de los procesos de urbanización. Un ejemplo de esta dificultad radica en la ambigua definición de población urbana y rural de la ONU. A pesar de que la estadística mundial ofrecida por las Naciones Unidas acerca de la evolución de la población urbana es uno de los referentes más utilizados en el estudio de la urbanización, la diversidad de criterios utilizados por los diferentes Estados no permite en realidad realizar comparaciones fiables sobre el grado de urbanización a escala internacional. Las Naciones Unidas no han logrado armonizar estas diferencias de opinión entre países puesto que, al preparar las estimaciones y proyecciones de la población urbana, la ONU se basa en los datos producidos por fuentes que reflejan las definiciones y criterios establecidos por las autoridades nacionales.

La investigación propone que el análisis de imágenes satelitales nocturnas representa una herramienta excepcional para estudiar el *gradiente de urbanización a escala mundial*. En cuanto los resultados, destaca el hecho de que *la mayor parte de la población mundial, el 44,21%, vive en zonas altamente urbanizadas. En cambio, los paisajes rurales concentran tan sólo el 40,26% de la población*. Destaca, asimismo, que los espacios urbanizados con menor intensidad lumínica, *los territorios del Urban Sprawl, están habitados por una mayor proporción de población que los paisajes centrales compactos: el 26,04% vs 18,16% respectivamente*. Finalmente, en los paisajes rurbanos (con una intensidad de luz nocturna superior a la rural pero inferior a la urbana) habitaría el 15,53% de la población mundial. La investigación realizada estima que *es en dichos paisajes rurbanos donde se concentra en la actualidad el mayor estrés de la urbanización*, y es allí donde se producirán los mayores incrementos de población en las próximas décadas.

En suma, el estudio realizado a escala planetaria ha permitido la construcción de un método de clasificación urbano / rural que, sostiene, es más eficiente que la distinción actual proporcionada por Naciones Unidas. Además, este método tiene la ventaja de permitir el análisis de la población urbana y rural a nivel subnacional. La segmentación rural / urbana ya no puede entenderse como dual. La difusión de las redes de urbanización en prácticamente todo el mundo desarrollado lleva a la necesidad de ir más allá de la simple visión, que opone lo rural a lo urbano. Así, *la noción de gradiente de urbanización surge como un concepto esencial en el análisis de paisajes urbanizados*.

La decimotercera y última aportación del Capítulo IV (*The urbanization impact in China: A prospective model (1992-2025)*), publicado en Proc. SPIE 10767, Remote Sensing and Modeling of Ecosystems for Sustainability XV, 107670a, 2018) propone *estudiar de forma retrospectiva (1992-2013) y prospectiva (2013-2025) el impacto de la urbanización en uno de los territorios que ha experimentado un mayor desarrollo del Urban Sprawl en los últimos decenios: China*. Como en las aportaciones anteriores, el análisis de las luces nocturnas, en este caso facilitadas por el sensor DMSP-OLS, fundamenta la metodología empleada en la investigación.

Entre las principales conclusiones, la investigación confirma el *aumento espectacular de las áreas urbanas chinas en el período 1992-2013*: los 21.525 km² que ocupaba la urbanización en 1992 se convirtieron en 194.362 km² en 2013; un incremento del 803%. Urban Sprawl que es especialmente significativo si se considera que en ese mismo período la población urbana aumentó un 119,68% más. Proceso de Sprawl que continuará en los próximos años, ya que el ajuste del modelo prospectivo prevé un incremento de la superficie altamente artificializada del 133,55% entre 2013 y 2025, pasando de 194.362 a 414.681 km².

La investigación pone de relieve, asimismo, el *cambio de escala de las tres principales megalópolis chinas*, entre 1992 y 2013: Shanghai, Pearl River y Beijing-Tianjin. Pronosticando un claro incremento de esta última hacia 2025. Pero también sugiere un cambio progresivo del modelo territorial, confirmando que *el aumento relativo de la superficie urbanizada se desplaza hacia el centro y oeste de China*, produciéndose una correlación negativa entre GDP (2013) y el incremento porcentual de suelo urbanizado en el periodo 1993 y 2025.

En el Capítulo V se presentan *las aportaciones relacionadas con el análisis del proceso de Urban Sprawl a escala metropolitana de Barcelona a partir de la explotación y análisis de las luces nocturnas*. Más concretamente, las aportaciones seleccionadas se plantean el problema acerca de si las informaciones suministradas por los nuevos sensores satelitales enviados al espacio en

la pasada década son capaces de *identificar con precisión el fenómeno del Urban Sprawl*. En este capítulo de la tesis se ha evaluado la capacidad de los nuevos sensores satelitales SNP-VIIRS y Luojia 1-01 para determinar, a escala local, los espacios urbanizados. Muy en especial, los territorios caracterizados por la baja densidad, propios del Urban Sprawl.

Los dos primeros trabajos considerados (decimocuarta y decimoquinta aportación) han tenido por objetivo *analizar y comparar, en relación a satélites anteriores, la capacidad del nuevo instrumento Luojia 1-01 para delimitar las áreas urbanizadas, evaluando su eficiencia para la identificación de los diferentes tipos de cubiertas urbanas*. La tercera investigación (decimosexta aportación) representa un paso adelante respecto a las dos anteriores. Su objetivo principal ha consistido en intentar dar respuesta a la pregunta de investigación planteada en el trabajo precedente: *¿pueden las luces nocturnas identificar el Urban Sprawl?, ¿pueden segmentar las cubiertas de baja densidad respecto a las áreas urbanas y rurales?, ¿pueden los nuevos satélites, como el Luojia 1-01, identificar los paisajes propios del proceso de dispersión urbana conocido como Urban Sprawl?*

La decimocuarta (*Delimitation of urban systems by Luojia 1-01 night-time light imagery*, publicada en Proc. SPIE 11157, Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments IV, 111570H, 2019) y decimoquinta (*Can nighttime imagery identify urban sprawl?*, publicada en Proc. SPIE 11501, Earth Observing Systems XXV, 115010S, 2020) aportaciones abordan el *análisis de la estructura interna del área metropolitana de Barcelona a partir de la explotación y análisis de las luces nocturnas*.

Las aportaciones presentadas en el capítulo anterior (IV) de la tesis, eficientes para analizar el fenómeno urbano a escala mundial y regional, muestran, sin embargo, una limitación fundamental para el *análisis pormenorizado* de los sistemas urbanos y metropolitanos: la baja resolución espacial de los sensores satelitales. El lanzamiento en 2011 por la NASA y la NOAA del satélite Suomi National Polar Partnership (SNPP), con el sensor Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) a bordo, ha llevado a una mejora significativa. Por su parte, el lanzamiento de Luojia 1-01 en junio de 2018 ha aumentado la capacidad de las luces nocturnas para el estudio de los sistemas urbanos. Ambos satélites representan un paso de gigante respecto al DMSP Operational Linescan System (OLS), el cual ha estado recopilando datos globales de imágenes durante más de 40 años. El objetivo principal de las aportaciones seleccionadas en el Capítulo V de la tesis ha consistido en analizar y comparar las imágenes ofrecidas por los mencionados sensores, evaluando la capacidad del nuevo instrumento Luojia 1-01 para delimitar las áreas urbanizadas, así como su eficiencia en la identificación de los diferentes tipos de paisajes urbanos (compactos, dispersos y rurales).

En cuanto a los principales resultados de ambas contribuciones, cabe destacar:

- A pesar de los buenos resultados resaltados en la literatura anterior sobre las capacidades del *DMSP-OLS* para identificar el desarrollo urbano, la metodología propuesta en la tesis demuestra la incapacidad de dicha información para la identificación del fenómeno urbanizador a la pequeña escala. Dada la baja profundidad de píxel, así como la altísima huella espacial de las imágenes obtenidas a partir de DMSP-OLS, la confusión entre píxeles iluminados y oscuros es tan pronunciada, que incapacita la utilidad de dicha información para analizar en detalle el proceso de urbanización en la Región Metropolitana de Barcelona.
- Los modelos desarrollados confirman la *capacidad de las imágenes de SNPP-VIIRS y sobre todo Luojia 1-01 para la identificación de las áreas urbanizadas*.

- Por su parte, el análisis realizado a partir de Luojia 1-01 para las diferentes cubiertas de suelo muestra rendimientos óptimos en el caso de los tejidos residenciales compactos, industriales, portuarios y aeroportuario. Sin embargo, no identifica completamente los tejidos urbanos discontinuos. A pesar de que la luminosidad media de la urbanización discontinua es 11,76 veces superior a la del suelo rural, la existencia de luces débiles en los tejidos urbanos de menor densidad dificulta el buen desempeño del modelo. Sólo el 84,9% de los píxeles de “discontinuous urban fabric” llegan a estar bien identificados mediante el modelo desarrollado en los artículos.
- La débil iluminación de las áreas de urbanización dispersa dificulta su identificación, incluso con las imágenes satelitales de mayor resolución, como Luojia 1-01. Por este motivo, se concluye en la segunda de las contribuciones seleccionadas en el Capítulo V, que *la identificación precisa del Urban Sprawl mediante luces nocturnas continúa siendo un desafío pendiente.*

En este sentido, la aportación decimosexta (*Identifying urban sprawl by night lights: a pending issue*, y publicada en Proc. SPIE 11535, Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments V, 115350H, 2020) aborda *la capacidad de Luojia 1-01 para identificar diferentes tipos de paisajes urbanos, especialmente los resultados del proceso de dispersión urbana en el Área Metropolitana de Barcelona.*

Como se puso de manifiesto en relación a las investigaciones precedentes, las áreas resultantes del proceso del crecimiento disperso de la ciudad se caracterizan por una iluminación nocturna débil, lo que dificulta enormemente su identificación. Rompiendo la rígida frontera que históricamente distinguía lo urbano de lo rural, la inversión topológica del paisaje producida por el Urban Sprawl dificulta la identificación de los territorios impactados por procesos de urbanización dispersos, fragmentados y de baja densidad. De ahí que la investigación seleccionada se interrogue acerca de si las luces nocturnas son capaces de identificar los territorios del Sprawl, así como diferenciarlos de resto de paisajes humanos.

Los modelos desarrollados para las cubiertas de Corine Land Cover obtienen para el Área Metropolitana de Barcelona un 88,4 % de aciertos en suelo rural y un 88,1% en suelo urbanizado, con una precisión global del 88,2%, destacando el hecho de que *el suelo urbanizado devuelve una radiancia 12,21 veces mayor en relación al suelo rural.* Aun así, el rendimiento del modelo varía de forma significativa entre las diferentes cubiertas de suelo, variando en un porcentaje de acierto superior al 99% las cubiertas residenciales compactas (“continuous urban fabric”), así como las portuarias y aeroportuarias, al cerca del 90% en las cubiertas rurales, así como al 82% en “discontinuous urban fabric”.

Por lo que respecta a los usos de suelo de Urban Atlas, los modelos pormenorizados realizados para el tejido disperso denotan un claro rendimiento decreciente cuanto menor es la densidad: el porcentaje de acierto de los mismos pasa del 96% en los usos discontinuos densos (“land sealing”: 50%-80%), al 83,5% en los usos discontinuos de densidad media (“land sealing”: 30%-50%), el 68,7% en los usos discontinuos de densidad baja (“land sealing”: 10%30%) y a tan sólo el 51,8% en los usos discontinuos de densidad muy baja (“land sealing” < 10%).

El trabajo, concluye que *la plena identificación de los tejidos del Sprawl mediante luces nocturnas sigue siendo un reto pendiente.*

El Capítulo VI, y último de la tesis, ha concentrado alguna de las aportaciones relacionadas con el *análisis del Clima Urbano y de la Isla de Calor Urbana (UHI)*, así como de sus efectos en los territorios del Urban Sprawl y del resto de paisajes urbanos. La irrupción y auge de la conciencia acerca del Cambio Climático y del Calentamiento Global ha tenido en la Conferencia de París (2015) un punto de inflexión en el desarrollo de esta tesis doctoral, el cual coincidió con mi participación en diversos proyectos competitivos del CPSV en los que he participado activamente⁷. Dicha intervención en actividades de investigación y transferencia relacionadas con el Clima Urbano han motivado el interés de vincular a mi trabajo doctoral, en su fase final, Clima y Urban Sprawl. Las aportaciones que se han presentado en el Capítulo VI representan, por tanto, una síntesis de las investigaciones realizadas en el marco de la tesis y de los proyectos de investigación del CPSV sobre Clima Urbano.

Cabe recordar que, según el Centre for Human Settlements (UN–HABITAT), las ciudades son responsables del 75% del consumo global de energía, así como el 80% de las emisiones gases efecto invernadero (GHG). La contribución de la urbanización al cambio climático es de doble naturaleza:

- Por una parte, por la *generación urbana de GHG*, lo que contribuye de forma determinante al calentamiento global del planeta.
- Y, por otra, por la radiación generada por la superficie del suelo urbanizado, la cual determina un determinado flujo de calor sensible y latente en virtud del tipo de cubiertas urbanas, así como a su grado de humedad. Es el llamado *fenómeno de la Isla de Calor Urbana (UHI)*.

En este contexto, y como ya se expuso a raíz de las contribuciones séptima, octava y novena, *la urbanización dispersa, el Urban Sprawl, es responsable de una proporción significativa del consumo energético y de las emisiones urbanas*. Según el IDAE⁸, y para datos actualizados a 2020, en España el consumo medio de las viviendas unifamiliares es 15.513 kWh/hogar (1,334 tep/hogar), un 53,4% por encima del consumo de la vivienda media (9.922 kWh/hogar, 0,853 tep/hogar). De forma opuesta, el consumo medio de las viviendas en bloque es de 7.544 kWh al

⁷ Entre estos proyectos cabe citar 1) *CLIM-CAP, Competences for sustainable city development: Qualification scheme for Climate Adaptation in Construction, Architecture and Planning*, establecido para desarrollar en la Unión Europea “un innovador título de formación acreditada ofreciendo a los profesionales que trabajan en el sector del medio ambiente construido, las competencias y los conocimientos prácticos necesarios para planificar y entregar la adaptación en el entorno construido de las zonas urbanas”. Convocatoria 2011. 2) *Urban-CLIMPLAN. La isla de calor urbana: efectos en el cambio climático y modelado para estrategias de planeamiento territorial y urbano. Aplicación a la región metropolitana de Barcelona*. Programa Estatal de Investigación, Desarrollo e Innovación Orientada a los Retos de la Sociedad, Convocatoria 2015. 3) *X-ClimPlan. Herramienta de planificación espacial y urbana extrema para episodios de olas de calor e inundaciones repentinas. Construyendo la resiliencia para ciudades y regiones*. Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. Programas estatales de generación de conocimiento y fortalecimiento científico y tecnológico del sistema de I+D+i y de I+D+i orientada a los retos de la sociedad, Convocatoria 2019. Y 4) *G-Clima. Guía para la rehabilitación climática de barrios. Caso de estudio Poblenou*. Ayuntamiento de Barcelona. Gerencia de Ecología Urbana. Convocatoria para la concesión de ayudas para el desarrollo de proyectos en el marco de la emergencia climática de la ciudad de Barcelona, 2020.

⁸ https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Documentacion_Basica_Residencial_Unido_c93da537.pdf
Consultado el 10/07/2022.

año (0,649 tep/hogar)⁹. Las *políticas de mitigación al cambio climático deben tener como uno de sus objetivos centrales: frenar el proceso de dispersión de la edificación* y promover desarrollos urbanos más compactos, eficientes y densos.

Ahora bien, *desde la perspectiva de la adaptación al cambio climático, es decir de la resiliencia al calentamiento global, el diagnóstico no es necesariamente el mismo*. Es por esto, que el conocimiento del clima urbano es un elemento clave por tal de evaluar la eficiencia de los diferentes tejidos frente al calentamiento global.

En este contexto, la primera (decimoséptima) de las aportaciones presentadas en el Capítulo VI de esta tesis aborda el *comportamiento climático de los distintos usos del suelo*. Estudia el fenómeno de la Isla de Calor y su distribución espacial, obteniendo las zonas climáticas de la zona de estudio (la Región Metropolitana de Barcelona). La segunda de las aportaciones seleccionadas (decimioctava de la tesis) analiza uno de los principales factores que explica el distinto grado de resiliencia de los diferentes paisajes urbanos frente al Calentamiento Global: *el papel del verde urbano (urban greenery) como elemento amortiguador del calor de la ciudad*. La tercera de las contribuciones (decimonovena) ahonda sobre la Isla de Calor Urbana y sus efectos en las condiciones ambientales y el confort de los espacios urbanos, *diferenciando éstos durante el día y la noche*. Finalmente, la cuarta (vigésima) aportación aborda el tema central de *la interacción entre el clima y la salud*.

La aportación decimoséptima de la tesis, *Identifying Urban Heat Island. The Barcelona Case*, publicada en el libro de actas del XI congreso Ciudad y Territorio Virtual, Back to the Sense of the City: International Monograph Book, 798-812) presenta el análisis de la Isla de Calor Urbana, así como del comportamiento climático de las diferentes cubiertas de suelo, de la Región Metropolitana de Barcelona.

El clima de las ciudades depende fundamentalmente de factores de carácter regional, como la longitud-latitud, el relieve o la distancia a las masas de agua, pero también viene afectado por factores locales y de micro-escala, como las características de la estructura urbana, la topografía y superficie de las cubiertas de suelo, la vegetación o el calor antropogénico generado por el metabolismo urbano. Existen diferencias significativas en el clima de las áreas urbanas comparadas con las de carácter rural (Oke, 1987). Es el llamado efecto de la *isla de calor urbana* (UHI), la cual describe la influencia de las superficies urbanas en el patrón espacial de temperatura de las áreas urbanas en contraposición a las áreas rurales circundantes. Los materiales artificiales (especialmente el asfalto y hormigón) usados usualmente en las áreas urbanizadas son una de las principales causas. La UHI muestra, por lo general, temperaturas más elevadas en las zonas urbanas que en las zonas rurales, dependiendo de diversos factores, como la latitud, la longitud, la altitud, la topografía, la distancia al mar, el tamaño de la ciudad, la intensidad de la edificación, el albedo, el grado de permeabilidad del suelo, la vegetación, el Sky View Factor, así como la distribución de la edificación en relación a los vientos dominantes, entre otros aspectos.

El artículo destaca el *protagonismo de la temperatura de la superficie terrestre (LST) en la UHI*¹⁰. La LST representa el factor determinante en la radiación de la superficie y el intercambio de

⁹ Los datos que aquí se presentan vienen actualizados a 2020. Los que figuran en el capítulo VI, se refieren al informe del IDAE de 2011.

¹⁰ Se puede hablar de la existencia de dos tipos distintos, aunque estrechamente interconectados, de UHI: la referente a la temperatura de suelo (LST) y a la temperatura de aire (LSAT). Al ser la temperatura de aire la que percibimos principalmente los seres humanos, es la UHI resultante de ésta la que tiene una

energía, además del control de la distribución de calor entre la superficie y la atmósfera. En resumen, la LST regula el ambiente térmico urbano. Por ello, es necesario el modelado y predicción de los cambios ambientales, así como el análisis y la comprensión de la dinámica de la LST y su relación con los cambios de origen antropogénico. Por lo tanto, se la puede identificar como una variable climática clave y factor crítico para el medio ambiente urbano, dado que la LST modula el equilibrio de la energía.

El trabajo presentado aborda, de forma especial, el *papel desempeñado por la composición de las cubiertas de suelo en la conformación espacial de la LST y en consecuencia de la Isla de Calor Urbana*. En este sentido, el porcentaje de área construida, así como del grado de permeabilidad del suelo tienen un impacto especialmente elevado, afectando a la acumulación de calor por las estructuras urbanizadas y edificadas que caracterizan la ciudad. La vegetación tiene un papel primordial en la regulación de la temperatura urbana. La disminución de vegetación influye en los saldos de calor, lo que lleva a un aumento de LST; al mismo tiempo, la precipitación y la evapotranspiración tienen la tendencia opuesta. El estudio de los indicadores relativos a las cubiertas de suelo artificializado, especialmente la densidad de las mismas, así como de la cantidad y calidad de la vegetación es determinante para conocer la distribución espacial de UHI.

La aportación decimoséptima destaca la *transcendencia fundamental del planeamiento urbano para informar, coordinar e implementar medidas para mejorar la calidad climática de las ciudades frente al cambio climático global*. Lo anterior representa la necesidad de incorporar la evaluación climática de los planes urbanísticos y territoriales. En este contexto el artículo publicado en el XI CTV procede al *estudio de los Climatopes y de las Local Climate Zones del ámbito metropolitano de Barcelona*, ya que ambos instrumentos se han erigido como uno de los mecanismos más eficaces para la introducción del análisis climático en la planificación territorial y urbana a la “gran escala” (meso-escala, en términos climáticos).

Analizada la LST (mediante remote sensing, a partir de imágenes de Landsat 8) de la estación cálida, el trabajo lleva a las siguientes conclusiones en relación al *comportamiento climático de los diferentes usos del suelo según las claves urbanísticas*:

- Las zonas urbanísticas que acumulan más calor durante el día son las derivadas de las actividades económicas, como la logística, industrial, terciaria y de servicios, representando las calificaciones de suelo más calientes a escala metropolitana.
- A su vez, el sistema viario, pero sobre todo, el residencial compacto en manzana cerrada muestran una LST claramente más elevada que la media de la RMB.
- Por su parte, el “suelo no urbanizable de protección especial”, el “suelo no urbanizable de protección”, el “sistema de espacios libres y zonas verdes”, así como el “sistema hidrográfico” son las calificaciones urbanísticas con un mejor comportamiento climático.
- Por último, cabe destacar que *los territorios del Sprawl fueron, dentro de las áreas urbanizadas, los que mostraron un mejor comportamiento térmico diurno*. Así, la calificación “casas aisladas” obtuvo una temperatura media 1,5°C más fresca que el conjunto del suelo artificializado, debido básicamente a la presencia de más espacios

importancia principal desde la *perspectiva humana*. Sin embargo, y como se expone en la aportación 17, la LST es la variable climática que *desde un punto de vista físico* es esencial, determinando en buena medida la distribución espacial de la LSAT.

verdes de calidad y cercanía a espacios abiertos o infraestructuras verdes metropolitanas.

En conjunto las áreas artificializadas obtuvieron una LST media diurna dos grados por encima a la de las zonas no artificializadas, lo que ha representado la primera cuantificación integral, en la literatura especializada, de la UHI diurna a escala de la Región Metropolitana de Barcelona. En cuanto la UHI nocturna, la aportación realizó una primera estimación, a partir de la LST de MODIS. Sin embargo, la poca resolución de ese satélite (1 km/píxel) no permitió el desarrollo de un modelo suficientemente eficiente a la escala de detalle, representando tan sólo un primer ejercicio en este sentido. Ejercicio posteriormente desarrollado y mejorado en investigaciones ulteriores.

La principal aportación de la contribución 17 es, por tanto, *la realización de una primera radiografía de la UHI metropolitana*. La constatación del diferente comportamiento climático de los distintos “climatopes”, y muy especialmente, el *mejor comportamiento climático de los territorios del Sprawl frente al calentamiento global*. Estos últimos se caracterizan, por tanto, por un doble comportamiento climático: tienen, desde la perspectiva de la *mitigación*, un claro desempeño negativo, al representar un modelo de ciudad poco sostenible, generadora de emisiones de gases efecto invernadero; pero, desde la perspectiva de la *adaptación* al clima, los tejidos dispersos muestran un mejor comportamiento, siendo más resilientes al calentamiento global y a la Isla de Calor Urbana.

La aportación decimoctava (*Green areas and urban heat island: Combining remote sensed data with ground observations*, publicada en los Proceedings de SPIE Optical Engineering + Applications, Volume 10767, 2018), aborda el *estudio del papel desempeñado por la vegetación en la suavización de las temperaturas extremas*. La publicación analiza en profundidad el papel desempeñado por el urban greenery y la canopia verde en la determinación de las temperaturas urbanas, así como del papel relevante que la ordenación del verde urbano puede tener en el planeamiento urbanístico como instrumento de adaptación y resiliencia al calentamiento global.

El verde urbano contribuye a aminorar el efecto de las temperaturas extremas gracias, por un lado, el refrescamiento producido por la liberación de calor latente; la evapotranspiración de las plantas permite la transferencia de calor mediante el cambio de estado del agua. Los árboles, a su vez, refrescan la temperatura del aire (y de superficie del suelo) por debajo de la canopia verde; el efecto de sombra es determinante no sólo por reducir la temperatura radiante (y, por tanto, mejorar el confort humano) en los espacios sombreados, sino también por reducir la radiación incidente en el suelo, y que se acumula en las superficies urbanas. De forma adicional, la superficie sobre la que se implanta la vegetación es permeable, lo que genera la absorción y posterior liberación de humedad, con su correspondiente efecto de refrescamiento por transferencia de calor (latente).

Todo lo anterior determina el hecho no sólo de que las zonas verdes son más frescas que su entorno, sino además que pueden llegar a producir, si tienen una dimensión y diseño adecuados, un efecto de refrescamiento en el mismo. *Los parques urbanos son verdaderas “islas de frío” en el marco de la isla de calor urbana. De ahí que representen un elemento fundamental de la política climática del planeamiento urbano.*

El objetivo general de la aportación se dirigió a *esclarecer cómo el diseño de áreas verdes puede mitigar la isla de calor urbana*. La hipótesis de la investigación consistía, por tanto, en intentar demostrar que la morfología del espacio público representa un elemento significativo en la configuración de la Isla de Calor Urbana. En particular, que el diseño del espacio público, su

morfología y la calidad de su vegetación determinan el grado de enfriamiento de las áreas verdes urbanas, delimitando la extensión e intensidad de la “Isla de Frio Urbano” en el contexto de la UHI. Para ello la aportación decimotercera *combinó, por primera vez, la utilización de técnicas de remote sensing con mediciones "in situ"*, representando una metodología de investigación que posteriormente se ha replicado de forma repetida.

A partir del análisis pormenorizado de dos urbanizaciones en Sant Cugat del Vallés, Parc Central y Coll Favà, la investigación demuestra algunos elementos fundamentales de diseño urbano climático:

- En primer lugar, que *el distinto diseño de los espacios públicos y del urban greenery representa un factor clave en la explicación de las diferencias de comportamiento climático de ambas urbanizaciones*. El dosel arbóreo, la canopia verde, es significativamente mejor en Parc Central que en Coll Favà. Además, el diseño del verde en Parc Central manifestaba una *mayor compacidad, concentración y diversidad* en comparación a Coll Favà. Lo anterior determinó casi tres grados de temperatura menos en la primera de esas dos urbanizaciones, a pesar de encontrarse a menos de 500 metros la una de la otra.
- Que frente al diseño del urban greenery, el resto de indicadores urbanos (densidad, porcentaje de espacio público, tipo de materiales, Sky View Factor, grado de permeabilidad del suelo, ...) ocupan, a pesar de su importancia, un papel secundario. La vegetación es el elemento determinante en la regulación de las temperaturas extremas.
- Finalmente indicar, en relación al tema nuclear de esta tesis dirigida al estudio del Urban Sprawl, *que el mejor comportamiento climático observado en los desarrollos dispersos (puesto de relieve en la contribución decimoséptima) se debe, muy probablemente, a la mayor cantidad y calidad del verde*¹¹ (sea público o privado). Los casos de estudio muestran que la urbanización de menor densidad (Coll Favà) es menos eficiente climáticamente que la de mayor densidad (Parc Central). Menor densidad, mayor dispersión, no parecen ser sinónimo de mejor comportamiento climático. Es el diseño y la calidad del verde urbano el que tiene un efecto relevante.

La tercera investigación seleccionada en el Capítulo VI, decimonovena aportación de la tesis (*Remote Sensing and nighttime Urban Heat Island*, publicada en The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLIII, 2021) se dirige a contrastar la hipótesis de que *la isla de calor urbana, y por tanto su efecto en las condiciones ambientales, el confort y la salud, tiene un efecto radicalmente diferente durante el día y la noche*.

Es durante la noche donde los efectos de las temperaturas extremas, agravadas por el efecto de Isla de Calor Urbana, son más acusados en la salud humana. De lo que se deduce que es determinante conocer en profundidad la UHI nocturna y como afecta a los diferentes tipos de tejidos urbanos. Aparece aquí de nuevo el distinto comportamiento climático de los diferentes paisajes urbanos, y muy particularmente entre los espacios centrales y compactos (de elevada densidad, escasez de espacios verdes, bajo SVF, menos capaces de circulación del aire fresco y con una elevada proporción de espacios no permeables) y los paisajes del Sprawl (por lo general

¹¹ Y también, por lo general, a su mayor altitud. Los tejidos dispersos tienden a tener una mayor altitud que los compactos en el sistema metropolitano de Barcelona.

mejor dotados de verde, menos densos, mayor SVF, más permeables y donde el aire fresco circula con mayor facilidad).

Como se puso de relieve en la contribución decimoséptima, existe un elevado consenso académico en que la temperatura de la superficie terrestre (LST) juega un papel fundamental en la generación de UHI, representando un elemento determinante de la distribución de calor entre la superficie de la tierra y la atmósfera. La LST, como se ha indicado, es una variable clave en la regulación de los flujos de radiación y los intercambios de calor, latentes y sensibles. Sin embargo, la LST nocturna es poco conocida debido a problemas estructurales relacionados con la disponibilidad de datos con suficiente resolución para ser analizados en detalle. La mayoría de los sensores satelitales permiten obtener imágenes térmicas diurnas, pero de forma mucho más limitada datos térmicos nocturnos. Sólo MODIS o Sentinel 3 proporcionan abundantes imágenes térmicas nocturnas, pero la baja resolución de estas imágenes (1 km / píxel) dificulta en extremo la construcción de modelos detallados de la UHI durante la noche. Por estos motivos, *la estimación del UHI nocturna continúa siendo, por lo general, un desafío pendiente.*

En este contexto, *la contribución decimonovena ha tenido como objetivo determinar la LST nocturna del Área Metropolitana de Barcelona con un nivel de resolución de detalle, 30 m/píxel, superando el escaso detalle de los sensores satelitales convencionales.* En el trabajo seleccionado como contribución decimoséptima, el estudio de la UHI a escala detallada se había limitado a las horas en que la Tierra recibe de forma directa radiación solar. El estudio de la UHI nocturna se había limitado a analizar las imágenes térmicas suministradas por MODIS, de baja resolución, así como a la construcción de una serie de modelos de enfriamiento nocturno, los cuales, a pesar de representar un primer ejercicio no exento de interés, carecían de un grado de definición suficiente para el estudio a nivel de detalle de la isla de calor durante la noche.

Por ello, en el trabajo publicado en Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (2021) se propone *una nueva metodología basada en contrastar las imágenes nocturnas de Landsat con las diurnas.*

Los resultados de la citada investigación, referidos a un mes especialmente cálido, representativo de un episodio de ola de calor, confirman que *la UHI nocturna en el Área Metropolitana de Barcelona es mucho más acusada que la diurna* (del orden de un 13,5% respecto a su entorno rural, frente al 7,1% durante el día). A su vez, *permiten visualizar una distribución espacial muy diferente respecto a la UHI diurna.* Si durante el día los tejidos residenciales de la ciudad central y de su continuo urbano, no destacan por su elevado calor, debido al efecto beneficioso de la cercanía al mar, durante la noche, en plena canícula veraniega, y debido a la mayor inercia térmica del agua, el calor acumulado en las estructuras urbanas y edificadas aparece con toda su intensidad. Las brisas marinas, del mar a la ciudad durante las horas de máxima insolación diurna, cesan durante las calurosas noches veraniegas, no permitiendo refrescar los espacios centrales. A su vez, el menor Sky View Factor de éstos dificulta la disipación del calor acumulado, generando el acusado bochorno (con humedades que rondan el 90%) nocturno, característico de las olas de calor nocturnas del Área Metropolitana.

El análisis de la UHI nocturna ratificó, asimismo, el mejor desempeño de los paisajes de Sprawl en cuanto a la temperatura nocturna. Durante la noche el puerto, el aeropuerto y el tejido urbano compacto fueron las cubiertas de suelo con mayor temperatura. Por el contrario, los espacios forestales, las marismas y los terrenos rurales con abundante vegetación fueron las cubiertas de suelo más frescas. La zona de edificación discontinua (“discontinuous urban fabric”) alcanzó unos 1,5 grados menos de temperatura que la cubierta urbana continua (“continuous urban fabric”), aunque superior a la temperatura media del conjunto de la AMB.

De forma más precisa, según los usos de suelo de Urban Atlas, *las viviendas unifamiliares manifestaron una temperatura incluso ligeramente inferior a la media metropolitana, siendo 2,5°C más frescas que la compacta ciudad central, los centros históricos, e incluso las zonas residenciales de densidad media y edificación abierta.*

Por su parte, *el modelo explicativo de la variación espacial de la LST, alcanzó un nivel explicativo muy elevado, superior al 90%. El buen desempeño del modelo desarrollado posibilita reducir la escala (“downscaling”) de la LST a una resolución espacial más alta: de los 30 metros/píxel originales, usando la información de Landsat 8, a los 10 metros/píxel, a través de Sentinel 2 e, incluso, 1 metro/píxel, utilizando información de origen de esa resolución facilitada por el Instituto Cartográfico de Cataluña.*

Finalmente, la contribución vigésima (*Modelling nighttime air temperature from remote sensing imagery and GIS data*, publicada en los Proceedings de SPIE, 11888, Space, Satellites, and Sustainability II, 118880H, 2021) aborda el tema central de *la interacción entre el clima y la salud*. Confort y salud son aspectos íntimamente relacionados. Afectando el clima urbano, diurno, pero sobre todo nocturno, al bienestar humano. En este sentido la última de las investigaciones seleccionadas en el Capítulo VI aborda este tema central de la planificación urbana y territorial. La reciente pandemia ha venido a poner en primer plano el protagonismo que en el planeamiento urbano debe tener la protección de la salud. Y es un hecho evidente que *el calentamiento global, con el incremento de las temperaturas, afecta de forma muy especial a la salud humana.*

Como se ha desarrollado a lo largo del Capítulo VI, la literatura especializada ha destacado la singular importancia de la LST en la generación de la Isla de Calor Urbana (UHI). Dado que es durante la noche cuando los efectos de la UHI se hacen más evidentes (contribución decimonovena), debido a la baja capacidad de enfriamiento de los materiales de construcción urbana, *es durante la noche cuando las temperaturas pueden causar mayores riesgos para la salud*. Sin embargo, continúa representando un paradigma (entendido como el consenso científico en un momento dado¹²) el pensamiento establecido por Olgyay y Givoni relativo a que el confort climático se establece durante el día y no la noche. Así, temperaturas tórridas nocturnas, superiores a los 25 grados Celsius, se encontrarían en la zona de confort humano si la humedad no superase el 75/80%. El ajuste de los gráficos a situaciones diurnas conduce, por lo general de forma equivocada, a considerar “confortables” las noches con temperaturas tórridas.

Los efectos de las *olas de calor* (HW) sobre la población han sido descritos por numerosos autores que han establecido claras relaciones entre las altas temperaturas, la morbilidad y la mortalidad, especialmente en enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Dicha literatura científica también ha destacado el agravamiento especial que las elevadas temperaturas nocturnas tienen en la salud humana, al no permitir al organismo humano el necesario descanso nocturno. Frente al paradigma establecido, la temperatura y el confort nocturno juegan un papel clave en la salud.

Sin embargo, el estudio de la UHI nocturna aún está poco desarrollado, debido a los problemas estructurales analizados en la contribución decimonovena: por un lado, la escasez de estaciones meteorológicas que permitan obtener la temperatura del aire (LSAT) con un grado adecuado de

¹² Kuhn, Thomas S. (2005). La estructura de las revoluciones científicas. Fondo de Cultura Económica de México.

resolución espacial. Y, por otro, por la limitada disponibilidad temporal de imágenes satelitales nocturnas de media/alta resolución que permitan conocer la LST de noche. En este contexto, la contribución decimonovena ha planteado, como se ha visto, un método práctico para reducir la escala de la UHI nocturna, basada en las limitadas imágenes Landsat disponibles durante la noche.

Sin embargo, la integración de la LST (obtenida a partir de imágenes de teledetección) con la LSAT (obtenida de estaciones meteorológicas) sigue siendo un reto pendiente. La estimación correcta de la temperatura del aire a ≈ 2 m de altura sobre el suelo (LSAT) a partir de LST es posible pero compleja. El gradiente vertical a aplicar es función del balance de la energía superficial y de su distribución en el aire, hecho que varía en función de la naturaleza de la superficie, del instante del día, así como de las condiciones de ventilación y circulación del aire.

En este contexto, *el objetivo de la investigación seleccionada como aportación vigésima de la tesis ha sido integrar la información derivada de la LST nocturna con las medidas "in situ" de la LSAT obtenidas en estaciones meteorológicas*. Dicha integración permite conocer en detalle la distribución espacial de la temperatura de aire en el momento de análisis, y por tanto la isla de calor (nocturna) derivada de la misma. *Es esa temperatura de aire nocturna la que tiene un efecto relevante en el confort humano y que por tanto permite establecer el riesgo para la salud*, objetivo último del trabajo presentado como última aportación.

En cuanto a los principales resultados obtenidos por la citada investigación, cabe destacar, en primer lugar, *la confirmación de la hipótesis del mayor protagonismo de las elevadas temperaturas nocturnas como un mayor riesgo para la salud*. La elevación de las temperaturas máximas (diurnas) y mínimas (nocturnas) a lo largo del año genera, por regla general, una reducción de la mortalidad, sin embargo, a partir de determinado umbral, $27,7^{\circ}\text{C}$ de las máximas diurnas y $21,3^{\circ}\text{C}$ de las mínimas, la mortalidad empieza a crecer, especialmente en el caso de las temperaturas nocturnas donde a partir de los 25°C el crecimiento es exponencial. Mayor protagonismo del calor nocturno que confirman los modelos explicativos desarrollados.

La aportación vigésima obtiene *un modelado de la temperatura de aire óptimo ($R^2 = 0,943$)*, lo que significa su buen desempeño para explicar y simular la variación de las temperaturas mínimas del aire a lo largo del año, muy en especial en la época canicular veraniega. A su vez, *la fusión de la LST nocturna obtenida a partir de Landsat 8 (aportación decimonovena) con el modelo resultante de la temperatura del aire (obtenido a partir de las estaciones meteorológicas)*, permite, para los días más calurosos del año, replicar la UHI con una elevada resolución espacial (30 m/p). Si en la contribución decimonovena se obtuvo la UHI de noche a partir de la LST, en la aportación final de esta tesis se hace lo propio con la LSAT. Es decir, con la temperatura de percepción humana, que es la que genera (cuando es excesivamente elevada) el empeoramiento de la salud, e incluso, de la mortalidad.

En conclusión, los trabajos presentados en el capítulo final de la tesis permiten resumir las principales aportaciones del modo que sigue:

1. *Mejorar la comprensión de la isla de calor de Barcelona y su Área Metropolitana, trascendiendo los tradicionales estudios acerca de la UHI, que suelen limitarse a las temperaturas diurnas, puesto que es en la noche donde la acumulación de calor en las cubiertas y los edificios urbanos es más acusada.*
2. *Evaluar el grado de resiliencia al calentamiento global de los distintos tipos de paisajes urbanos. En este sentido, confirmar el mejor desempeño climático de los espacios del Urban*

Sprawl, como consecuencia de la mayor superficie de áreas verdes, no solo públicas sino también privadas.

3. *Conocer el efecto benefactor del urban greenery en la suavización de las temperaturas extremas. Con ello, trascender una identificación en exceso simplista de + Sprawl → - Calor. Es la cantidad y la calidad de la vegetación, y no tanto el modelo de urbanización disperso, lo que permite una mejor adaptación y resiliencia al calentamiento global.*
4. *Desde el punto de vista técnico, reducir la escala de las imágenes nocturnas de la isla de calor basada en la LST a una mayor resolución espacial. Esta reducción (“downscaling”) es de crucial importancia para poder desarrollar políticas urbanas, a nivel de planeamiento general (“climatopes”) y de detalle.*
5. *Modelar la temperatura del aire a una escala de detalle, compatible con los requerimientos exigidos en los estudios urbanos, trascendiendo así la información suministrada por las (escasas) estaciones meteorológicas o los estudios basados, tan sólo, en las temperaturas de superficie.*
6. *No menos importante, analizar climáticamente la morfología urbana y del espacio público nos permite evaluar el riesgo para la salud de los eventos de calor extremo, diferenciando las olas de calor diurnas y nocturnas.*

Todo lo anterior ha de permitir *desarrollar instrumentos de planeamiento urbano y territorial más adecuados para adaptarnos al cambio climático*, sin comprometer la utilización racional de los recursos. El Sprawl, no puede ser interpretado como la única ni más eficiente solución de adaptación al mismo. Las políticas sobre el incremento y democratización del verde urbano, la reducción del grado de impermeabilización del suelo, el incremento del albedo de los pavimentos urbanos y de los edificios de la ciudad y el diseño de la ciudad atendiendo una adecuada circulación del aire fresco, son entre otros, instrumentos de planeamiento y de proyectación que han de ayudar a adaptar la ciudad al cambio climático.

La presente tesis doctoral ha tenido por objetivo central el *análisis del fenómeno de la dispersión de la urbanización llamado Urban Sprawl, a escala planetaria, partiendo de la hipótesis de que se trata de un proceso insostenible.*

Su desarrollo, nos ha conducido por un camino que ha llevado, primero, al estudio de como el modelo de Garden City, pasó de representar un tipo de *urbanismo vernáculo* a finales del siglo XIX e inicios del XX, a convertirse en *international style*, generalizando el modelo de vida estadounidense de la postguerra mundial. Partiendo de la tesis de master, donde se profundizaba en el estudio comparado entre España y México, el Capítulo II ha mostrado que *el fenómeno del Urban Sprawl tiene, en la actualidad, alcance planetario*. Concretamente, que es en la periferia de las metrópolis, no tanto en las ciudades medias y pequeñas, donde se están produciendo los procesos más acusados de consumo masivo de suelo.

Ese camino nos ha llevado (Capítulo III) a *estudiar la relación entre la estructura urbana y el Sprawl*. Se ha sustentado *la hipótesis + Policentrismo → - Sprawl*. Hipótesis que se ha corroborado por medio de la metodología del Valor de Interacción. Dicha metodología ha permitido caracterizar el Sistema Urbano Español, así como medir el grado de monocentrismo/policentrismo de los sistemas urbanos y metropolitanos. El estudio pormenorizado de los sistemas metropolitanos de Madrid y Barcelona, así como de Chicago y

Los Ángeles permite confirmar la validez de dicha hipótesis, así como demostrar que las aglomeraciones monocéntricas son, por lo general, menos eficientes desde el punto de vista del consumo de suelo y de la movilidad urbana.

El Capítulo IV ha representado la *confirmación de la generalización planetaria del Urban Sprawl, mediante la aportación de una base de datos original, basada en el análisis de las luces nocturnas*. El devenir de la tesis ha conducido a estudiar las *megalópolis, como forma de urbanización propia del siglo XXI*, en el que desbordamiento de las áreas metropolitanas (como a finales del siglo XIX y principios del XX había sucedido con el desbordamiento de las ciudades) ha llevado a estructuras urbanizadas de mayor escala. Si la metropolitanización había conducido al fenómeno de generar “ciudad de ciudades”, la megalopolitanización ha llevado al surgimiento de la “metrópoli de metrópolis”. La urbanización, lejos de llegar a su final, como habían pronosticado los geógrafos urbanos en las décadas del 70 y 80 del siglo XX, ha seguido expandiéndose y desparramándose a escala planetaria, convirtiendo en certeza la tesis de Ramón Margalef acerca de la “inversión topológica del paisaje”.

Camino que ha llevado, en consecuencia, a dirimir el concepto contemporáneo de urbanización, a diferenciar las áreas urbanas de las rurales (más allá de la identificación “administrativa” de las Naciones Unidas), así como a identificar los diferentes “paisajes” de los asentamientos humanos: *centrales, periurbanos, rurbanos y rurales*. Los territorios del Sprawl, estrechamente vinculados a los paisajes suburbanos, colonizan progresivamente los intersticios del territorio urbanizado, abarcando espacios cada vez más extensos, que se han denominado paisajes rurbanos. El Ex - Urban Sprawl es una realidad a escala planetaria.

El Capítulo V se detiene, en este camino, en la *identificación de los tejidos urbanos, y muy particularmente del Urban Sprawl, por medio de los más recientes sensores satelitales*. A diferencia del capítulo anterior en que era todo el planeta el objeto de análisis, y era el fenómeno global de la urbanización el centro de atención, aquí el estudio aterriza a escala “local”, metropolitana en nuestro caso. Con Barcelona como centro de atención. Se trata de dilucidar si a esa escala de detalle, las luces nocturnas permiten detectar de forma robusta los diferentes tipos de “tejidos urbanos” (no de “paisajes” globales, como en el capítulo anterior), y muy particularmente los resultantes del Sprawl. Los resultados, en este terreno, presentan claro-oscuros. Por un lado, y de forma manifiesta, los tejidos residenciales más densos o los caracterizados por actividad económica (industrial, logística o de servicios) son fácilmente detectados; por otro lado, a medida que decae la densidad residencial, y muy especialmente en el caso de los tejidos menos densos, la metodología basada en el estudio de las luces nocturnas muestra algunas limitaciones estructurales. Los tejidos característicos del Sprawl son elusivos a su plena y eficiente detección.

Finalmente, el devenir de la tesis confluye en el *estudio del Sprawl en relación al cambio climático y al calentamiento global*. Para ello se analiza de forma pormenorizada la Isla de Calor Urbana del Área Metropolitana de Barcelona por medio de sensores satelitales que permiten cartografiar en detalle la Land Surface Temperature, y por tanto la Isla de Calor Urbana metropolitana. Dicho estudio posibilita, igualmente, conocer el comportamiento climático de las diferentes cubiertas de suelo, desarrollando herramientas como los Climatetopes o las Local Climate Zones, de enorme importancia para la inclusión de la *evaluación climática en el planeamiento urbano y territorial*.

La investigación desarrollada permite, asimismo, evaluar el papel desempeñado por diversos indicadores en la regulación y adaptación climática. Muy especialmente el de la vegetación (en la que los parques urbanos fungen como auténticas islas de frío en el contexto de la Isla de Calor Urbana), el albedo y el tipo de materiales, el grado de permeabilidad del suelo, la intensidad de

la edificación, el Sky View Factor y la ventilación (con la generación de cañones urbanos). Aspectos, todos ellos, clave para poder abordar con éxito la *rehabilitación climática de los barrios*, objetivo absolutamente clave para poder adaptar con éxito los tejidos urbanos al calentamiento global y a sus eventos extremos, especialmente las olas de calor.

El devenir de la tesis conduce también, en su último capítulo y de forma muy singular, a estudiar la *Isla de Calor Nocturna* y sus efectos en la salud. *La regulación del clima urbano no sólo afecta al confort humano sino también, y muy especialmente, a la salud*. Y, en este sentido, las elevadas temperaturas nocturnas ocupan, especialmente en el área metropolitana de Barcelona, un papel fundamental. Las noches tropicales, sobre todo las noches tórridas, afectan de forma a veces irreversible (en ausencia de sistemas de acondicionamiento) a la salud humana. El estudio de las temperaturas de aire, a partir de las de suelo anteriormente obtenidas, es por lo tanto especialmente relevante para conocer, anticipar y corregir el riesgo de las olas de calor, principalmente de las olas de calor nocturnas.

El recorrido de la tesis, su conclusión final, parecen rehabilitar la concepción inicial sobre el Urban Sprawl. La dispersión de la urbanización, su progresivo desparramamiento, vistas inicialmente de forma negativa (un modelo “depredador”, “insostenible”), parecen devenir, desde la perspectiva del cambio climático, en una forma adecuada de combatir el calentamiento global. *El mejor desempeño climático de los territorios del Sprawl es un hecho indudable*. El Urban Sprawl parece, al final, ganar la partida.

Sin embargo, esta conclusión no puede ser aceptada. La dispersión de la urbanización tiene un efecto demoledor en cuanto a la utilización de ese recurso escaso que es el suelo. Representa un modelo de urbanización que malversa los recursos materiales. Implica un sistema de movilidad insostenible. Polariza y segmenta el espacio, desde la perspectiva social, haciéndolo menos igualitario y democrático. *Desde la perspectiva climática de la mitigación, el Urban Sprawl es el principal causante de la generación de gases efecto invernadero*, tanto desde un punto de vista estático, es decir, las emisiones de las viviendas unifamiliares de baja densidad, como desde el punto de vista dinámico de la movilidad generada, basada en vehículos privados.

El gran reto del planeamiento territorial y urbano es corregir esos déficits sin comprometer la calidad de vida, el confort y la salud humana. En este sentido es preciso proceder a una reforma radical de los tejidos urbanos heredados. El modelo de ciudad compacta, históricamente heredado, no puede ser considerado, sin más, el paradigma de la sostenibilidad. Una ciudad excesivamente densa, con una reducida proporción de espacio libre por habitante, donde el espacio verde es insuficiente, donde la especulación inmobiliaria (las leyes del mercado) se sobrepone al interés colectivo, que dificulta e impide la circulación de aire fresco, una ciudad altamente impermeabilizada, donde la escorrentía contamina el agua y donde la contaminación reina a sus anchas, no puede ser considerada el paradigma de nada. En este sentido la ciudad compacta debe aprender del verde presente en el Sprawl. *La compacidad verde se presenta como el nuevo paradigma*.

Cabe concluir, por tanto, reiterando que el Urban Sprawl, a pesar de su mejor adaptación al clima, continúa siendo un modelo de urbanización insostenible, que debe ser combatido y limitado. Y que, de sus cenizas, debe surgir una ciudad compacta de nuevo cuño. Una ciudad vivible, adaptada al clima. Una nueva ciudad compacta y verde.

Bibliografía

BIBLIOGRAFIA

Aguado, D., Roca, J. & Leal, J. (2008). *5 x 50. Cinco paisajes urbanos por cincuenta años*. Madrid, Ministerio de la Vivienda (Catálogo de la Exposición). <https://doi.org/10.5821/ace.v3i7.2452>.

Alcoforado, M.J. & Matzerakis, A. (2010). Planning with Urban Climate in Different Climatic Zones. *Geographicalia*, 57, pp 5-39.

Alhaddad, B., Burns, M. & Roca, J. (2007). Texture Analysis for Correcting and Detecting Classification Structures in Urban Land Uses. Metropolitan Area Case Study – Spain. *IEEE Conference, Urban Remote Sensing Joint Event*, Paris, Francia. <https://ieeexplore.ieee.org/document/4234410>.

AlHaddad, B., Roca, J. & García, J. (2008). Satellite Imagery and LIDAR Data for Efficiently Describing Structures and Densities in Residential Urban Land Use Classification. *XXI ISPRS Congress*. Beijing. p. 35-40. <https://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/tc8.aspx>.

Alhaddad, B., Roca, J. & Burns, M. (2009). Monitoring urban sprawl from historical aerial photographs and satellite imagery using texture analysis and mathematical morphology approaches. *49th European Congress of the Regional Science Association International - 25th to 29th of August 2009 - Lodz, Poland*.

Alonso, W. (1964). *Location and Land Use*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Alperovich, G. (1993). An Explanatory Model of the City-Size Distribution: Evidence from Cross country Data. *Urban Studies*, 30-9, pp 1591–1601.

Anas, A. & KIM, I. (1996). General equilibrium models of polycentric urban land use with endogenous congestion and job agglomeration. *Journal of Urban Economics*, 40, pp 232-256.

Anas, A., Arnott, R. & Small, K. A. (1998). Urban spatial structure. *Journal of Economic Literature*, 36, pp 1426-1464.

Angel, S., & others (2011). The dimensions of global urban expansion: Estimates and projections for all countries, 2000-2050. *Progress in Planning*, vol. 75, pp. 53-107.

Área Metropolitana de Barcelona, (2015). *La Isla de Calor Urbano en el Área Metropolitana de Barcelona y la adaptación al Cambio Climático*. AMB.

Arellano, B. & Roca, J. (2009). Algunas consideraciones sobre el sprawl en España y México. *V Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual*. Barcelona. <https://doi.org/10.5821/ctv.7543>.

Arellano, B. & Roca, J. (2009). Some Considerations about Urban Sprawl in Spain and Mexico. *EURA Congress. City Futures in a Globalising World: An international conference on globalism and urban change*. Madrid. <http://www.cityfutures2009.com/papers.html>.

Arellano, B. & Roca, J., Queraltó, Pau & Al Haddad, B. (2009). Some Considerations about the Urban Sprawl Process in USA, Mexico and Spain. *49th European Congress of the Regional Science Association International*. Lodz. https://ersa.org/wp-content/uploads/2016/02/Final_programme_-_25_August_2009.pdf.

Arellano, B. & Roca, J. (2010a). El Urban Sprawl, ¿Un Fenómeno de Alcance Planetario? Los Ejemplos de México y España. *ACE (Arquitectura, Ciudad y Entorno)*, 4 (12), pp 115-147. <https://doi.org/10.5821/ace.v4i12.2489>.

Arellano, B. & Roca, J. (2010b). The Urban Sprawl: a planetary growth process? An overview. *VI Congreso Ciudad y Territorio Virtual*, UABC, Mexicali (México).

ARELLANO, B. y ROCA, J. (2012). Sprawl en las metrópolis europeas. Las periferias metropolitanas, ¿principal escenario de la dispersión de la urbanización en Europa? *ACE (Architecture, City and Environment)*, 7 (20), pp 95-114.

Arellano, B. & Roca, J. (2015). Planificación Urbana y Cambio Climático. *Proceedings of International Conference of Regional Science*. XLI Reunión de Estudios Regionales AECR. Reus, 2015.

Arellano, B. & Roca, J. (2016). Identifying Urban Heat Island at Medium Scale: The Barcelona Case. *11th Congress Virtual City and Territory, 11 VCT Proceedings book*, pp 798-812.

Arellano, B. and Roca, J. (2019a). Multi-scale approach to quantify the influence of urban green spaces on urban climate. *Proc. SPIE 11127*, Earth Observing Systems XXIV, 111272E.

Arellano, B. and Roca, J. (2019b). Combining different sensors for the detailed analysis of the daytime and nighttime UHI. *Proc. SPIE 11157*, Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments IV, 1115703.

Arellano, B. and Roca, J. (2020). Urban landscapes and night time Urban Heat Island. *Proc. of SPIE 11535*, Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments V 1153504.

Architectural Institute of Japan (2000). *Urban Environmental Climatic Atlas: urban development utilizing climate information*. Tokyo.

Ascher, F. (1995). *Metápolis ou l'avenir des villes*. Paris, Odile Jacob.

Atkinson, P.E. & Tate, N.J. (1999). Techniques for the Analysis of Spatial Data. In *Advances in Remote Sensing and GIS Analysis*. John Wiley and Sons, Chichester, Campbell.

Avery, T.A. & Berlin, G.L. (1992). *Fundamentals of Remote Sensing and Air Photo Interpretation*. Prentice Hall. Chapter 6.

Bauer, G. & Roux, J.M. (1976). *La rurbanization, ou la ville éparpillée*. París, Ed. du Seuil.

Baumüller, J., Flassak, T., Schädler, G., Keim, M. & Lohmeyer, A. (1998). 'Urban climate 21'—*Climatological basics and design features for 'Stuttgart 21'*. Report of Research Center for Urban Safety and Security, Kobe University, 1, pp 42-52.

Berry, B.J.L. (1961). City Size Distributions and Economic Development. *Economic Development and Cultural Change*, 9-4-1, pp 593–587.

Berry, B. (1976). *The Counterurbanization Process: Urban American since 1970 en su Urbanization and Counterurbanization*. Beverly Hills, Sage.

Berry, B.J.L. & Horton, F.E. (1970). *Geographic perspectives on urban systems*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.

Berg, L. (1982). *Urban Europa. A study of Urban Growth and Decline*. Pargamon, Oxford.

Bhaduri, B., Bright, E., Coleman, P., and Urban, M. (2007). LandScan USA: A High Resolution Geospatial and Temporal Modeling Approach for Population Distribution and Dynamics. *GeoJournal*, 69, 103-117.

Black, D. & Henderson, J.V. (2003). Urban Evolution in the USA. *Journal of Economic Geography*, 3, pp 343-372.

Bogart, W. T. & Ferry, W. C. (1999). Employment centres in Greater Cleveland: evidence of evolution in a formerly monocentric city. *Urban Studies*, 36, pp 2099-2110.

Boix, R. (2007). Concepto y Delimitación de áreas metropolitanas: una aplicación a las áreas metropolitanas de España. *Seminario Centro de Estudios Andaluces. Las grandes áreas metropolitanas españolas en una perspectiva comparada*. Sevilla: Consejería de Presidencia.

Borsdorf, A. (2003). Cómo modelar el desarrollo y la dinámica de la ciudad latinoamericana. *Eure*, 29 (86), pp 37-49.

Boventer, E. von. (1976). Transportation costs, accessibility and agglomeration economies: centers, subcenters and metropolitan structure. *Papers of the Regional Science Association*, 37, pp 167-184.

Brenner, N. & Keil, R. (2014). From Global Cities to Globalized Urbanization. *Glocalism: Journal of Culture, Politics and Innovation*. 2014, 3.

BUREAU OF THE BUDGET (1964). *Standard Metropolitan Statistical Areas*. Washington DC: Government Printing Office.

BUREAU OF THE CENSUS (1942). *Sixteenth Census of the United States: 1940*. Washington DC: US Government Printing Office.

BUREAU OF THE CENSUS (2010). *Proposed Urban Area Criteria for the 2010 Census*. Federal Register, Typology 75, No. 163 / Tuesday, August 24, 2010 / Notices, 2010.

Burns, M. & M. Moix & J. Roca (2001). Contrasting Indications of Polycentrism within Spain's Metropolitan Urban Regions. *Eighth European Estate Society Conference*, Alicante, June 26-29.

Carbonell, A. & Yaro, R.D. (2005). American Spatial Development and the New Megalopolis. *Land Lines*. Lincoln Institute of Land Policy, 17 (2), April 2005.

Carreras, J.M., Otero, M. & Ruiz, E. (2009). Aglomeracions Metropolitanas Europees. *Papers*, 50, p. 246.

Carroll, G. (1982). National city size distributions: what do we know after 67 years of research? *Progress in Human Geography*, 6, pp 1-43.

Castañer, M. & J. Vicente & G. Boix (2000). *Áreas urbanas y movilidad laboral en España*. Servei de Publicacions, Universitat de Girona.

Cerda, J. & Marmolejo, C. (2010). De la accesibilidad a la funcionalidad del territorio: una nueva dimensión para entender la estructura urbano-residencial de las áreas metropolitanas de Santiago (Chile) y Barcelona (España). *Revista de Geografía Norte Grande*, 46, pp 5-27.

Cervero, R. (1989). *America's Suburban Centers: The Land Use Transportation Link*. Boston, MA: Unwin Hyman.

Cervero, R. & Wu, K.L. (1997). Polycentrism, commuting and residential location in the San Francisco Bay area. *Environment and Planning A*, 29, pp 865-886.

Chen 1, J., Cao, X., Peng, S. & Ren, H. (2017). Analysis and Applications of GlobeLand30: A Review. *Int. J. Geo-Inf.* 6, 230; doi:10.3390/ijgi6080230

Cheshire, P. (1999). Trends in Sizes and Structure of Urban Areas. Cheshire, P. & Mills, E. S. (eds) *Handbook of Regional and Urban Economics*. Amsterdam, Elsevier Science, B. V.

Cheshire P.C. & Hay D.G. (1989). *Urban Problems in Western Europe: An Economic Analysis*. Londres, Unwin Hyman.

Cinzano, P.; Falchi, F. & Elvidge, C.D. (2001). The first World Atlas of the artificial night sky brightness. *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 328, pp 689-707.

Clark, J., Munroe, D. & Irving, E. (2006). Exurban Settlement Pattern and the Exurban Condition: A of US Metropolitan Areas. *53rd Annual North American Meetings of the Regional Science Association*, Toronto, November 16, 2006.

Clawson, M. (2001). *Suburban Land Conversion in the United States: An Economic and Governmental Process*. Routledge.

Couch, C. & Karecha, J. (2006). Controlling urban sprawl: Some experiences from Liverpool. *Cities*, 23 (5), pp 353–363.

Coombes, M. & Openshaw, S. (1982). The use and definition of travel-to-work areas in Great Britain: some comments, *Regional Studies*, 16, pp 141-149.

CPSV (2001). *La caracterización territorial y funcional de las áreas metropolitanas españolas*. Barcelona: CPSV, UPC.

Craig, S. G. & Ng, P. T. (2001). Using quantile smoothing splines to identify employment subcenters in a multicentric urban area. *Journal of Urban Economics*, 49, pp 100-120.

Curran, P.J. (1985). *Principles of Remote Sensing*. Longman. Group Limited, London.

Daniels, T. (1999). What to do about rural sprawl?. *American Planning Association Conference*. Seattle, WA.

Davis, K. & Hertz Golden, H. (1954). Urbanization and the Development of Pre-Industrial Area. *Economic Development and Cultural Change*, 3 (1), pp 6–26.

Dematteis, G. (1998). Suburbanización y periurbanización. Ciudades anglosajonas y ciudades latinas. En *La ciudad dispersa. Suburbanización y nuevas periferias*. Barcelona, Centro de Cultura Contemporánea de Barcelona.

Dematteis, G. (1991). Sistema locali nucleari e sistema a rete. Un contributo geografico all'interpretazioni delle dinamiche urbana. In Bertuglia, C. & La Bella, A. (ed). *I sistema urbani*. Milano, Franco Angeli, pp 417-441.

Demographia. (2007). *World Urban Areas*. <http://www.demographia.com/>.

Dewar, M. & Epstein, D. (2007). Planning for "Megaregions" in the United States. *Journal of Planning Literature*, 22, pp 108.

Dezert, B., Matton, A. & Steinberg, J. (1991). *Periurbanisation en France*. París, SEDES.

Dirección General de Urbanismo (1965). *Áreas Metropolitanas de España en 1960*. Madrid, Ministerio de la Vivienda.

Dobkins, L.H. & Ioannides, Y.M. (2000). Dynamic Evolution of the US City Size Distribution. Thisse, J.F. & Huriot, J.M. (eds.) *The Economics of Cities*. Cambridge, Cambridge University Press.

Doll, C.N.H., Muller, J.P. & Elvidge, C.D. (2000). Night-time imagery as a tool for global mapping of socio-economic parameters and greenhouse gas emissions. *Ambio*, 29 (3), pp 157-162.

Doll, C.N.H., Muller, J.P. & Morley, G.J. (2006). Mapping regional economic activity from nighttime light satellite imagery. *Ecological Economics*. 57, pp 75-92.

Dou, X., Arellano, B. & Roca, J. (2018). China's Interprovincial Population Floating Based on the Interaction Value Analysis Migratory system in China -Towards a bidirectional regional migration. *Geographical Research*, vol. 37, n. 9.

Du, H., Cai, W., Xu, Y., Wang, Z., Wang, Y., & Cai, Y. (2017). Quantifying the cool island effects of urban Green spaces using remote sensing Data. *Urban Forestry & Urban Greening*, 27, 24-31.

Eeckhout, J. (2004). Gibrat's law for (all) cities. *American Economic Review* , 94(5), pp 1429-1451.

Eeckhout, J. (2009). Gibrat's law for (all) cities: Reply. *American Economic Review*, 99(4), pp 1676-1683.

EC. (1999). *European Spatial Development Perspective* (Estrategia Territorial Europea) Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities, 82 p.

EC. (2007a). *Territorial Agenda of the European Union*. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities, 11 p.

EC. (2007b). *Leipzig Charter on Sustainable European Cities*. En línea. Consultado el 18/04/2022. https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/activity/urban/leipzig_charter.

EC. (2010). *Europa 2020. Una estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador*. Bruselas, Comunicación de la Comisión, 3 de marzo de 2010.

EC. (2011). *Cities of tomorrow: Challenges, visions, ways forward*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 112 p.

EEA (2006). *Urban sprawl in Europe: the ignored challenge* (Report N° 10/2006). Copenhagen, EEA, 60 p.

EEA (2016). *Copernicus Land Monitoring Service – High Resolution Layer Imperviousness Product Specifications*. European Environment Agency. <https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/imperviousness>.

Elvidge, C. D., Tuttle, B.T., Sutton, P.C., Baugh, K.E., Howard, A.T., Milesi, C., Bhaduri, B.L. & Nemani, R. (2007). Global Distribution and Density of Constructed Impervious Surfaces. *Sensors*, (7), pp 1962-1979.

Elvidge, C.D. Imhoff, M.L.; Baugh, K.E., Hobson, V.R., Nelson, I., Safran, J., Dietz, J.B. & Tuttle, B.T. (2001). Night-time lights of the world: 1994-1995. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*. 56, pp 81-99.

Elvidge, C.D., Baugh, K.E., Anderson, S.J., Sutton, P.C. & Ghosh, T. (2012). The Night Light Development Index (NLDI): a spatially explicit measure of human development from satellite data. *Social Geography*. 7, pp 23-35.

Elvidge, C.D., Baugh, K., Zhizhin, M. & Hsu, F. C. (2013). Why VIIRS data are superior to DMSP for mapping night-time lights. *Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network*, 35, 62-69.

Elvidge, C. D., Hsu, F., Baugh, K. E. & Ghosh, T. (2014). National Trends in Satellite-Observed Lighting: 1992–2012. in Weng, Q., *Global Urban Monitoring and Assessment through Earth Observation*, CRC Press.

Erickson, R. A. & Gentry, M. (1985). Suburban nucleations. *Geographic Review*, 75, pp 96-121.

European Environment Agency. (2006). *Urban sprawl in Europe: the ignored challenge*. Report N° 10/2006, Copenhagen, EEA.

European Environment Agency (2007). *CLC 2006 technical guidelines*. 66 pp. ISBN 978-92-9167-968-3. ISSN 1725-2237. DOI: 10.2800/12134.

European Commission (2014). *A harmonised definition of Cities and Rural Areas: The new Degree of Urbanisation*, Working Paper 1/2014.

EUROSTAT. (2004). *Urban Audit Methodological Handbook* Luxembourg Office for Official Publications of the European Communities, 87 p.

EUROSTAT (2010). *Regional Year Book 2010*. Luxembourg, Publications Office of the European Union, European Commission 2010.

European Union (2016). *Mapping Guide. For a European Urban Atlas*.

Ewing, R., Pendall, R. & Chen, D. (2002). *Measuring Sprawl and Its Impact*. Washington, D.C., Smart Growth America.

Fang, C. & Yu, D. (2016). *China's New Urbanization. Developmental Paths, Blueprints and Patterns*. Springer Berlin Heidelberg.

Fang, C. (2009). Urbanization and urban development in China after the reform and opening-up. *Economic Geography*, 29(1), pp 19–25.

Feria, J. M. (2008). Un ensayo metodológico de definición de las áreas metropolitanas de España a partir de la variable residencia-trabajo. *Investigaciones Geográficas*, 46, pp 49-68.

Feria, J. M. (a) (2010). La delimitación y organización espacial de las áreas metropolitanas españolas: una perspectiva desde la movilidad residencia-trabajo. *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*, vol. XLII-164, pp 189-210.

Feria, J. M. (b) (2010). La movilidad residencial y los procesos de urbanización metropolitanos en España. En Feria, J. M. & Albertos, J.M. (ed). *La Ciudad Metropolitana en España: procesos urbanos en los inicios del siglo XXI*. Pamplona: Civitas-Thomson Reuters, pp 23-47.

Fishman, R. (1990). America's New City. *The Wilson Quarterly*, 14.

Fishman, R. (2000). The American Planning Tradition. Fishman, R. (Ed.) *The American Planning Tradition: Culture and Policy*. Washington D.C., The Woodrow Wilson Center Press.

Friedl, M. A., McIver, D. K., Hodges, J. C. F., Zhang, X. Y., Muchoney, D., Strahler, A.H., Woodcock, C. E., Gopal, S., Schneider, A., Cooper, A., Baccini, A., Gao, F. & Schaaf, C. (2002). Global land cover mapping from MODIS: algorithms and early results. *Remote Sensing of Environment*, 83, 287–302.

Friedmann, J. (1986). The World City Hypothesis. *Development and Change*, 17, pp 69-83.

Florida, R., Gulden, T. & Mellander, C. (2008). The rise of the mega-region. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 1, pp 459-476.

Fujita, M. (1988). A monopolistic competition model of spatial agglomeration: differentiated products approach. *Regional Science and Urban Economics*, 18, pp 87-124.

Fujita, M. & Mori, T. (1997). Structural stability and evolution of urban systems. *Regional Science and Urban Economics*, 27, pp 399-442.

Fujita, M. & Ogawa, H. (1982). Multiple equilibria and structural transition of non-monocentric urban configurations. *Regional Science and Urban Economics*, 12, pp 161-196.

Fulton, W., Pendall, R., Nguyen, M. & Harrison, A. (2001). *Who Sprawls Most? How Growth Patterns Differ Across the U.S.* Washington, D.C., Center on Urban & Metropolitan Policy, The Brookings Institution, Survey Series.

Gabaix, X. (1999). Zipf's Law for Cities: An Explanation. *Quarterly Journal of Economics*, CXIV, pp 739–767.

Galster, G., Hanson, R. & Ratcliffe, M. R. (2001). Wrestling sprawl to the ground: Defining and measuring an elusive concept. *Housing Policy Debate*, 12 (4), pp 681-717.

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, pp 519-553.

- Garreau, J. (1991). *Edge City: Life on the New Frontier*. New York: Doubleday.
- Geddes, P. (1915). *Cities in Evolution*. Londres, Williams and Norgate.
- GEMACA Group for European Metropolitan Area Comparative Analysis (1996). *Les Régions Métropoles de l'Europe du Nord-Ouest, limites géographiques et structures économiques*. Paris: IAURIF-GEMACA.
- Ghosh, T., Powell, R.L., Elvidge, C.D., Baugh, K.E., Sutton, P.C. & Anderson, S. (2010). Shedding Light on the Global Distribution of Economic Activity. *The Open Geography Journal*, 3, pp 148-161.
- Gibrat, R. (1931). *Les inégalités économiques*. París, Librairie du Recueil Sirey.
- Giuliano, G., Redfearn, C., Agarwal, A. et al. (2007). Employment concentrations in Los Angeles, 1980–2000. *Environment and Planning A*, 39, pp 2935-2957.
- Giuliano, G. & Small, K. A. (1991). Subcenters in the Los Angeles region. *Regional Science and Urban Economics*, 21, pp 163-182.
- GLOBUS. Global Observatory on Urban Sprawl. <https://www.researchgate.net/project/GLOBUS-Global-Observatory-on-Urban-Sprawl>.
- González-Val, R., Lanaspá, L. & Sanz, F. (2008). *Nueva Evidencia sobre la Ley de Gibrat en Ciudades*. Zaragoza, Universidad de Zaragoza.
- Gordon, P. & Richardson, H. W. (1996). Beyond polycentricity: the dispersed metropolis, Los Angeles 1970–1990. *Journal of the American Planning Association*, pp 289-295.
- Gordon, P., Richardson, H. W. & Giuliano, G. (1989). *Travel trends in non-CBD activity centers*. Washington, DC: Report Ca-11-0032, Urban Mass Transit Administration, US Department of Transportation.
- Gordon, P., Richardson, H. W. & Wong, H. L. (1986). The distribution of population and employment in a polycentric city: the case of Los Angeles. *Environment and Planning A*, 18, pp 161–173.
- Gottmann, J. (1957). Megalopolis or the Urbanization of the Northeastern Seaboard. *Economic Geography*, 33 (3): 189-200.
- Gottmann, J. (1961). *Megalopolis: the urbanized northeastern seaboard of the United States*. New York, Twentieth Century Fund.
- Gottmann, J. (1976). Megalopolitan systems around the world. *Ekistics*, 243, pp 109-113.
- Greene, D. L. (1980). Recent trends in urban spatial structure. *Growth and Change*, 11, pp 29-40.
- Griffith, D. A. (1981a). Evaluating the transformation from a monocentric to a polycentric city. *Professional Geographer*, 33, pp 189-196.

Griffith, D. A. (b) (1981b). Modelling urban population density in a multi-centered city. *Journal of Urban Economics*, 9, pp 298-310.

Gu, C. & Pang, H. (2009). Evolution of Chinese urbanization spaces: Kernel spatial approach. *Scientia Geographica Sinica*, 29 (1), 10–14.

Guillevic, P., Koster, R., Suarez, M., Bounoua, L., Collatz, G., Los, S., et al. (2002). Influence of the interannual variability of vegetation on the surface energy balance - A global sensitivity study. *Journal of Hydrometeorology*, 617–629.

Guo, J., Ren, H., Zheng, Y., Lu, S. & Dong, J., (2020). Evaluation of Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 8/TIRS Images before and after Stray Light Correction Using the SURFRAD Dataset. *Remote Sensing*, 12, 1023.

Guo, Z. Wang, S.D., Chengc, M.M. & Shu, Y. (2012). Assess the effect of different degrees of urbanization on land surface temperature using remote sensing images. *Procedia Environmental Sciences*, 13, pp 935-942.

Hall, P. (1966). *The World Cities*. Londres, World University Library, Weidenfeld & Nicolson.

Hall, P. & Hay, D. (1980). *Growth Centres in the European Urban System*. Londres, Heinemann.

Hall, P. (2009). Looking Backward, Looking Forward: The City Region of the Mid-21st Century. *Regional Studies*, 43 (6), pp 803-817.

Hall, P. & Pain, K. *The Polycentric Metropolis. Learning from Mega-city Regions in Europe*. Londres, Earthscan, 2006.

Hall P., Thomas R., Gracey H. & Drewett R. (1973). *The Containment of Urban England*. Londres, George Allen & Unwin.

Hansen, M. C., Defries, R. S., Townshend, J. R. G., & Sohlberg, R. (2000). Global land cover classification at 1 km spatial resolution using a classification tree approach. *International Journal of Remote Sensing*, 21(6–7), pp 1331–1364.

Hartwick, P. & Hartwick, J. (1974). Efficient resource allocation in a multi-nucleated city with intermediate goods. *Quarterly Journal of Economics*, 88, pp 340-352.

Harvey, D. (1996). Cities or urbanization? In HARVEY, D. *City: Analysis of Urban Trends, Culture, Theory, Policy, Action*. 1: 1-2, pp 38-61.

He, C., Shi, P., Li, J., Chen, J., Pan, Y., Li, J., et al. (2006). Restoring urbanization process in China in the 1990 by using non-radiance calibrated DMSP/OLS nighttime light imagery and statistical data. *Chinese Sci Bull*, 51(13), pp 1614-1620.

Heikila, E., Gordon, P., Kim, J. I. et al. (1989). What happened to the CBD-distance gradient? Land values in a polycentric city. *Environment and Planning A*, 21, pp 221-232.

Healey, P. (2009). City Regions and Place Development. *Regional Studies*, 43 (6), pp 831-843.

Henderson, J. V. & Mitra, A. (1996). The new urban landscape: developers and edge cities. *Regional Science and Urban Economics*, 26, pp 613-643.

Herold, M., Liu X. & Clarke, K.C., (2003). Spatial metrics and image texture for mapping urban land use. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69, 9, pp 991-1001.

Hoorweg, D., Sugar, L. & Trejos, C.L. (2011). Cities and greenhouse gas emissions: moving forward. *Environment and Urbanization*, vol. 23, No. 1, pp. 207-227.

Indovina, F. et al (1990). *La città diffusa*. Venezia, Daest.

Indovina, F. (1998). Algunas consideracions sobre la "ciudad difusa". *Doc. Anál. Geogr*, 33, pp 21-32.

IPCC (2007). *Climate Change 2007: The Scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by S. Solomon et al., Cambridge Univ. Press, New York, 2007.

IPCC (2007). *Climate Change 2007. Synthesis Report*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland, 104 pp.

IPCC (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. Intergovernmental Panel on Climate Change, The Edinburgh Building, Shaftesbury Road, Cambridge CB2 8RU ENGLAND, 582 pp.

IPCC (2021). *Climate Change 2021. The Physical Science Basis*. Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Janoschka, M. (2002). El nuevo modelo de la ciudad latinoamericana: fragmentación y privatización. *Eure*, 28(85), pp 11-29.

Jiang, W., He, G., Long, T., Guo, H., Yin, R., Leng, W., Liu, H., & Wang, G. (2018). Potentiality of Using Luojia 1-01 Nighttime Light Imagery to Investigate Artificial Light Pollution. *Po* 18, 2900, pp 1-15.

KERN County Council of Governments (2005). *The Southern California Mega-region A Case Study of Global Gateway Regions: America's Third Century Strategy*. San Diego Association of Governments and Southern California Association of Governments.

Krugman, P. (1996). *The Self-organizing Economy*. Cambridge, MA, Blackwell.

Krugman, P. (1999). El tamaño de las ciudades. En Fujita, M., Krugman, P. & Venables, A.J. (eds.) *The Spatial Economy*. Massachusetts Institute of Technology.

Lang, R.E. & Dhavale, D. (2005). *Beyond Megalopolis: Exploring America's New "Megapolitan" Geography* (Census Report 05:01). VA, Metropolitan Institute at Virginia Tech.

Lang, R.E. & Knox, P.K. (2009). The New Metropolis: Rethinking Megalopolis. *Regional Studies*, 43 (6), pp 789-802.

Lasuén, J. R., Lorca, A. & Oria, J. (1967). City-Size Distributions and Economic Growth. *Ekistics*, 24-141, pp 221-226.

Lanaspa, L., Perdiguero, A.M. & Sanz, F. (2004). La distribución Del tamaño de las ciudades en España. *Revista de Economía Aplicada*, XI-(34, pp 5-16.

Levy, M. (2009). Gibrat's law for (All) cities, Comment. *American Economic Review*, 99-4, pp 1672-75.

Li, J. & Liu, Q. (2008). Comparison of NDBI and NDVI as indicators of surface urban heat island effect in MODIS imagery. International Conference on Earth Observation Data Processing and Analysis (ICEODPA), edited by Deren Li, Jianya Gong, Huayi Wu, *Proc. Of SPIE*, Vol. 7285, 728503.

Liu, Z., He, C., Zhang, Q., Huang, Q. & Yang, Y.(2012).Extracting the dynamics of urban expansion in China using DMSP-OLS nighttime light data from 1992 to 2008. *Landscape and Urban Planning* 106, pp 62– 72.

Loveland, T. R., Reed, B. C., Brown, J. F., Ohlen, D. O., Zhu, Z., Yang, L. & Merchant, J. W. (2010). Development of a global land cover characteristics database and IGBP DISCover from 1 km AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 21:6-7, 1303-1330.

Lowry, W.P. (1977). Empirical estimation of urban effects on climate: A problem analysis. *Journal of Applied Meteorology*, 16, pp 129-135.

Lucas, R. (1988). On the mechanics of economic development. *Journal of Monetary Economics*, 22, pp 3-42.

Malevergne, Y., Pisarenko, V. & Sornette, D. (2009). *Gibrat's Law for Cities: Uniformly Most Powerful Unbiased Test of the Pareto Against the Lognormal*. Swiss Finance Institute Research Paper, 9(40).

Margalef, R. (2005). Acelerada inversión de la topología de los sistemas epicontinentales humanizados. In Naredo, J.M., Gutiérrez, L. *La incidencia de la especie humana sobre la faz de la tierra (1955-2005)*. Universidad de Granada/Fundación César Manrique, Granada, 217-219.

Marmolejo, C. & Stallbohm, M. (2008). ¿Hacia un cambio de paradigma urbanístico en la Región Metropolitana de Barcelona? *Scripta Nova*, vol. XII, 270(65).

Marmolejo, C., Aguirre, C. & Ruiz, M. (2010). ¿Hacia un sistema de metrópolis españolas policéntricas?: caracterización de su estructura metropolitana. In Ley, A. & Arellano, B. *Proceedings del VI Congreso Ciudad y Territorio Virtual*. Mexicali: Universidad Autónoma de Baja California.

Martin-Vide, J. & Moreno-García, M.C. (2020). Probability values for the intensity of Barcelona's urban heat island (Spain). *Atmospheric Research*, 240, August 2020, 104877.

Matzarakis, A. (2005). Urban climate research in Germany. *IAUC Newsletter*, 11, pp 4-6.

Mcdonald, J. F. (1987). The identification of urban employment subcenters. *Journal of Urban Economics*, 21, pp 242-258.

Mcdonald, J. F. & Mcmillen, D. P. (1990). Employment subcenters and land values in a polycentric urban area: the case of Barcelona. *Environment and Planning A*, 22, pp 1561-1574.

Mcdonald, J. F. & Prather, P. J. (1994). Suburban employment centres: the case of Barcelona. *Urban Studies*, 31, pp 201-218.

Mckenzie, R.D. (1933). *The Metropolitan Community*. Nueva York, McGraw-Hill.

Mcmillen, D. P. (1996). One hundred fifty years of land values in Chicago: a nonparametric approach. *Journal of Urban Economics*, 40, pp 100-124.

Mcmillen, D. P. (2001). Non-parametric employment subcenter identification. *Journal of Urban Economics*, 50, pp 448-473.

Mcmillen, D. P. (2003). The return of centralization to Barcelona: using repeat sales to identify changes in house price distance gradients. *Regional Science and Urban Economics*, 33, pp 287-304.

Mcmillen, D. P. (2004). Employment densities, spatial autocorrelation, and subcenters in large metropolitan areas. *Journal of Regional Science*, 44, pp 225-243.

Mcmillen, D. P. & Lester, T. W. (2003). Evolving subcenters: employment and population densities in Barcelona, 1970–2020. *Journal of Housing Economics*, 12, pp 60-81.

Mcmillen, D. P. & Mcdonald, J. F. (1997). A nonparametric analysis of employment density in a polycentric city. *Journal of Regional Science*, 37, pp 591-612.

Mcmillen, D. P. & Mcdonald, J. F. (1998). Suburban subcenters and employment density in metropolitan Chicago. *Journal of Urban Economics*, 43-2, pp 157-180.

Meehl, G.A. & Tebaldi, C. (2004). More Intense, more Frequent, and longer lasting Heat Waves in the 21st Century. *Science*, 305-5686, pp 994-997.

Meng, C. L., Li, Z. L., Zhan, X., Shi, J. C., and Liu, C. Y. (2009). Land surface temperature data assimilation and its impact on evapotranspiration estimates from the Common Land Model. *Water Resources Research*, 45, pp 1-14.S

Min Zhao, Yuyu Zhou, Xuecao Li, Weiming Cheng, Chenghu Zhou, Ting Ma, Manchun Li & Kun Huang (2020). Mapping urban dynamics (1992-2018) in Southeast Asia using consistent nighttime light from DMSP an VIIRS. *Remote Sensing and Environment*, 248, 111980.

MINISTERIO DE FOMENTO (2000). *Atlas Estadístico de las Áreas Urbanas en España*. Madrid: Ministerio de Fomento.

MINISTERIO DE LA VIVIENDA (2005). *Atlas Estadístico de las Áreas Urbanas en España*. Madrid: Ministerio de la Vivienda.

MINISTERIO DE LA VIVIENDA (2007). *Atlas Estadístico de las Áreas Urbanas en España*. Madrid: Ministerio de la Vivienda.

MINISTERIO DE LA VIVIENDA (2009). *Atlas Estadístico de las Áreas Urbanas en España*. Madrid: Ministerio de la Vivienda.

Monclús, J. (2008). Estrategias urbanísticas y crecimiento suburbano en las ciudades españolas: el caso de Barcelona. En *La ciudad dispersa. Suburbanización y nuevas periferias*. Barcelona, Centro de Cultura Contemporánea de Barcelona.

Morgan, J. L., Gergel, S.E., & Coops, N. C. (2010). Aerial Photography: A Rapidly Evolving Tool for Ecological Management. *BioScience*, 60(1), pp 47–59.

Morrill, R. (2006). Classic Map Revisited: The Growth of Megalopolis. *The Professional Geographer*, 58 (2), pp 155-160.

Mumford, L. (1938). *The Culture of Cities*. Nueva York, Harcourt. Brace & world.

Muñiz, I., Galindo, A. & García-López, M. A. (2003)- Cubic spline density functions and satellite city delimitation: the case of Barcelona. *Urban Studies*, 40, pp 1303-1321.

Muth, R. F. (1969). *Cities and Housing: the spatial pattern of urban residential land use*. Chicago, IL: University of Chicago Press.

NASA. Night Lights (2012) - Flat map [en línea] Fecha de consulta: 23 de junio de 2014. Disponible en: <http://visibleearth.nasa.gov/view.php?id=79765>.

NASA Earth Observatory (2013). *Night Lights 2012-The Black Marble*.

<http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/view.php?id=79803> (30 October, 2013)

Nel-Lo, O. (1998). Los confines de la ciudad sin confines. Estructura urbana y límites administrativos en la ciudad difusa. In Moclús, F. J. (ed.). *La ciudad dispersa*. Barcelona: Centre de Cultura Contemporania de Barcelona, pp 17-33.

Nel-Lo, O. (2002). *Cataluña, ciudad de ciudades*. Lleida: Ed. Milenio.

Neuman, M. & Hull, A. (2009). The Futures of the City Region. *Regional Studies*, 43 (6), pp 777-787.

Norman, J., H. MacLean & C. Kennedy (2006). Comparing high and low residential density: life-cycle analysis of energy use and greenhouse gas emissions. *Journal of Urban Planning and Development*, vol. 132, No. 1, pp 10-21.

Numbersusa. (2012). *Urban Sprawl*. En línea. Fecha de consulta: 8 de febrero, 2012. Se encontraba disponible en: <http://www.numbersusa.com/content/issues/urban-sprawl.html>. Actualmente el link no es operativo.

NUREC (1994). *Atlas of Agglomerations in the European Union*. Vol. II. Spain. Duisburg: NUREC.

ORNL. Oak Ridge National Laboratory (2012). *Landscan* [en línea] Fecha de consulta: 23 de junio de 2014. Disponible en: <http://web.ornl.gov/sci/landscan/>.

Odland, J. (1978). The conditions for multi-center cities. *Economic Geography*, 54, pp 234–244.

Ogawa, H. & Fujita, M. (1980). Equilibrium land use patterns in a non-monocentric city. *Journal of Regional Science*, 20, pp 455-476.

Ojala, T. & Pietikäinen, M. (2004). *Machine Vision and Media Processing Unit*. University of Oulu, Finland.

Oke, T.R. (1973). City Size and the Urban Heat Island. *Atmospheric Environment*, Pergamon Press 1973, vol.7, pp 769-779.

Oke, T.R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 108, 1–24.

Oke, T.R. (1987). *Boundary Layer Climates*. Second edition 1987. Taylor & Francis.

Oke TR. (2006). Towards better scientific communication in urban climate. *Theoretical and Applied Climatology*, 84, pp 179–190.

Oliveira, S., & Andrade, H. V. (2011). The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: A case study in Lisbon. *Building and Environment*, 46-11, pp 2186-2194.

Roth M., Oke T. R., Emery W. J. (1989). Satellite-derived urban heat islands from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 10, Iss. 11.

Pareto, V. (1896). *Cours d'Economie Politique*. Geneva, Droz.

Parr, J. (1985). A Note on the Size Distribution of Cities over Time. *Journal of Urban Economics*, 18, pp 199-212.

Parsons, K. (2014). *Human thermal environments. The effects of hot, moderate and cold environments on human health, confort and performance*. 3rd edition. CRC Press.

Portas, N. & Domingues, A. (1998). La Región Atlántica Norte de Portugal: ¿Metrópolis o metápolis?. In Monclús, F. J. (ed). *La ciudad dispersa*. Barcelona: Centre de Cultura Contemporania de Barcelona.

Redfearn, C. L. (2007). The topography of metropolitan employment: identifying centers of employment in a polycentric urban area. *Journal of Urban Economics*, 61, pp 519-561.

Ren, C., Ng, E. & Katschner, L. (2007). An investigation into developing an urban climatic map for high density living – initial study in Hong Kong. *28th AIVC and 2nd Palenc Conference "Building Low Energy Cooling and Ventilation Technologies in the 21st Century"*, Crete, Greece, 27-29 September 2007.

Ridd, M. K. (1995). Exploring a V-I-S (vegetation - impervious surface - soil) model for urban ecosystem analysis trough remote sensing: comparative anatomy for cities. *International Journal of Remote Sensing*, 16- 12, pp 2165-2185.

RPA. Regional Plan Association. America 2050. *Megaregions* [en línea]. Disponible en: <http://www.america2050.org/megaregions.html>.

RPA. Regional Plan Association. America 2050 (2006). *A Prospectus*. Nueva York, 2006.

RPA. Regional Plan Association (2004). *Toward an American Spatial Development Perspective*. New York.

Roca, J. (2003). La delimitación de la ciudad ¿una cuestión imposible?. *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*, vol. XXXV, 135, pp 17-36.

Roca, J. & Arellano, B. (2010). La Distribución del tamaño de las Ciudades. La Ley de Zipf revisitada. In Ley, A. & Arellano, B. *Proceedings del VI Congreso Ciudad y Territorio Virtual*. Mexicali: Universidad Autónoma de Baja California.

Roca, J., Burns, M. & Moix, M. (2005). *Las Áreas Metropolitanas Españolas. Evolución 1991-2001*. Barcelona: CPSV, UPC,.

Roca, J. & Clusa, J. (1997). *La Delimitació de l'Àrea Metropolitana de Barcelona*. Barcelona: CPSV, UPC.

Roca, J., Marmolejo, C. & Moix, M. (2009). Urban Structure and Polycentrism: Towards a redefinition of the Sub-centre concept. *Urban Studies*, 46-13, pp 2841-2868.

Roca, J. & Moix, M. (2005). The interaction value: its scope and limits as an instrument for delimiting urban systems. *Regional Studies*, 39, pp 359-375.

Rosen, K.T. & Resnick, M. (1980). The size distribution of cities: an examination of the Pareto law and primacy. *Journal of Urban Economics*, 8, pp 165-186.

Roy, A. (2009). The 21st-Century Metropolis: New Geographies of Theory. *Regional Studies*, 43 (6), pp 819-830.

Royé, D. (2017). The effects of hot nights on mortality in arcelona, Spain. *International Journal of Biometeorology*, 61, pp 2127–2140.

Salingaros, N.. La ciudad compacta sustituye a la dispersión. En Indovina, F. (2007). *La ciudad de baja densidad. Lógicas, gestión y contención*. Barcelona, Diputació de Barcelona.

Salom, J. & Albertos, J. M. (2010). Densidad de La red viaria y forma urbana: Delimitación del espacio urbano en ocho aglomeraciones españolas. In FERIA, J. M. Y ALBERTOS, J.M. (ed). *La Ciudad Metropolitana en España: procesos urbanos en los inicios del siglo XXI*. Pamplona: Civitas-Thomson Reuters, pp 49-94.

Sassen, S. (1991). *The Global City: New York, London, Tokyo*. Princeton, Princeton University Press.

Scherer, D., Fehrenbach, U., Beha, H-D. & Parlow, E. (1999). Improved concepts and methods in analysis and evaluation of the urban climate for optimizing urban planning process. *Atmospheric Environment*, 33, pp 4185-4193.

Schneider, A. & Woodcock, C. (2008). Compact, Dispersed, Fragmented, Extensive? A Comparison of Urban Growth in Twenty-five Global Cities using Remotely Sensed Data, Pattern Metrics and Census Information. *Urban Studies*, Vol. 45, 3(659), pp 659-692.

Schwarz, N., Lautenbach, S., & Seppelt, R. (2011). Exploring indicators for quantifying surface heat islands of European cities with MODIS land surface temperatures". *Remote Sensing of Environment*, 115, pp 3175–3186.

Sobrino, J.A., Jiménez-Muñoz, J.C., Sòria, G., et al (2008). Land surface emissivity retrieval from different VNIR and TIR sensors. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens*, pp 46, 316–327.

Scott, H.J., Soja, E.W. & Storper, M. (2001). Global City-Regions. Scott, A. (Ed.) *Global City-Regions. Trends, Theory, Policy*. Oxford, Oxford University Press.

SEDESOL, CONAPO & INEGI (2004). *Delimitación de las Zonas Metropolitanas de México*. México. <http://www.inegi.org.mx>

SEDESOL, CONAPO & INEGI (2008). Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2005. Mexico. <http://www.inegi.org.mx>.

Senate Department for Urban Development Berlin (SDUDB) (2003). *Environmental Atlas*. https://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/edua_index.shtml.

Short Gianotti, A.G., Getson, J.M., Hutyrá, L.R. & Kittredge, D.B. (2016). Defining urban, suburban, and rural: a method to link perceptual definitions with geospatial measures of urbanization in central and eastern Massachusetts. *Urban Ecosyst*, 2016-19, pp 823–833.

Serra, J., Otero, M. & Ruiz, E. (2002). Grans aglomeracions metropolitanes europees. *Papers*, Regió Metropolitana de Barcelona, 37, pp 11-165.

Stewart, I. D., Oke, T. R. & Krayenhoff, E.S. (2014). Evaluation of the 'local climate zone' scheme using temperature observations and model simulations. *International Journal of Climatology*, DOI: 10.1002/joc.3746.

Stisen, S., Sandholt, I., Norgaard, A., Fensholt, R. & Eklundh, L. (2007). Estimation of diurnal air temperature using MSG SEVIRI data in West Africa. *Remote Sensing of Environment*, 10(2), pp 262-274.

Suárez-Villa, L. (1988). Metropolitan Evolution, Sectoral Economic Change, and the City Size Distribution. *Urban Studies*, 25, pp 1-20.

Tan, K. C., Lim, H. S., MatJafri, M. Z. & Abdullah K. (2010). Landsat data to evaluate urban expansion and determine land use/land cover changes in Penang Island, Malaysia. *Environmental Earth Sciences*, Vol. 60, pp 1509-1521.

Tan, J., Y. Zheng, X. Tang, C. Gup, L. Li, G. Song, X. Zhen, D. Yuan, A. Kalkstein & F. Li (2010). The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai. *Journal of Biometeorology*, 54(1), pp 75-84.

Taylor P.J. (2004). *World City Network: A Global Urban Analysis*. Nueva York, Routledge.

Taylor, L. (2011). No boundaries: exurbia and the study of contemporary urban dispersión. *GeoJournal* 7-76, pp 323-339.

Theobald D.M. (2004). Placing exurban land-use change in a human modification framework. *Ecol Environ*, 2(3), 139– 144.

Theobald, D. M. (2005). Landscape Patterns of Exurban Growth in the USA from 1980 to 2020. *Ecology and Society*, 10(1), 32. URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol10/iss1/art32/>.

Tomlinson, C. J., Chapman, L., Thornes, J. E., & Baker, C. J. (2012). Derivation of Birmingham's summer Surface urban heat island from MODIS satellite images. *Journal of Climatology*, 32: 214-224.

Trenberth, K.E., Jones, P.D., Ambenje, P., et al. (2007). Observations: Surface and atmospheric climate change. In *Climate Change 2007: The Physics Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. & Miller HL (eds). Cambridge University Press: Cambridge, New York. IPCC 2007.

Tuceryan, M. & Jain, A.K. (1998). *The Handbook of Pattern Recognition and Computer Vision* (2nd Edition), by C. H. Chen, L. F. Pau, P. S. P. Wang (eds.), pp 207-248, World Scientific Publishing Co.

Turok, I. (2009). Limits to the Mega-City Region: Conflicting Local and Regional Needs. *Regional Studies*, 43 (6), pp 845-862.

Tsai, Y. H. (2005). Quantifying Urban Form: Compactness versus 'Sprawl'. *Urban Studies*, 42(1), pp 141-161.

United Nations (2002). *World Urbanization Prospects: The 2001 Revision*. United Nations publication, ESA/P/WP 173, New York.

United Nations (2012). *World Urbanization Prospects: The 2011 Revision*. United Nations publication, ST/ESA/SER.A/322. New York.

United Nations (2014). *World's population increasingly urban with more than half living in urban areas*. En <http://www.un.org/en/development/desa/news/population/world-urbanization-prospects-2014.html>. (10 July, 2014).

United Nations (2014). *World's population increasingly urban with more than half living in urban areas*. New York, United Nations publication. <http://www.un.org/en/development/desa/news/population/world-urbanization-prospects-2014.html>.

United Nations. (2016). *Urbanization and Development: Emerging Futures*. World Cities Report, United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat).

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision* (ST/ESA/SER.A/420). New York: United Nations.

United States Census Bureau (2010). *2010 Census Urban and Rural Classification and Urban Area Criteria*. <https://www.census.gov/geo/reference/ua/urban-rural-2010.html>. (22 September, 2014).

US Environmental Protection Agency (2008). *Reducing urban heat islands: Compendium of strategies*. Draft. <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>.

USGCRP (2017). *Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Volume I* [Wuebbles, D.J., D.W. Fahey, K.A. Hibbard, D.J. Dokken, B.C. Stewart, and T.K. Maycock (eds.)]. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, USA.

Wang, Q., Blackburn, G.A. et al. (2017). Fusion of Landsat 8 OLI and Sentinel-2 MSI Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 55, no. 7, pp 3885-3899.

Wang, X. & Hanson, A. R. (2001). Surface texture and microstructure extraction from multiple aerial images. *Computer Vision and Image Understanding*, 83, pp 1-37.

Weng, Q. (2001). A remote sensing-GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China. *International Journal of Remote Sensing*, 22 (10), pp 1999-2014.

Weng, Q. (2009). Thermal Infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 64, Issue 4, July 2009, pp 335-344.

Weng, Q., Lu, D. & Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 89 (4), pp 467-483.

Wheeler, S. (2009). *Regions, Megaregions, and Sustainability*. *Regional Studies*, 43 (6), pp 863-876.

White, M. J. (1976). Firm suburbanization and urban subcenters. *Journal of Urban Economics*, 3, pp 323-343.

Wolman, H., Galster, G., Hanson, R., Ratcliffe, M., Furdell, K. & Sarzynski, A. (2005). The Fundamental Challenge in Measuring Sprawl: Which Land Should Be Considered?. *The Professional Geographer*, 57 (1), 94-105.

World Gazetteer. (2012). *Population Statistics*. En línea. Fecha de consulta: 22 de febrero 2012. Se encontraba disponible en <http://www.world-gazetter.com>. Actualmente este link no existe.

Xu, Y., Dadvand, P., Barrera-Gómez, J. et al. (2013). Differences on the effect of heat waves on mortality by sociodemographic and urban landscape characteristics. *J Epidemiol Community Health*, 67-6, pp 519-525.

Yang, D. (2009). Detection of Seagrass Distribution Changes from 1991 to 2006 in Xincun Bay, Hainan, with Satellite Remote Sensing. *Sensors*, 9, pp 830-844.

Zhang, Y. (1999). Optimisation of building detection in satellite images by combining multispectral classification and texture filtering. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 54 pp 50–60.

Zhou, W., Huang, G. & Cadenasso, M. L. (2011). Does spatial configuration matter? Understanding the effects of land cover pattern on land surface temperature in urban landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 102-1, 30 July 2011, pp 54-63.

Zhou, Y. & Wang, Y.Q. (2008). Extraction of Impervious Surface Areas from High Spatial Resolution Imagery by Multiple Agent Segmentation and Classification. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 74 (7), pp 857-868.

Zipf, G. (1949). *Human Behavior and the Principle of Least Effort*. New York, Addison-Wesley.