

La luz de la ciudad

El proceso de urbanización en España a partir de las imágenes nocturnas de la Tierra



Oriol NEL·LO COLOM (Director)

Joan LÓPEZ REDONDO

Jordi MARTÍN ORIOL

Joan CHECA RIUS

Grup d'Estudis sobre Energia, Territori i Societat

Departament de Geografia

Universitat Autònoma de Barcelona

La luz de la ciudad

**El proceso de urbanización en España a partir de las
imágenes nocturnas de la Tierra**

La luz de la ciudad

El proceso de urbanización en España a partir de las imágenes nocturnas de la Tierra

Proyecto realizado en el marco del Programa estatal de investigación, desarrollo e innovación orientada a los retos de la sociedad del Plan estatal de investigación científica y técnica y de innovación 2013-2016 del Ministerio de Economía y Competitividad

Oriol NEL·LO COLOM (Director)
Joan LÓPEZ REDONDO
Jordi MARTÍN ORIOL
Joan CHECA RIUS

**Grup d'Estudis sobre Energia, Territori i Societat
Departament de Geografia
Universitat Autònoma de Barcelona**

Bellaterra, Diciembre de 2016

CRÉDITOS

El presente volumen contiene las conclusiones del proyecto “La luz de la ciudad. La delimitación y evolución morfológica de las áreas metropolitanas españolas a partir de las imágenes nocturnas de la tierra (1992-2012)”, elaborado en el marco del Programa Estatal de Investigación, Desarrollo e Innovación Orientada a los Retos de la Sociedad, modalidad 1, "Retos Investigación": Proyectos de I+D+, en la convocatoria 2013 (Número de referencia CSO2013-47833-C4-2-R)

ISBN: 978-84-617-6386-3

© Oriol Nel·lo, Joan López, Jordi Martín y Joan Checa

Edita: Grup d'Estudis sobre Energia, Territori i Societat

Departament de Geografia. Universitat Autònoma de Barcelona

Bellaterra, Diciembre de 2016

CONTENIDO

PRESENTACIÓN	7
1. LA EVOLUCIÓN DEL SISTEMA URBANO ESPAÑOL Y EL ESTUDIO DE LOS USOS DEL SUELO	11
1.1. Características y evolución reciente del sistema urbano español	11
1.2. El progreso de la investigación sobre la expansión de los usos urbanos del suelo: métodos, temáticas y ámbitos	16
2. EL USO DE LAS IMÁGENES SATELITALES NOCTURNAS: CUESTIONES METODOLÓGICAS	19
2.1. El estudio de la realidad socioeconómica a partir de imágenes satelitales nocturnas de la Tierra	20
2.2. Definición del ámbito de análisis de la investigación	21
2.3. Información de base: las imágenes nocturnas de satélite	23
2.4. Tratamiento previo de las imágenes	24
2.5. Metodología para el cálculo de la evolución de la luminosidad de los ámbitos seleccionados	25
2.6. Metodología para la estimación de la evolución de la urbanización: establecimiento del umbral nivel de luminosidad urbana	27
2.6.1. Cruce de los píxeles de luz con la <i>Base Topográfica Nacional 100</i> del IGN	28
2.6.2. Cruce de los píxeles de luz con las <i>Urban Morphological Zones</i> de la European Environment Agency	31
2.6.3. Cruce de los píxeles de luz con el <i>Mapa de Cobertes del Sòl</i> del CREAF para el caso específico de la región metropolitana de Barcelona	36
2.7. Identificación de limitaciones e inconsistencias de la información de base para la investigación	40
3. LOS USOS URBANOS DEL TERRITORIO EN ESPAÑA A PARTIR DE LA LUMINOSIDAD NOCTURNA	43
3.1. La luminosidad media de las áreas urbanas españolas	43
3.2. Superficie de la luminosidad en 2012	47

3.2.1. Superficie de los ámbitos: más de 16.000 km ² con niveles de luminosidad urbana	47
3.2.2. Superficie por coronas: continuidades y discontinuidades	49
3.3. La extensión de la luminosidad urbana entre 1992 y 2012	51
3.3.1. Superficie: una extensión que se dobla en 20 años	51
3.3.2. Luminosidad y suelo artificializado: la luz se expande 3,4 veces más rápido que la urbanización física	52
3.3.3. Fases del proceso: del crecimiento exacerbado (1997-2007) a la desaceleración	57
4. EL DESARROLLO URBANO DE LAS ÁREAS URBANAS ESPAÑOLAS ENTRE 1992 Y 2012: UNA TIPOLOGÍA	61
4.1. Morfología urbana y luminosidad	61
4.2. La explosión tentacular de Madrid y la relativa compacidad de Barcelona	64
4.3. El crecimiento por expansión de las grandes ciudades: la cornisa cantábrica, Zaragoza, Sevilla, Valladolid, Granada y Palma	65
4.4. La urbanización lineal del litoral: la costa mediterránea y andaluza	67
4.5. El surgimiento de archipiélagos urbanos: Murcia, Pontevedra, Córdoba, Jaén, Girona y Logroño	67
4.6. Las islas urbanas del interior peninsular	70
4.6. La eficiencia del desarrollo de las principales áreas metropolitanas	72
5. LA TRANSFORMACIÓN DE LA METRÓPOLIS ESPAÑOLAS EN EL CONTEXTO EUROPEO	75
5.1. Las disparidades en el crecimiento de la luminosidad urbana en las ciudades del sur y el norte de Europa	76
5.2. La luminosidad como indicador de la diversidad de los patrones de urbanización en Europa	79
6. CONCLUSIONES	85
GLOSARIO	89
BIBLIOGRAFÍA	91
Abstract, Resumen, Resum	97

PRESENTACIÓN

En uno de los pasajes más evocadores de *El Jarama*, el autor narra el paseo nocturno de una pareja por el Cerro de Almodóvar, al sureste de Madrid:

“Llegaron a lo alto de Almodóvar (...). Atravesaron a lo ancho con la luna a sus espaldas y se asomaron a la otra vertiente. Se veía Madrid. Un gran valle de luces, al fondo, como una galaxia extendida sobre la tierra; un lago de aceite negro, con el temblor de innumerables lamparillas encendidas, que flotaban humeando hacia la noche y formaban un halo altísimo y difuso. Colgaba inmóvil sobre el cielo de Madrid, como una losa morada o como un techo de humo luminoso. Se habían sentado muy juntos, al borde de la meseta, los pies hacia el talud. Diseminadas por la negrura de los campos, se veían las otras galaxias menores de los pueblos vecinos. Santos las señalaba con el dedo: A tu derecha es Vicálvaro –decía– Vallecas es esto de allí...”.

La novela de Rafael Sánchez Ferlosio fue publicada el año 1956. En los sesenta años transcurridos desde entonces el halo lumínico de la aglomeración madrileña se ha ampliado de manera tan extraordinaria que las galaxias de Vicálvaro, Vallecas y muchas otras más lejanas han sido engullidas e integradas, como estrellas cautivas, en una única gran galaxia metropolitana. El ejemplo de Madrid es un exponente del proceso que, con las lógicas variantes, ha afectado todas las ciudades españolas, hasta el punto que la extensión de la urbanización –y con ella de la luminosidad– ha sido uno de los vectores de cambio más relevantes de nuestra sociedad a lo largo del último medio siglo.

La investigación que se presenta en el presente volumen explora, precisamente el tema de la relación entre el proceso de urbanización y la luminosidad nocturna en la España contemporánea. Se trata de dos conceptos que, cuando se han

abordado desde el campo de los estudios urbanos, han sido abordados esencialmente desde dos perspectivas: por una parte, a partir de la relación entre el desarrollo de las redes de suministro energético y la expansión de la ciudad; por otra, para indagar acerca de la eficiencia de los asentamientos urbanos y las tipologías edificatorias por lo que al consumo energético en general y a la iluminación en particular se refiere. Se trata de líneas de investigación que han dado frutos de gran interés y utilidad.

El presente estudio se propone seguir, sin embargo, una senda menos transitada. Su objetivo consiste en medir y analizar la extensión del proceso de urbanización a partir de la luminosidad nocturna. Para ello, utiliza una fuente relativamente novedosa: las series anuales de la imagen satelital nocturna de la Tierra. Se trata de una fuente que permite aportar nuevos datos y avanzar nuevas hipótesis en el imprescindible estudio del proceso de urbanización en España. Ahora bien, el uso de las imágenes satelitales nocturnas no se encuentra exento de dificultades y problemas, por lo que su empleo e interpretación obliga a prestar particular atención a las cuestiones metodológicas. De este modo, la aportación de la presente investigación reviste un doble carácter: por una parte, aporta datos sobre la evolución del proceso de urbanización; por otra, debate acerca de las potencialidades y las limitaciones derivadas del uso de la fuente escogida.

De acuerdo con este doble objetivo, la investigación trata de contrastar dos hipótesis principales. Parte de la constatación de que el proceso de urbanización contemporáneo en España –que recibió un impulso extraordinario precisamente a partir de los años en que Sánchez Ferlosio publicaba la novela citada– ha comportado desde entonces un crecimiento sin precedentes de la población urbana. Esta se ha visto acompañada de la expansión territorial de las áreas urbanas, la dispersión de la urbanización sobre el territorio y la creciente especialización funcional y social de los diversos territorios que las integran. Resultado directo de estas dinámicas ha sido la

artificialización de ingentes superficies de suelo, tal como han demostrado numerosos estudios.

Pues bien, la primera hipótesis de nuestra investigación postula la noción de que la expansión de aquello que podrían denominarse los usos urbanos del suelo (la movilidad, las actividades periurbanas, los espacios intersticiales,...) ha sido muy superior a la superficie de suelo efectivamente artificializada por la urbanización. Esta expansión ha sido particularmente notable en el período de las décadas de tránsito del siglo XX al XXI, ámbito temporal cubierto por el estudio, y presenta en España una intensidad superior a otras realidades europeas vecinas.

La segunda hipótesis de partida de la investigación afirma que la imagen satelital nocturna, pese a sus limitaciones y carencias, resulta –por sus características, recurrencia, cobertura y escala– una fuente de especial interés y utilidad para el estudio de la mencionada expansión de los usos urbanos sobre el territorio. Se trata además, como se ha mencionado, de una fuente relativamente novedosa, cuyo desarrollo tecnológico futuro puede deparar nuevos y destacados avances en el conocimiento de las dinámicas espaciales.

El proyecto de investigación, que lleva por título *La luz de la ciudad. La delimitación, evolución y consumo de suelo en las áreas urbanas españolas a partir de las imágenes nocturnas de la Tierra (1992-2012)*, ha sido realizado por el Grupo de Investigación sobre Energía, Territorio y Sociedad del Departamento de Geografía de la Universitat Autònoma de Barcelona, bajo la dirección del Dr. Oriol Nel·lo Colom, a lo largo de los años 2014, 2015 y 2016. El proyecto se ha ejecutado en el marco del *Programa estatal de investigación, desarrollo e innovación orientada a los retos de la sociedad* del Plan estatal de investigación científica y técnica y de innovación 2013-2016, modalidad 1: «Retos investigación», proyectos de I+D+I, en la convocatoria correspondiente al año 2013 (número de referencia CSO2013-47833-C4-2-R).

El presente volumen contiene los principales resultados de la investigación. Estos se exponen en

seis capítulos. En el primero de ellos se describen brevemente, como marco de referencia, las características y la evolución reciente del proceso de urbanización en España y se ofrece un estado de la cuestión acerca de la investigación sobre la expansión reciente de los usos urbanos del suelo en el país. A continuación, se exploran con detalle las cuestiones metodológicas que suscita el uso de las imágenes satelitales nocturnas para el estudio del proceso de urbanización; se explican, asimismo, con detenimiento los pasos seguidos para su empleo en la presente investigación. El tercer capítulo expone los resultados alcanzados, tanto por lo que se refiere a la superficie que actualmente cuenta con niveles de luminosidad urbana como a su evolución a lo largo de las dos décadas estudiadas y a su comparación con las áreas de suelo que cuenta con cubiertas urbanas. Del análisis de esta evolución se deriva la posibilidad de construir una cierta tipología de las diversas morfologías de los usos del suelo en las ciudades españolas, la cual se detalla en el capítulo quinto. Finalmente, el capítulo sexto contiene una comparación de los resultados obtenidos a partir del estudio de la realidad urbana española con la evolución de veinte grandes metrópolis europeas. Unas breves conclusiones, que pueden ser leídas también como un resumen ejecutivo de la investigación, retoman las hipótesis de partida y concluyen el volumen.

El trabajo incorpora también una extensa bibliografía, que figura al final de la monografía, y presenta un elevado componente gráfico, basado en tablas y figuras así como en numerosas representaciones cartográficas. En efecto, la capacidad de los mapas a la hora de mostrar la forma y evolución tanto de la luminosidad como de la urbanización no sólo ha hecho conveniente la inclusión de un gran número de ellos sino que ha condicionado el formato final de la exposición. De esta manera, las imágenes cartográficas no sólo acompañan e ilustran a las descripciones y análisis, sino que establecen con el texto una relación de diálogo entre iguales a lo largo de todo el volumen. Siempre que no se indique lo contrario, todas las figuras, mapas y tablas incluidos en el volumen son de elaboración propia.

Finalmente, incluye asimismo un breve glosario de los términos que aparecen de manera más reiterada en el trabajo, con el objetivo de explicar su significado y precisar el sentido en el que aquí se utilizan.

Diversos avances de los resultados de la investigación han sido objeto de publicación a medida que el proyecto progresaba. Esto ha permitido, por una parte, divulgar los frutos de la investigación y, por otra, recibir reacciones y comentarios de gran interés y utilidad. Un primer ensayo de la metodología empleada, aplicada en este caso a la realidad de dos metrópolis latinoamericanas, apareció en el volumen editado por Oriol Nel·lo y Renata Mele, *Cities in the 21st Century*, publicado por Routledge (MARTÍN 2016). Asimismo, la explicación del proceso de urbanización en España a partir de la imagen satelital nocturna fue seleccionada el Comité Español de la Unión Geográfica Internacional como capítulo del volumen que constituyó su aportación al 33º Congreso de la UGI celebrado en Beijing el mes de agosto de 2016 (NEL·LO, LÓPEZ & MARTÍN 2016). Por otra parte, una aplicación de la metodología diseñada al estudio de veinte metrópolis europeas ha sido publicado por la revista *Land Use Policy* (NEL·LO, LÓPEZ, MARTÍN & CHECA 2017). Una breve explicación de la temática estudiada y los resultados obtenidos ha sido incluida también, con finalidades didácticas, en el volumen *Geografía de España*, coordinado por Joan Romero y publicado en Valencia por Tirant lo Blanch (NEL·LO 2016). Finalmente, se encuentra en curso de publicación una lectura de los resultados de la investigación en relación a la cuestión energética y a la problemática de cambio climático, que debe aparecer durante el año 2017 en el libro editado por Francesc Muñoz y Francesco Musco, *Redefining urban resilience: towards climate-proof cities*, para la editorial FrancoAngeli de Milán (NEL·LO, LÓPEZ, MARTÍN & CHECA 2017).

A lo largo de los más de dos años en que se ha desarrollado la investigación los miembros del equipo que la ha llevado a cabo han tenido la

oportunidad, asimismo, de contrastar sus avances en diversos foros científicos y académicos. Entre estos, cabe mencionar, en primer lugar, los seminarios de investigación del Grup d'Estudis sobre Energia, Territori i Societat de la Universitat Autònoma de Barcelona, cuyos miembros no solo han realizado comentarios y aportaciones al proyecto, sino que han proporcionado un cálido e imprescindible acompañamiento. El trabajo ha sido asimismo objeto de discusión con nuestros colegas del Grupo de Investigación de Análise Territorial de la Universidad de Santiago de Compostela – Rubén Lois, María José Piñeira y María Anxeles Piñeiro- con quien hemos colaborado en el marco del programa Retos. En tercer lugar, un avance de los resultados de la investigación fue presentado y debatido en el encuentro de la Comisión de Urbanismo de la Unión Geográfica Internacional celebrado en Shanghai el mes de agosto de 2016. Finalmente, el grupo de investigación ha organizado una Jornada monográfica de debate en Barcelona el mes de diciembre de 2016 con el objetivo específico de presentar y contrastar los resultados finales de la investigación; en este encuentro, organizado en colaboración con la Societat Catalana d'Ordenació del Territori, han participado expertos de siete universidad españolas y extranjeras, así como miembros de diversos institutos y centros de estudios¹. El equipo de

¹ En la jornada *La llum de la ciutat, El procés d'urbanització a Espanya a través de les imatges nocturnes de la Terra*, celebrada en Barcelona el día 2 de Diciembre de 2016, participaron como ponentes y discussants, además de los miembros del equipo de investigación, los siguientes expertos: Josep Vicent Boira, Secretario de vivienda, obras públicas y vertebración del territorio, Generalitat Valenciana; Manuel Carrero de Roa, Centro de Cooperación y Desarrollo Territorial - Universidad de Oviedo; Jordi Corbera, Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya; José María Feria, Universidad Pablo de Olavide, Sevilla; Antonio Font, Universitat Politècnica de Catalunya; Angelino Mazza, Università degli Studi Federico II, Napoli; Marc Montlleó, Agencia Barcelona Regional ; Fernando Prieto, Observatorio de la Sostenibilidad; Carmen Zornoza, Universitat de València.

investigación quiere expresar su agradecimiento a los participantes en todos estos encuentros, cuyas aportaciones han permitido enriquecer y perfeccionar los resultados de este trabajo. Estos intercambios subrayan el carácter de empeño colectivo que debe animar todo proceso de investigación, más aun si es financiado con fondos públicos, pero no eximen en modo alguno a los miembros del equipo de investigación y a su director de la responsabilidad final acerca de los resultados.

1. LA EVOLUCIÓN DEL SISTEMA URBANO ESPAÑOL Y EL ESTUDIO DE LOS USOS DEL SUELO

Como se ha indicado, el objeto del presente estudio consiste en analizar la evolución de la urbanización en España a través de la imagen satelital nocturna. Al abordar el tema resulta necesario, ante todo, recordar cuales han sido los rasgos principales del proceso de urbanización contemporáneo en España, así como sus características y fases de evolución reciente. Resulta también conveniente exponer cuales han sido las principales aportaciones al estudio de la transformación de los usos del suelo que se han dado a conocer en los últimos años. Cubrir este doble cometido es el objetivo del presente capítulo.

1.1. Características y evolución reciente del sistema urbano español

El proceso de urbanización en España se había caracterizado, históricamente, por sus desigualdades espaciales y por su desarrollo relativamente tardío respecto al de otros países europeos (VILÀ & CAPEL 1970; GARCÍA BELLIDO et al. 1987). Estas características, claramente perceptibles en la evolución demográfica de las principales ciudades en las dos últimas centurias (Tabla 1.1), conocieron, sin embargo, una notabilísima inflexión a finales de la década de los años cincuenta del siglo XX. Desde entonces, las transformaciones urbanas han sido muy notables y aceleradas y han alterado de forma radical la distribución del poblamiento (Tabla 1.2). Estas transformaciones se han producido en tres fases sucesivas (NEL·LO 2016):

- Una primera fase, cuyos límites temporales pueden fijarse entre 1959 y 1975, caracterizada sobre todo por una destacada tendencia a la concentración de la población y las actividades en las mayores ciudades, como resultado de la existencia de grandes movimientos migratorios

interregionales asociados al mercado de trabajo y al trasvase de ocupación agraria hacia la industria y los servicios.

- Una segunda fase -1975-1996- en la cual el crecimiento demográfico de las principales áreas metropolitanas se estancó, al tiempo que su ámbito se expandía sobre el territorio, mientras las actividades y la población tendían a dispersarse sobre el mismo. De este modo, la evolución de la forma urbana en dicho período se relaciona, en buena medida a la existencia de migraciones intrametropolitanas asociadas al mercado de vivienda.
- Finalmente, la última fase, iniciada aproximadamente en 1996, se corresponde en buena medida con la aquí estudiada. En ella, el renovado crecimiento económico y demográfico existente hasta el año 2008 ha comportado tanto el aumento de población en los centros urbanos –resultado, sobre todo, de migraciones internacionales asociadas al mercado de trabajo– como la continuidad de los procesos de expansión y dispersión metropolitana –fruto de migraciones intrametropolitanas protagonizadas de manera predominante por la población autóctona y, como en la fase anterior, asociadas también al mercado de vivienda.

Como resultado de su evolución histórica, el sistema urbano español presenta algunos rasgos peculiares que lo caracterizan y singularizan (REHER 1994; TERÁN 1999; NEL·LO 2004 y 2016). En primer lugar, destaca su acentuada bicefalía, derivada de la existencia de dos poderosas regiones metropolitanas. Madrid y Barcelona. Estas regiones urbanas constituyen, junto con Lisboa, la cabecera del sistema urbano ibérico y se encuentran entre las primeras diez áreas urbanas de Europa por lo que a su población se refiere. Como ha sido señalado reiteradamente, su existencia impugna de manera radical la correspondencia del sistema urbano español con la regla rango-tamaño tan a menudo utilizada en el análisis de las redes urbanas (DÍEZ NICOLÁS 1992; RACIONERO 1986; PRECEDO 1988, NEL·LO 1997 y 2004).

Tabla 1.1. Evolución de la población de las capitales de provincia españolas 1857-2015

Capital de provincia	1857	1900	1960	2015
A Coruña	27.354	53.930	173.661	243.870
Albacete	11.860	19.711	69.623	172.121
Alicante	20.342	49.133	121.832	328.648
Almería	23.018	47.202	86.680	194.203
Ávila	6.419	13.457	28.032	58.358
Badajoz	22.195	31.110	90.656	149.892
Barcelona	178.625	539.103	1.526.550	1.604.555
Bilbao	17.649	91.337	290.151	345.141
Burgos	24.327	32.641	81.297	177.100
Cáceres	14.795	13.617	45.960	95.617
Cádiz	63.513	69.191	114.951	120.468
Castellón de la Plana	19.297	29.966	61.440	171.669
Ciudad Real	8.951	15.327	37.080	74.427
Córdoba	36.501	56.097	189.671	327.362
Cuenca	7.284	12.630	28.053	55.428
Donostia	9.484	39.641	129.051	186.095
Girona	13.959	16.918	37.917	97.586
Granada	63.113	75.570	155.065	235.800
Guadalajara	6.533	12.662	23.265	83.391
Huelva	8.423	20.927	74.823	146.318
Huesca	9.874	13.602	23.536	52.239
Jaén	19.738	25.566	64.553	115.395
Las Palmas de GC	--	48.357	192.088	379.766
León	9.603	18.191	77.583	127.817
Lleida	19.581	21.352	61.822	138.542
Logroño	10.466	18.866	59.373	151.344
Lugo	8.246	28.024	57.786	98.134
Madrid	281.170	575.675	2.177.123	3.141.991
Málaga	92.611	134.849	290.083	569.130
Murcia	26.888	109.930	243.553	439.889
Ourense	6.872	21.198	62.381	106.231
Oviedo	14.156	48.374	124.407	221.870
Palencia	12.811	15.610	47.902	79.595
Palma	42.910	65.382	157.131	400.578
Pamplona/Iruña	22.702	30.609	93.429	195.853
Pontevedra	6.623	27.322	50.575	82.539
Salamanca	15.203	25.625	90.694	146.438
Santa Cruz de Tenerife	10.834	35.055	130.597	203.811
Santander	24.702	54.346	114.430	173.957
Segovia	10.339	17.088	35.212	52.728
Sevilla	112.139	147.271	441.869	693.878
Soria	5.191	7.928	19.799	39.168
Tarragona	18.023	28.073	43.939	137.094
Teruel	8.830	12.745	21.800	35.590
Toledo	15.797	23.375	40.660	83.226
Valencia	106.435	215.687	501.777	786.189
Valladolid	41.913	71.328	150.959	303.905
Vitoria	15.569	34.234	69.849	243.918
Zamora	12.881	16.646	42.327	63.831
Zaragoza	58.978	100.291	303.975	667.746
Total capitales	1.624.727	3.232.769	9.156.970	14.800.441

Fuente: NEL-LO 2016.

Tabla 1.2. Evolución de la distribución de la población española por tamaño del municipio de residencia 1960-2015. %

habitantes	1960	1981	1996	2006	2015
0 - 2.000	13,5	8,7	7,7	6,4	5,9
2.001 - 5.000	14,9	9,1	7,9	7,0	6,7
5.001 - 20.000	27,1	20,1	20,5	19,4	19,0
20.001 - 50.000	9,8	11,7	13,1	15,2	16,1
50.001 - 100.000	7,8	9,0	10,0	11,9	12,8
100.001 - 500.000	13,2	23,2	23,3	23,4	23,5
500.001 - 3.500.000	13,7	18,2	17,6	16,7	16,0
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

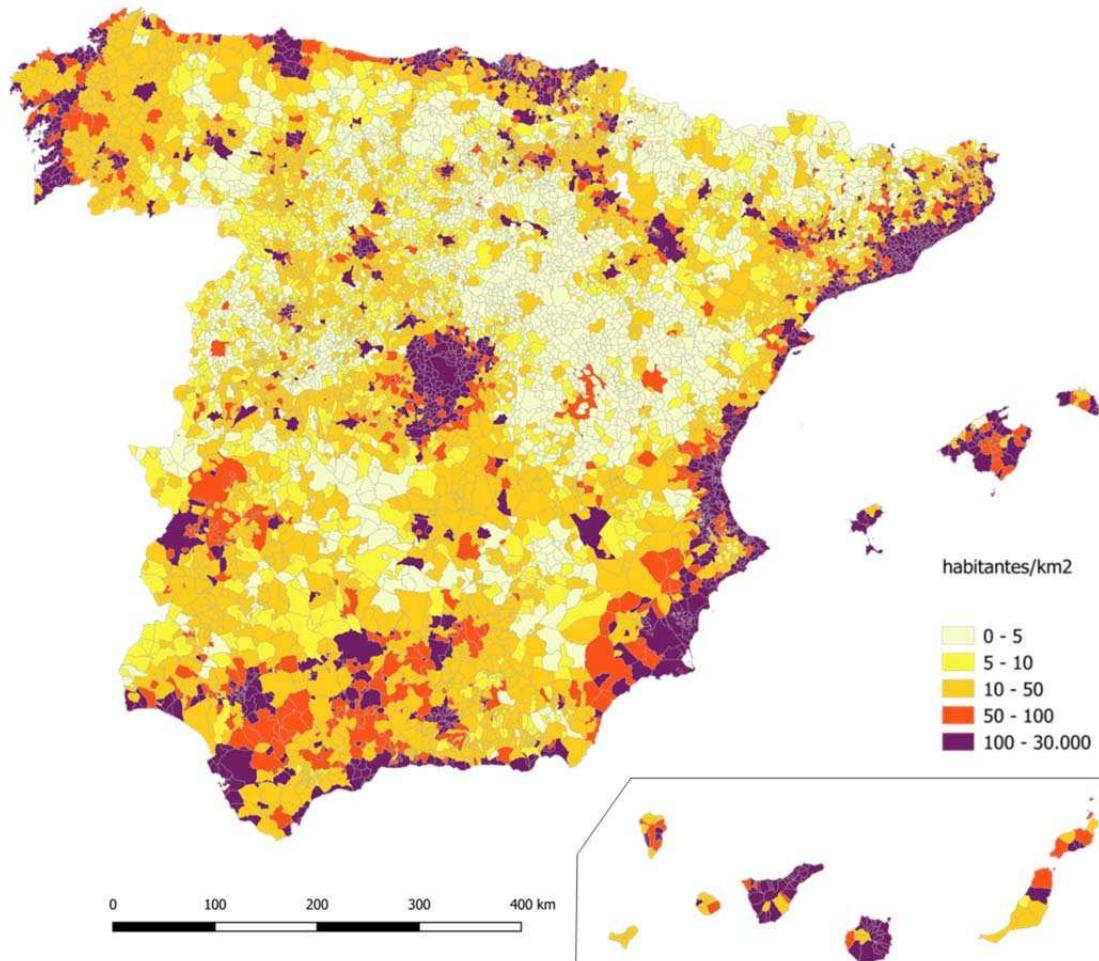
Fuente: NEL-LO 2016.

Media docena de áreas metropolitanas, con poblaciones superiores o cercanas al millón de habitantes, acompañan a Madrid y Barcelona como los principales nodos del sistema urbano: Valencia, Bilbao, Sevilla, Málaga, Zaragoza y el triángulo asturiano Oviedo-Gijón-Avilés. Se trata en todos los casos de aglomeraciones que cuentan no solo con irradiación regional sino también estatal e incluso internacional.

Si las áreas metropolitanas mencionadas constituyen la cabecera del sistema urbano español, la articulación del territorio gravita asimismo, en buena medida, sobre un tejido de áreas urbanas intermedias que cuentan entre 100.000 y 600.000 habitantes. El sistema integra cerca de cuarenta áreas urbanas de este tipo, todas ellas de carácter supramunicipal, de modo que se estima estas áreas urbanas integran en la actualidad más de 1.000 de los 8.000 municipios españoles (FERIA 2011; FERIA & MARTÍNEZ 2016; LÓPEZ TRIGAL 2014).

Cabe señalar que la gran mayoría de estas áreas urbanas más densas y pobladas se hallan en provincias litorales, de modo que la tendencia hacia la litoralización del poblamiento es, sin duda, el segundo rasgo característico del sistema urbano español (Mapa 1.1). La principal excepción a este patrón poblacional es, sin duda, la metrópolis madrileña, asentada precisamente en el centro peninsular, sobre el que ejerce una gran atracción,

Mapa 1.1. Aglomeraciones urbanas y ejes de actividad. Densidad de población de los municipios españoles, 2015



Fuente: NEL-LO 2016.

favorecida por la disposición acentuadamente radial de las redes de comunicación terrestre (ferrocarril y red viaria).

El período en el que centraremos nuestro análisis del sistema urbano español son las dos décadas comprendidas entre 1992 y 2012, que se corresponden, en buena medida, a la tercera fase del proceso de urbanización a la que acabamos de

referirnos. Se trata de dos décadas cruciales de la evolución urbana española, que contienen dos etapas claramente diferenciadas y, hasta cierto punto, contrapuestas: en primer lugar, el período 1996-2007, caracterizado por un rápido crecimiento económico y un acelerado desarrollo urbano, (BURRIEL 2008); esta década de expansión fue sucedida, como es sabido, por una profunda crisis económica, iniciada en 2008, que -junto a un

incremento notabilísimo de la desocupación y las desigualdades sociales- ha supuesto una reducción destacada de los ritmos de crecimiento urbano (ALBERTOS & SÁNCHEZ 2014; MÉNDEZ, ABAD & ECHAVES 2015).

Las magnitudes demográficas que las transformaciones del período han supuesto se reflejan en el Mapa 1.2. Como se puede observar, sigue destacando la primacía de dos grandes áreas metropolitanas, Madrid (6.047.108 habitantes en 2013) y Barcelona (5.042.757)² que han debido adaptar tanto su base económica y social como su dotación infraestructural al redimensionamiento territorial impuesto por la profundización de la globalización en este período. Al mismo tiempo, las dos regiones metropolitanas han visto frenar e incluso revertir parcialmente el proceso de relocalización que desplazaba buena parte de su población y actividades desde los centros a las áreas periféricas. Junto a Madrid y Barcelona, una docena de áreas metropolitanas entre 500.000 y 1.500.000 habitantes, entre las que se encuentran las citadas Valencia, Sevilla, Málaga y Zaragoza, pero también Asturias, Alicante-Elche, Bahía de Cádiz, Murcia, Vigo-Pontevedra, Las Palmas de Gran Canaria, Palma de Mallorca y Granada muestran asimismo crecimientos considerables en este período. Sólo Bilbao, la sexta área metropolitana española con casi un millón de habitantes, ha mostrado pérdidas netas de población.

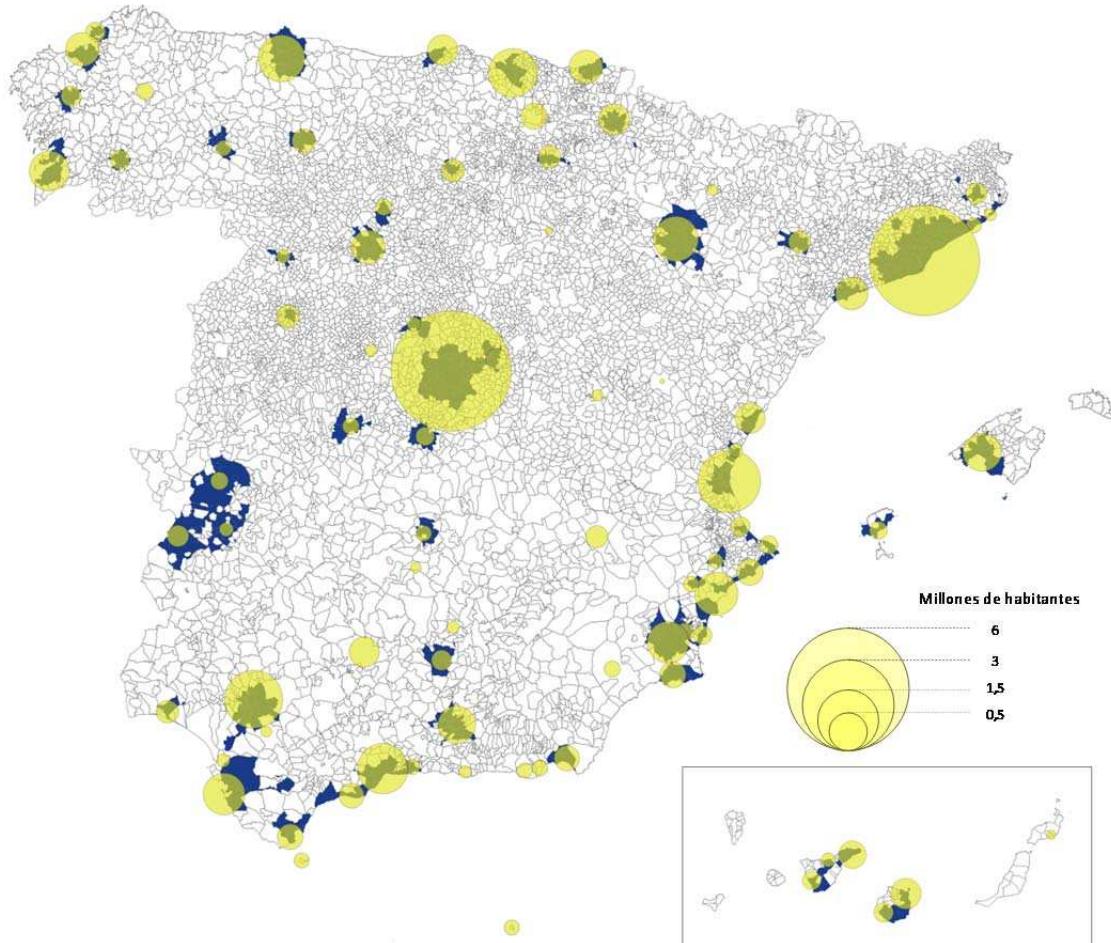
Cabe apuntar que, a diferencia de lo que venía sucediendo en las décadas anteriores, este crecimiento de las áreas urbanas no se produce a costa de aquellas que tradicionalmente han sido consideradas las áreas rurales españolas o, como mínimo, no principalmente en detrimento de la población de estas áreas. Como se ha dicho, los crecimientos de las principales áreas urbanas son producto principalmente de su capacidad para absorber y canalizar la mayor parte del flujo inmigratorio exterior y del crecimiento económico que tuvo lugar en España desde la segunda mitad de

la década de 1990 hasta el año 2008. Así, las infraestructuras de transporte y comunicaciones, la presencia de actividades empresariales que operan a escala internacional y la formación de una base social abierta a las nuevas demandas que impone un sistema mundializado ha hecho posible que estas metrópolis se mantengan no solo en la cúspide del sistema urbano español sino que ocupen también una posición relativamente destacada en el sistema europeo de ciudades.

Junto del crecimiento en términos absolutos, la evolución reciente de las ciudades y áreas metropolitanas españolas se ha visto caracterizada principalmente por los cambios en su morfología. (NAREDO & FRIAS 2007; MUÑOZ 2011). Así, las tipologías constructivas densas (bloques de viviendas plurifamiliares) y en contigüidad con los tejidos existentes –que habían sido predominantes en el desarrollo de prácticamente todas las ciudades españolas a lo largo del siglo XX- conviven ahora con (e incluso ceden el protagonismo a) tipologías residenciales de menor densidad. Estas son integradas sobre todo por viviendas unifamiliares (aisladas o pareadas) y dan lugar a una elevada dispersión territorial. Dichas transformaciones se han producido, con las particularidades de cada caso, en todas las mayores áreas urbanas. En buena medida, su origen se halla en los progresivos incrementos de accesibilidad. Estos permiten que las persistentes mejoras en la red viaria y los servicios de transporte públicos sean aprovechados para desarrollar nuevos suelos, de modo que parte importante de la población ha podido instalar su residencia lejos de las concentraciones urbanas principales (HERCE 2013). Únicamente cuando las reservas de suelo de muchos municipios han empezado a hacerse escasas, las tipologías urbanas de mayor densidad y compacidad han recuperado el protagonismo. Debe tenerse en cuenta, además, que el proceso de descentralización de las grandes ciudades y dispersión de la urbanización sobre el territorio circundante no afecta únicamente a la residencia sino también a las actividades industriales y a buena parte de los servicios. La expansión de los usos urbanos es el resultado asimismo del surgimiento de un gran número de

² Poblaciones según la delimitación del *Atlas Digital de las Áreas Urbanas de España*.

Mapa 1.2. Población de las principales áreas urbanas españolas, 2013



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Instituto Nacional de Estadística: *Padrón continuo. Áreas urbanas según Aguado (2013)*.

actividades periurbanas muy a menudo asentadas sobre suelo clasificado como no urbanizable: telecomunicaciones, infraestructuras hidráulicas, redes de suministro de energía, depuradoras, plantas de tratamiento de residuos, instalaciones deportivas y de recreo, campings e instalaciones de turismo rural, entre otras.

Expansión de las áreas urbanas, integración del territorio, dispersión de la urbanización y

generalización de las formas de vida urbanas son, pues, los principales rasgos que caracterizan la evolución del sistema urbano español en las últimas décadas. Los cuatro rasgos tienen, evidentemente, una plasmación territorial, una de cuyas características más destacadas es la creciente ocupación de suelo. Se trata, como se ha dicho, de una expansión que se debe no sólo a las necesidades de albergar a los nuevos residentes y las nuevas actividades sino también a la proliferación de asentamientos de baja densidad.

Esta extensión de los usos urbanos del suelo es el fenómeno que se tratará de analizar, precisamente, a lo largo del presente trabajo.

1.2. El progreso de la investigación sobre la expansión de los usos urbanos del suelo: métodos, temáticas y ámbitos

La constatación de que uno de los principales corolarios del proceso de urbanización es la extensión de los tejidos urbanos y la modificación de la morfología de los asentamientos ha dado lugar a un creciente interés por el análisis de la evolución de los usos del suelo. Se trata de una cuestión que reviste, obviamente, notable complejidad, pero resulta esencial para la comprensión de las transformaciones territoriales, la evaluación de sus consecuencias ambientales, sociales y económicas, así como para el diseño y la aplicación de políticas territoriales.

La cuestión de los cambios en el uso del suelo ha sido abordada en España desde perspectivas muy diversas, entre las que cabe mencionar: la extensión de las redes infraestructurales y servicios urbanos (LÓPEZ 2016); la modificación de las tipologías arquitectónicas dominantes y el ascenso de la residencia unifamiliar (MUÑOZ 2007 y 2011); el funcionamiento del metabolismo urbano (NAREDO & FRIAS 2007); la evolución de los tejidos urbanos (FONT et al. 2011; ROMANO 2011); la delimitación de las áreas urbanas (NEL·LO 1998, MESTRE 2013); la extensión de la renta urbana (HERCE 2013); los costes ambientales (MAGRINYÀ & HERCE 2007; MUÑÍZ CALATAYUD & GARCÍA 2007); las políticas fiscales (MUR & CLUSA 2011); la cohesión comunitaria (MUXÍ 2013); así como, claro está, el planeamiento territorial y las políticas urbanísticas (INDOVINA 2007; MUÑOZ 2011; NEL·LO 2011; DE MIQUEL & EZQUIAGA 2011).

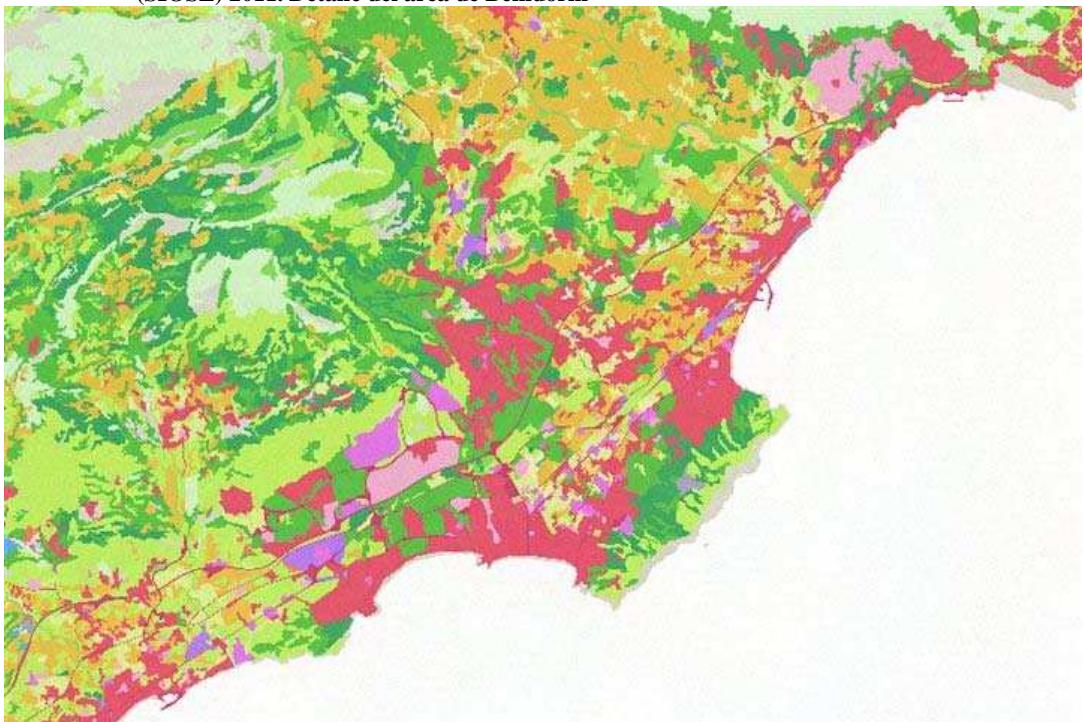
Todas estas aproximaciones tienen en común la necesidad de disponer de datos fehacientes sobre la transformación de los usos del suelo y, en particular, su artificialización como resultado de la urbanización y edificación. A estos efectos han sido

fundamentales en los últimos años los avances derivados de la fotografía aérea y la teledetección.

Como es sabido, la recurrencia de los vuelos que desde el año 1956 cubren la totalidad del territorio español ha hecho posible disponer de series de fotografías áreas con un creciente nivel de definición. En paralelo a, la información proporcionada por los vuelos, las imágenes captadas por los satélites permitieron a partir de la década de 1980 iniciar en la Unión Europea el Programa Corine ('Coordination of Information on the Environment'), en el marco del cual se elaboró el primer mapa de cubiertas del suelo (Corine Land Cover) en 1990 y las posteriores ediciones de 2000, 2006 y 2012. En España, el Plan Nacional de Observación del Territorio del Instituto Geográfico Nacional partió del proyecto Corine Land Cover para desarrollar el Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España (SIOSE). El modelo de gestión, producción y control de calidad del SIOSE está basado en la cooperación entre las comunidades autónomas y la Administración General del Estado y sus datos cubren la totalidad del territorio español a partir de polígonos categorizados en función de la cubierta del suelo, pudiendo ser ésta simple o compuesta. Dentro de estas categorías, cada uno de los polígonos puede ser etiquetado con uno de los 58 identificadores de "Coberturas simples" o de los 63 de "Coberturas compuestas/predefinidas" utilizados.

A partir de estas fuentes, se han realizado un buen número de trabajos destinados a identificar las características y/o transformaciones del suelo ocurridas en España a lo largo de los últimos años, ya sea para el conjunto del territorio español (PRIETO et al. 2011; GOERLICH & CANTARINO 2013; OBSERVATORIO DE LA SOSTENIBILIDAD 2016) como para las áreas litorales (BURNS & ROMANO 2012), o para ámbitos regionales específicos: Asturias (CARRERO DE ROA 2011 y 2013), el archipiélago balear (PONS 2016), Catalunya (CREAF 2009), la costa valenciana (ZORNOZA 2012), Madrid (NAREDO & GARCÍA, 2008). Dichos trabajos muestran las posibilidades que

Figura 1.1. Imagen del mapa de cubiertas Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España (SIOSE) 2011. Detalle del área de Benidorm



Fuente: Instituto Geográfico Nacional: Plan Nacional de Observación del Territorio. <http://www.ign.es/iberpix2/visor/#>

Figura 1.2. Imagen de las *Urban Morphological Zones* (UMZ). Detalle del área de Sevilla



Fuente: European Environment Agency. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/urban-morphological-zones-2006>

brinda la utilización de estas fuentes de información para identificar la extensión y forma del proceso de urbanización.

Al mismo tiempo, otros estudios han utilizado imágenes satelitales para realizar análisis similares para el conjunto de países europeos. Así, la European Environment Agency ha partido de las diversas ediciones del mapa de CORINE para delimitar las *Urban Morphological Zones*. Las UMZ, que se describen con mayor detalle más adelante, son definidas como “un conjunto de áreas urbanas no separadas por una distancia superior a los 200 metros”. Este tipo de estudios permite disponer de una base homogénea y comparable para el análisis de la evolución de los usos del suelo de todas las áreas urbanas europeas.

El enorme valor de estos trabajos para el estudio comparado de la evolución de las áreas urbanas españolas queda limitado, sin embargo, por las carencias que en muchos casos presentan las fuentes de información en que se basan. Así, la complejidad de las tareas de interpretación, poligonado, clasificación y etiquetado de las imágenes tanto aéreas como satelitales provoca que las explotaciones secundarias que a partir de ella se realizan, desde los mapas de coberturas a las delimitaciones de áreas urbanas, presenten una recurrencia temporal no todo lo elevada que sería deseable: los mapas de coberturas de CORINE se actualizan cada seis años (sólo en las tres últimas ediciones), mientras que las explotación del SIOSE de 2005 tan sólo se ha actualizado en 2009 y 2011. Por su parte, las explotaciones realizadas para las diversas comunidades autónomas muestran niveles de desarrollo diversos y, además, no siempre trabajan a la misma escala territorial y parten a menudo de criterios de clasificación o interpretación diferentes.

Por otra parte, el uso de la fotografía aérea y de la imagen satelital diurna para el estudio del proceso de urbanización propicia la identificación del mismo, de manera prácticamente exclusiva, con la artificialización del suelo para usos urbanos y a la densidad de las edificaciones. Esta aproximación

binaria (urbanizado/no urbanizado) reviste un innegable interés, pero deja fuera de su alcance la posibilidad de evaluar la intensidad funcional de los usos urbanos del territorio y la detección de usos urbanos del suelo que no impliquen la artificialización del mismo. Como se verá, la utilización de la imagen satelital nocturna permite superar, en parte, estas carencias.

2. EL USO DE LAS IMÁGENES SATELITALES NOCTURNAS: CUESTIONES METODOLÓGICAS

La delimitación de la ciudad como un objeto claramente definible por oposición al campo circunstante resulta hoy una aporía en términos científicos (GAMBI 1990; HARVEY 1996; NEL·LO 1998 y 2016b). El proceso de urbanización contemporánea ha ido dejando obsoletas las viejas oposiciones entre campo y ciudad, entre rural y urbano. Por ello, más que perseverar en este empeño delimitador de carácter nominalista y en buena medida estéril, los estudios urbanos críticos han tendido en los últimos años a concebir la urbanización más como un proceso que como una forma o una constelación de formas.

La presente investigación se inscribe decididamente en esta corriente y concibe la urbanización contemporánea en España como el proceso de transformación de las estructuras territoriales pre-existentes –medio físico y configuraciones espaciales legadas por la historia- a través de un conjunto de dinámicas concomitantes: la integración del territorio, la dispersión de los asentamientos, la mercantilización de los bienes y la generalización de las formas de vida urbanas

El empleo de imágenes satelitales nocturnas ofrece posibilidades particularmente interesantes para el estudio del proceso de urbanización, puesto que permite aproximarse al mismo no solo a partir de la ocupación física del suelo sino también a través del análisis de la intensidad de los usos del espacio.

Esto es así porque la luminosidad artificial que captan las imágenes satelitales resulta un indicador de primer orden del uso antrópico del territorio. De hecho, la expansión de la luminosidad artificial ha sido uno de los rasgos distintivos de las sociedades contemporáneas. Si hasta mediados del siglo XVIII la mayor parte de la población europea vivía todavía en una oscuridad casi completa entre el

anochecer y el alba, desde entonces el uso de la iluminación artificial –tanto para finalidades públicas como privadas- se ha generalizado (FOUQUET & PEARSON, 2006). Este desarrollo, que ha contribuido a transformar de manera radical los hábitos y condiciones de vida de la población, se ha basado en la aplicación de una serie de avances tecnológicos: el paso de las candelas a las lámparas de gas, de aquellas a las lámparas de keroseno, de estas a la iluminación eléctrica. Dichos avances tecnológicos han permitido un aumento de la eficiencia y una reducción notabilísima de los costes de la iluminación artificial, que en muchos casos se han traducido no en una disminución sino en un incremento del consumo energético global.

El ascenso de la iluminación artificial –de las redes que la hacen posible y de su utilización social- se ha producido así en estrecha conexión con el proceso contemporáneo de urbanización (LÓPEZ, 2016), hasta el punto de convertirse en un símbolo y en un indicador del avance del mismo. De aquí la importancia de mesurar la relación entre ambos procesos.

Ahora bien, la utilización de una fuente relativamente innovadora, como la imagen satelital nocturna, para el estudio del proceso de urbanización entraña la necesidad de exponer con particular detalle los aspectos metodológicos de la investigación. A este cometido se destina el presente capítulo que consta de los siete apartados siguientes:

- Breve estado de la cuestión de los estudios de las realidades socioeconómicas a partir de las imágenes satelitales nocturnas de la Tierra.
- Definición del ámbito de análisis de la investigación.
- Selección de las fuentes.
- Tratamiento previo de las imágenes.
- Establecimiento de la metodología para el cálculo de la evolución de la luminosidad urbana.
- Definición del umbral de luminosidad urbana.
- Identificación de las limitaciones e inconsistencias de la información y el método.

2.1. El estudio de la realidad socioeconómica a partir de imágenes satelitales nocturnas de la Tierra

El interés por complementar las lecturas derivadas de la imagen satelital diurna a partir de las posibilidades abiertas por la disponibilidad de imágenes nocturnas de la Tierra ha ido abriéndose paso en los últimos años. En efecto, desde las primeras prácticas de teledetección a partir de satélites en la segunda mitad del siglo XX, gracias, en buena medida, a la progresiva ampliación del espectro de frecuencias desde el rango visible a los infrarrojos, las microondas o los rayos gamma las aplicaciones de esta técnica han abarcado campos tan diversos como la identificación de las cubiertas del suelo, la contaminación de los mares o la concentración de agentes químicos en la atmósfera.

Junto a la expansión de técnicas y aplicaciones, la teledetección ha conocido un proceso de popularización de los datos obtenidos. El acceso a las imágenes satelitales por parte de capas cada vez más amplias de la población ha alcanzado recientemente su punto culminante con la aparición de repositorios en internet que permiten el acceso libre a grandes cantidades de información, lo cual ha posibilitado su explotación en los campos más diversos.

Entre los productos que han sido puestos a disposición del conjunto de profesionales, estudiosos y aficionados se encuentran las imágenes satelitales nocturnas. Por su vistosidad, estas imágenes han disfrutado de una gran aceptación cuando han sido mostradas en los medios de comunicación de masas. Esta misma vistosidad y la propia facilidad de acceso han permitido aumentar el potencial de utilización de las imágenes nocturnas en el análisis de la realidad territorial, social y económica de nuestro planeta, pero en ocasiones han dado como resultado aplicaciones y análisis con un grado de preocupación escaso acerca de cuestiones como la escala, la intercalibración de las imágenes o los cambios de satélite a lo largo de la serie analizada (los cuales,

como veremos más adelante, pueden llegar a distorsionar sensiblemente los resultados obtenidos).

Aparte de los análisis relativos a la contaminación lumínica, a los factores meteorológicos, a los procesos geológicos o a la evolución de las cubiertas vegetales, se cuenta con un buen número de estudios centrados en el análisis directo de la actividad humana. Estos análisis van desde la localización y extensión de los conflictos armados (LI, ZHANG, HUANG & LI, 2015; LI & LI, 2014) hasta las características de la electrificación de las áreas en desarrollo (MIN, GABA, SARR & AGALASSOU 2013) o la estimación del producto interior bruto y el nivel de desarrollo de los países (PINKOVSKIY & SALA-i-MARTIN 2014; CHEN & NORDHAUS 2010; ELVIDGE, BAUGH, ANDERSON, SUTTON & ELVIDGE 2015; SUTTON, ELVIDGE & GHOSH 2007).

Para el caso concreto de las ciudades españolas, cabe destacar el trabajo de Sánchez, Zamorano, Gómez y Pascual sobre la evolución del consumo de electricidad para el alumbrado público entre 1992 y 2010 que, si bien se centra en el citado aspecto del consumo muestra ya las posibilidades de aplicación de las imágenes satelitales nocturnas para el análisis de la realidad urbana española (SÁNCHEZ, ZAMORANO, GÓMEZ & PASCUAL 2014). Resultan también de destacado interés, tanto desde el punto de vista metodológico como por lo que a sus resultados se refiere, los estudios llevados a cabo por el Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya en relación a la contaminación lumínica en las áreas urbanas de Cataluña (PIPIA, ALAMÚS, TARDÀ, PÉREZ, PALÀ & CORBERA 2014).

Entre los trabajos que utilizan las imágenes satelitales nocturnas con el mismo objetivo de esta investigación, es decir, el análisis de la evolución de los asentamientos humanos, destaca el realizado hace ya más de una década por Henderson, Yeh, Gong, Elvidge y Baugh, en que se señala ya la importancia y dificultad de establecer un umbral de luminosidad para delimitar las áreas urbanas (HENDERSON, YEH, GONG, ELVIDGE &

BAUGH 2003). Trabajos más recientes se esfuerzan en contrastar la validez de esta fuente mediante la comparación de las áreas urbanas delimitadas a partir del criterio de luminosidad nocturna con otras imágenes satelitales (POTERE, SCHNEIDER, ANGEL & CIVCO 2009).

Junto a estos trabajos de enfoque preeminente metodológico, diversas investigaciones han utilizado las imágenes nocturnas para identificar y superficializar áreas urbanas en ámbitos territoriales tan diversos como el sur de China (LIU & LEUNG 2015), las llanuras indias del Ganges (CHOWDHURY, MAITHANI & DADHWAL 2011) o la Amazonia brasileña (AMARAL MONTEIRO, CAMARA & QUINTANILHA 2006).

Como puede comprobarse, el aspecto que más destaca de los trabajos citados, aparte de la diversidad de temáticas analizadas, es seguramente la posibilidad de acometer análisis de escala planetaria. En efecto, como se expondrá más adelante, una de las principales ventajas de la utilización de las imágenes satelitales consiste en la posibilidad de comparación entre la práctica totalidad de la superficie habitada del planeta, gracias tanto a la exhaustividad territorial como a la uniformidad de criterio utilizado.

Aun cuando su potencial y su atractivo son altos, la utilización de imágenes nocturnas de la Tierra para el estudio del proceso de urbanización requiere el empleo de una metodología relativamente compleja, cuyos pasos se describen a continuación paso por paso.

2.2. Definición del ámbito de análisis de la investigación

El objetivo del presente trabajo es el análisis del proceso de urbanización en el conjunto del territorio español. Ahora bien, al tener como objetivo principal identificar la extensión de los usos urbanos del suelo y su proceso de expansión territorial a lo largo de las últimas dos décadas se ha decidido partir, lógicamente, del estudio de las principales áreas urbanas.

Para ello, se ha partido de las capitales de provincia peninsulares y Palma de Mallorca (es decir, se han obviado, por razón de sus especificidades, las capitales canarias, Ceuta y Melilla). El peso y la evolución demográfica del municipio central de cada una de las ciudades estudiadas pueden verse en la Tabla 1.1 de la primera sección de este volumen.

A continuación, se han seleccionado los centroides de cada una de las capitales provinciales a partir de las coordenadas del *Atlas Nacional de España*, en su apartado "Datos geográficos y Toponimia"³. Para facilitar la integración y homogeneización de esta información con el resto de datos utilizados, los pares de coordenadas se han utilizado en un sistema de referencia ETRS89 proyectado en una proyección cilíndrica acorde UTM en su huso 30 norte. Sobre estos centroides, se han delimitado cinco anillos concéntricos de 5, 10, 15, 25 y 50 kilómetros de radio, tal como muestra el Mapa 2.1. Las áreas correspondientes a estos radios, que cubren una superficie total de 275.683 km², equivalente al 55,2% del territorio peninsular español y las Islas Baleares, han sido los ámbitos empleados finalmente para el análisis.

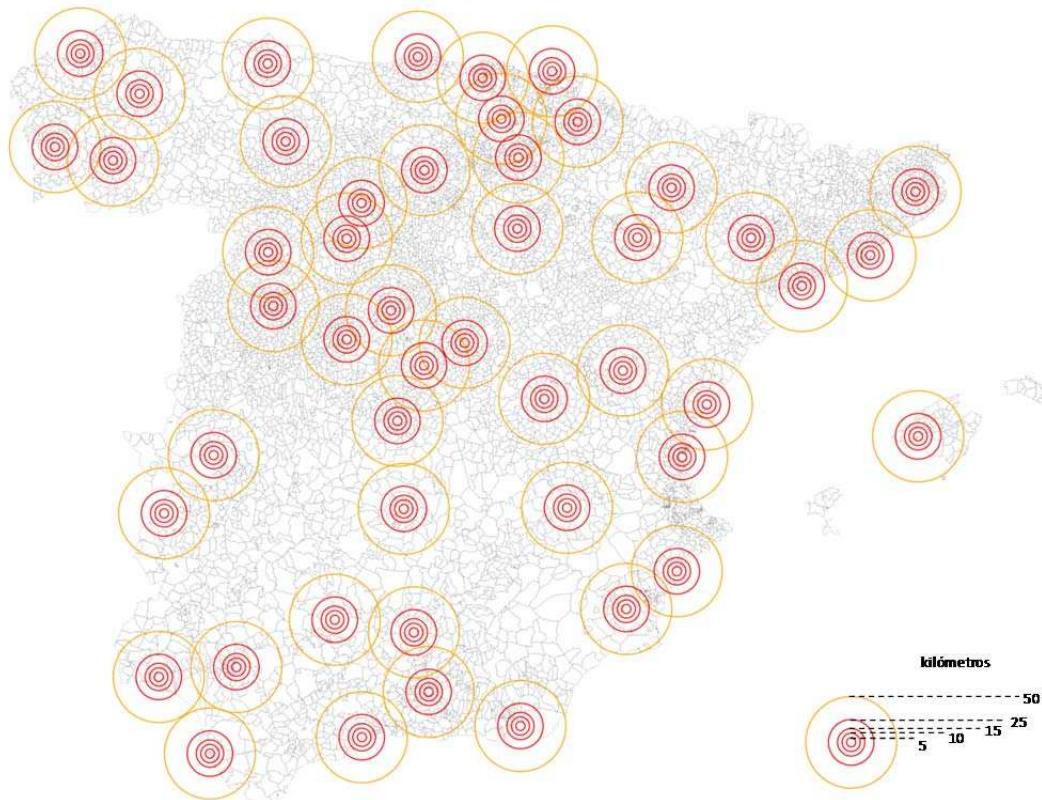
La utilización de centroides y anillos concéntricos no presupone, a los efectos de la investigación, presunción alguna de que el desarrollo urbano y metropolitano tenga hoy un carácter radiocéntrico y responda estrictamente a una topología centro-periferia. Al contrario, como se verá, la utilización de la delimitación por anillos permite detectar el surgimiento de múltiples polaridades a diversas distancias de las capitales de provincia que denotan más bien, en muchos casos, un proceso de integración del territorio a partir de múltiples focos.

Así, la elección de los entornos de las capitales provinciales como ámbito de análisis responde, en

³ Los centroides de las capitales españolas se han localizado a partir de *Atlas Nacional de España*, "Población, coordenadas y Altura de las capitales de provincia". Más información en:

<http://www.ign.es/ign/layoutIn/anetabladosdatosdatospoblacionpoblacion.do?tipoBusqueda=capitales>

Mapa 2.1. Ámbitos de análisis considerados



Fuente: Elaboración propia.

primer lugar, a la voluntad de trabajar con un ámbito territorial abordable en el marco de la presente investigación⁴. Por otra parte, la utilización de las capitales provinciales en vez de otro criterio de selección, como podría ser las ciudades que cuentan con un umbral mínimo de población, responde a un doble motivo. En primer lugar, porque la concentración de diversos municipios con una población

de, por ejemplo, 50.000 habitantes, comportaba múltiples solapamientos de las áreas delimitadas a su alrededor. En segundo lugar, porque el reparto territorialmente homogéneo de las capitales provinciales españolas permite cubrir la práctica totalidad de las zonas más habitadas del Estado⁵. De

⁴ Otro procedimiento hubiera podido consistir en estudiar el conjunto del territorio español a partir de todos los píxeles de luz que cubren su superficie o de agrupaciones de los mismos en una cuadricula homogénea. El método, sin duda interesante, hubiera excedido con mucho el alcance la presente investigación.

⁵ Como es sabido, la división provincial fue establecida en España en 1833 siguiendo el modelo departamental francés (BURGUEÑO 1996). Una de sus principales características es la voluntad de cubrir territorio español con una estructura administrativa notablemente homogénea adaptada a los centros urbanos existentes. Por este motivo ofrece una base razonablemente apta para el análisis del desarrollo urbano del territorio español en su conjunto.

esta manera, si bien es cierto que algunas ciudades medianas pueden haber quedado fuera del ámbito de análisis, las mayores ciudades y todas las aglomeraciones y conurbaciones –es decir, todos los espacios donde el proceso de urbanización presenta especial intensidad- quedan incluidas en alguno de los anillos delimitados.

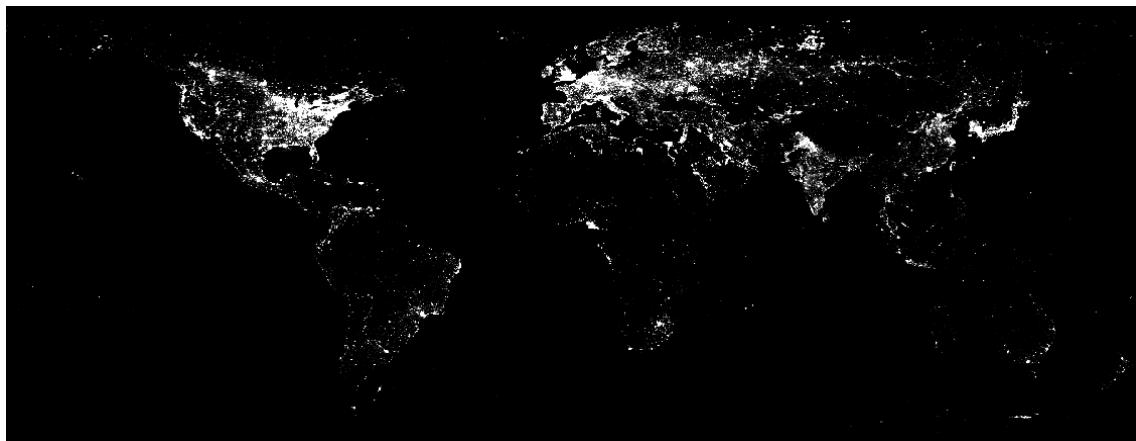
2.3. Información de base: las imágenes nocturnas de satélite

Las principales fuentes de información utilizadas para este proyecto son las imágenes satelitales nocturnas procedentes del *National Geophysical Data Center* (NGDC) de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) de los Estados Unidos de América. Estas imágenes

forman parte de los productos de teledetección urbana derivados de los sensores satelitales con capacidad de captar la sensibilidad lumínica en situaciones de poca o escasa luz natural y mostrar así la iluminación artificial que proviene de las actividades humanas.

Por lo que a su ámbito temporal se refiere, las imágenes utilizadas forman parte del conjunto de datos de la serie temporal con cobertura mundial de 1992 a 2012. Estos datos están incluidos en la versión 4 de las series temporales de imágenes satelitales DMSP-OLS (*Defense Meteorological Satellite Program – Operational Linescan System*). Para simplificar el estudio, las imágenes han sido analizadas con intervalos temporales de cinco años: 1992, 1997, 2002, 2007 y 2012.

Figura 2.1. Composición de las imágenes nocturnas del satélite DMPS-OLS, 1992



Fuente: Elaboración propia a partir de *Defense Meteorological Satellite Program*.

Las imágenes de esta base de datos cubren la longitud total del planeta en las latitudes comprendidas entre los 65° del hemisferio sur y los 75° del hemisferio norte. Los archivos, georeferenciados, están compuestos por bandas de información *raster*, y tienen una resolución de píxel

30 segundos de arco, es decir, entre 750 x 750 metros y 1.000 x 1.000 metros dependiendo de la latitud.

Para cada uno de los ámbitos representados, la fuente permite distinguir diferentes grados de intensidad lumínica. Estos oscilan desde 0 a 63,

siendo 0 el valor de oscuridad máxima y 63 el de luminosidad máxima. De esta forma es posible detectar las áreas donde, en principio, se encuentran los niveles más altos de actividad humana.

El tratamiento a que han sido sometidas el conjunto de imágenes satélite por parte de la NOAA incluye zonas con quema de gas pero excluyen otras incidencias relativamente efímeras, como incendios forestales. En concreto, cabe destacar las siguientes características:

- Debido a la propia naturaleza de la fuente, el valor de cada píxel es una media procesada a partir del conjunto de imágenes de un año natural.
- Los datos se procesan a partir de la información contenida en el centro de franjas de 3000 km de ancho que barren la superficie terrestre según el método de OLS (*Operational Linescan System*). Este método ofrece una mejor precisión en términos de radiometría.
- Se excluye la iluminación solar basada en el ángulo de inclinación solar.
- Se excluye la iluminación lunar basada en el ángulo de inclinación lunar.
- Se excluyen observaciones con nubosidad.
- Se excluyen observaciones sometidas a la presencia de auroras boreales en el hemisferio norte.
- El valor que ofrece cada píxel no tiene calibración radiométrica, es un índice que mide de manera ponderada el valor de luminosidad media del área que representa.

En resumen, la extensión del ámbito territorial cubierto (prácticamente todo el planeta habitado), el elevado nivel de detalle territorial considerado (750 x 750 metros), la amplia gama de luminosidad empleada (63 valores), la recurrencia anual de los datos y el largo período temporal cubierto (20 años) hacen de la fuente utilizada un recurso de gran valor para el análisis comparativo de las urbanas a escala de todo el planeta.

Figura 2.2. Ámbito de estudio y luces estables para el año 1992



Fuente: Elaboración propia a partir de *Defense Meteorological Satellite Program*.

2.4. Tratamiento previo de las imágenes

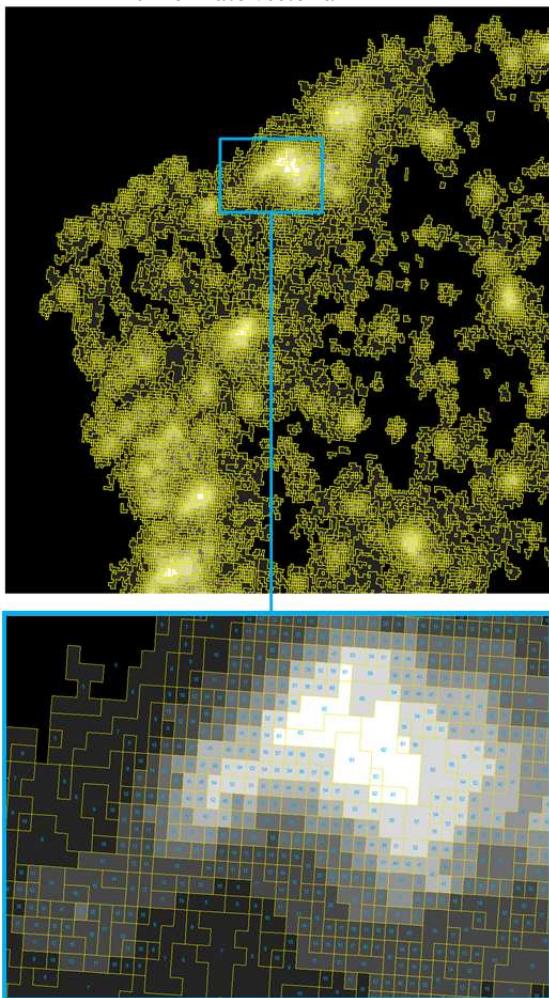
Para la observación y tratamiento de las imágenes nocturnas se ha accedido, en primer lugar, al espacio de descargas del NOAA⁶ y se ha procedido a la descarga del conjunto de imágenes satélite para todos los años del estudio (1992-2012). En aquellos casos en los que la disponibilidad de las mismas permite descargar más de una imagen para un mismo año, se ha seleccionado la más reciente. Cabe mencionar que a lo largo de los 21 años para los que se pueden descargar imágenes satélite nocturnas se han puesto en órbita un total de 6 satélites y, en un total de 12 años, han llegado a coexistir dos satélites de manera simultánea.

Una vez descargadas, se ha procedido a la extracción de las imágenes correspondientes al ámbito de estudio. A fin de agilizar el proceso de análisis y generar ficheros más ligeros, se ha generado y extraído un ámbito de estudio de 1.200 km de lado que incluye la Península Ibérica en su totalidad así como las Islas Baleares. Como se ha indicado, por la propia ubicación del archipiélago

⁶ http://ngdc.noaa.gov/eog/dmsp/download_V4composites.html

de las Islas Canarias, éstas no se incluyen en el ámbito de estudio⁷.

Figura 2.3. Detalle de la imagen a partir del archivo en formato vectorial



Fuente: Elaboración propia a partir de *Defense Meteorological Satellite Program*.

⁷ Obviamente, siempre pueden recuperarse los datos originales e incluir las Islas Canarias en el proceso.

En tercer lugar, se ha realizado la conversión de las imágenes a un formato vectorial que permite el análisis cuantitativo de los datos de intensidad lumínica en relación a otras variables de las capitales de provincia españolas. De manera paralela y para poder trabajar con otras fuentes de información, se ha procedido a unificar todas las bases cartográficas en un espacio cartográfico de trabajo común⁸.

Cabe apuntar que se ha renunciado a una intercalibración de las imágenes para corregir las diferencias en los valores de luminosidad producidas por la utilización de hasta seis satélites diferentes a lo largo del período analizado, ninguno de los cuales disponía de sistema de calibración a bordo. Diversos autores han propuesto fórmulas de corrección de esta carencia (ELVIDGE, HSU, BAUGH & GHOSH 2014). Para los objetivos de la presente investigación, sin embargo, la aplicación de dichas fórmulas no proporciona una mejora en el análisis, principalmente porque altera todo el rango de valores, incluidos los mínimos y máximos (los primeros a veces incluso hasta valores negativos) para cada año. De esta manera se imposibilitaría la comparación a partir de un determinado nivel de luminosidad aplicado a diversos años.

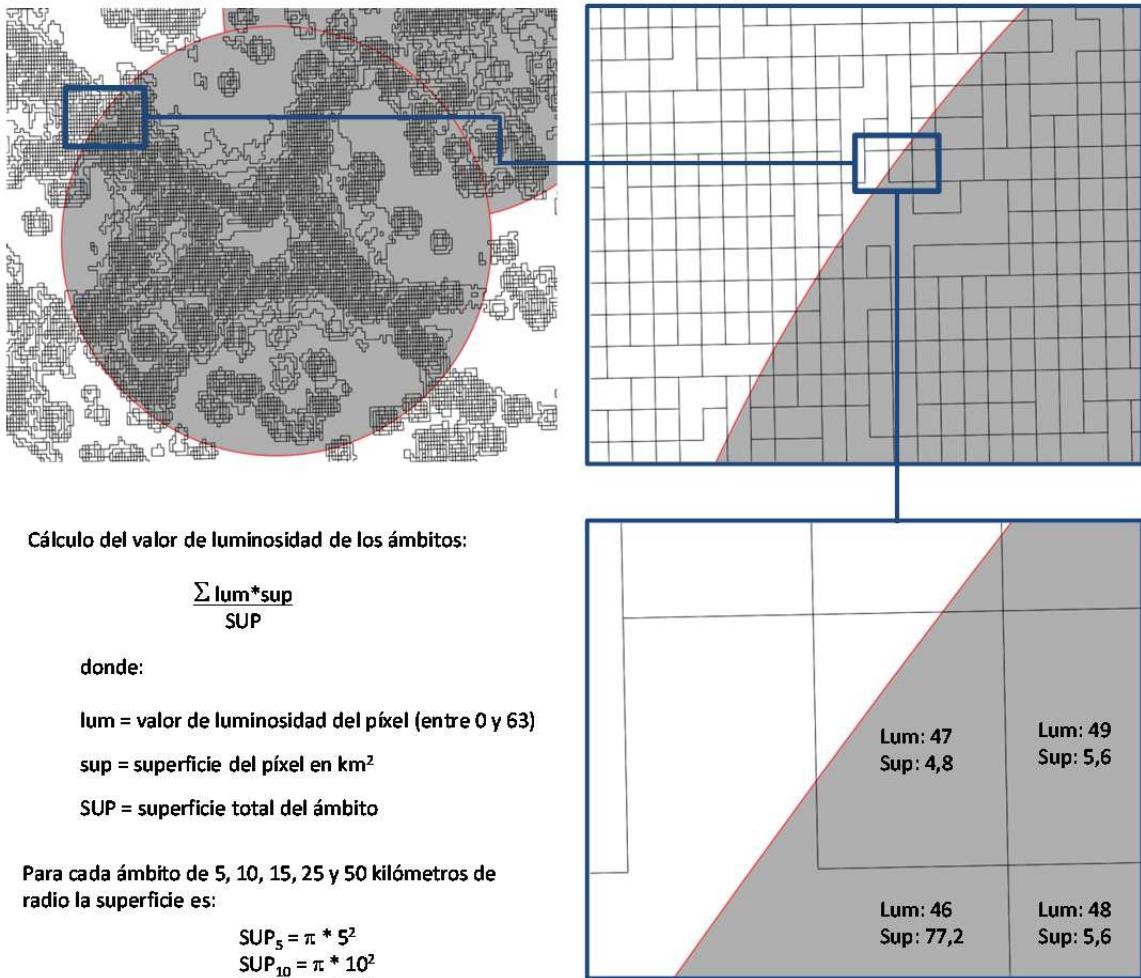
2.5. Metodología para el cálculo de la evolución de la luminosidad de los ámbitos seleccionados

En los tres apartados anteriores se han descrito los componentes fundamentales para la investigación:

- Los ámbitos de análisis: las 50 capitales de provincia y sus territorios circundantes en los radios de 5, 10, 15, 25 y 50 kilómetros.
- El período de estudio: los veinte años transcurridos entre 1992 y 2012 considerados en lapsos temporales de cinco años.

⁸ Datum: ETRS89, *European Terrestrial Reference System 1989*. Proyección: UTM30, *Universal Transverse Mercator*, huso 30.

Figura 2.4. Cálculo del valor ponderado de luminosidad de los ámbitos y las coronas



Fuente: Elaboración propia.

- La información sobre el nivel de luminosidad de estos ámbitos con valores entre 0 y 63 a nivel de detalle espacial que llega a los 750x750 metros, procedente de las imágenes satelitales nocturnas de la NOAA.

A partir de estos parámetros, la presente investigación aplica una doble metodología de análisis. Por un lado, en este apartado se describe el procedimiento utilizado para conocer el valor de luminosidad de cada corona de las áreas urbanas seleccionadas a partir del cálculo de la media ponderada para cada una de ellas. Por otro lado, el apartado siguiente describe la metodología utilizada para analizar la extensión y la morfología de los usos urbanos a partir de la superficialización de las áreas que muestran un determinado nivel de luminosidad.

La primera de las metodologías parte de las coronas delimitadas para cada uno de los 48 ámbitos seleccionados con el objetivo de calcular su luminosidad. En este sentido, el hecho de que cada corona (circular) esté compuesta por un determinado nivel de píxeles (rectangulares) con valores diversos obliga a dos procedimientos previos. En primer lugar, el recorte de los rectángulos que quedan fuera de las áreas circulares y, en segundo lugar, el recorte de las áreas marítimas (no emisoras de luz) en aquellos ámbitos donde se hallen.

Una vez efectuado este doble proceso de recorte se ha multiplicado el valor de luminosidad de cada píxel por su superficie. La suma de los valores ponderados dividida por la superficie, también recalculada, de cada corona, es la que permite obtener finalmente el valor ponderado de su luminosidad.

Cabe subrayar que esta operación se ha realizado tanto para el conjunto de las áreas (la superficie total comprendida en el radio de 50 kilómetros) como para cada corona individualmente, de manera que los valores de luminosidad obtenidos corresponden al radio de 5 kilómetros y a las coronas entre 5 y 10 kilómetros, entre 10 y 15 kilómetros, entre 15 y 25 kilómetros y entre 25 y 50

kilómetros, y no a los ámbitos de radio 5, 10, 15, 25 y 50 kilómetros.

2.6. Metodología para la estimación de la evolución de la urbanización: establecimiento del umbral nivel de luminosidad urbana

La segunda metodología utilizada tiene como objetivo conocer la extensión de los usos urbanos alrededor de las cuarenta y ocho capitales analizadas partiendo de la superficialización de las áreas que muestren un determinado nivel de luminosidad.

El paso previo a la aplicación de este procedimiento consiste, precisamente, en determinar el valor de luminosidad de referencia, es decir, el valor mínimo de luminosidad que pueda considerarse “luminosidad urbana”. La definición de dicho umbral de luminosidad tiene por principal objeto medir la intensidad de los usos urbanos del territorio. Con el mismo no se pretende indicar, en modo alguno, que los usos urbanos no se extiendan a ámbitos que presentan niveles de luminosidad inferiores. Al contrario, como se ha indicado, la presente investigación parte de la premisa de que la urbanización es hoy un proceso que tiende a integrar y a transformar los usos del territorio español en su conjunto. La noción “luminosidad urbana” debe ser pues entendida en términos de intensidad, no de exclusión.

Para la definición del mencionado umbral se ha considerado conveniente contrastar los datos referentes a los valores de luminosidad con las informaciones disponibles a través de otras fuentes sobre la extensión física de los asentamientos urbanos.

Así, se ha realizado un triple proceso de comparación de cada uno de los umbrales de luminosidad con las realidades urbanas ya conocidas e identificadas. En este sentido, y con el propósito de ajustar al máximo la comprobación, se ha utilizado tres fuentes de identificación del suelo urbano: la *Base Topográfica Nacional 1:100.000*

del Instituto Geográfico Nacional, las *Urban Morphological Zones* de la European Environment Agency y, para el caso concreto de la región metropolitana de Barcelona, el *Mapa de Cobertes del Sòl* del Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals⁹.

Cada una de estas fuentes ha permitido identificar y superficializar las partes del territorio que han conocido procesos de transformación del suelo asociado a usos urbanos¹⁰. Sobre estas superficies se han superpuesto las áreas correspondientes a los diversos niveles de intensidad lumínica (superior a 62 píxeles, superior a 61 píxeles, etc., hasta superior a 44 píxeles) con el objetivo de identificar la correspondencia entre ambas. De esta manera, el nivel de luminosidad que muestre una mayor coincidencia (intersección) al tiempo que minimiza las áreas no coincidentes (unión menos intersección) será el que mejor represente las áreas sujetas a usos urbanos. Veamos a continuación los resultados obtenidos mediante la aplicación de este ejercicio en las tres bases cartográficas mencionadas.

2.6.1. Cruce de los píxeles de luz con la Base Topográfica Nacional 100 del IGN

- Selección de elementos urbanos

A partir de la clasificación de los usos del suelo de la Base Topográfica Nacional 100, se han

⁹ Cabe destacar que las diversas escalas de estas fuentes (1/100.000 para la BTN100 y las UMZ y 1/2.500 para el Mapa de Cobertes del Sòl) implican, obviamente, diversos niveles de precisión en la delimitación de las áreas y pueden condicionar los resultados obtenidos mediante la utilización de cada una de ellas.

¹⁰ De manera genérica se denominará a estos ámbitos como “áreas con cubiertas de suelo urbanas” o “cubiertas urbanas”. Se ha preferido esta denominación a la de “suelo urbano” (por la connotación jurídica de la misma) o a la de “suelo artificializado”, ya que, como se verá, algunas de las fuentes incluyen en las cubiertas urbanas suelos no necesariamente artificializados mediante la construcción de artefactos urbanos.

seleccionado tres tipos de elementos superficiales correspondientes a su Tema 5, “Poblaciones y construcciones” de la BTN100 por considerarlos representativos del suelo urbano:¹¹

- ‘Núcleo de población’.
- ‘Diseminado’.
- ‘Zona de uso característico’.

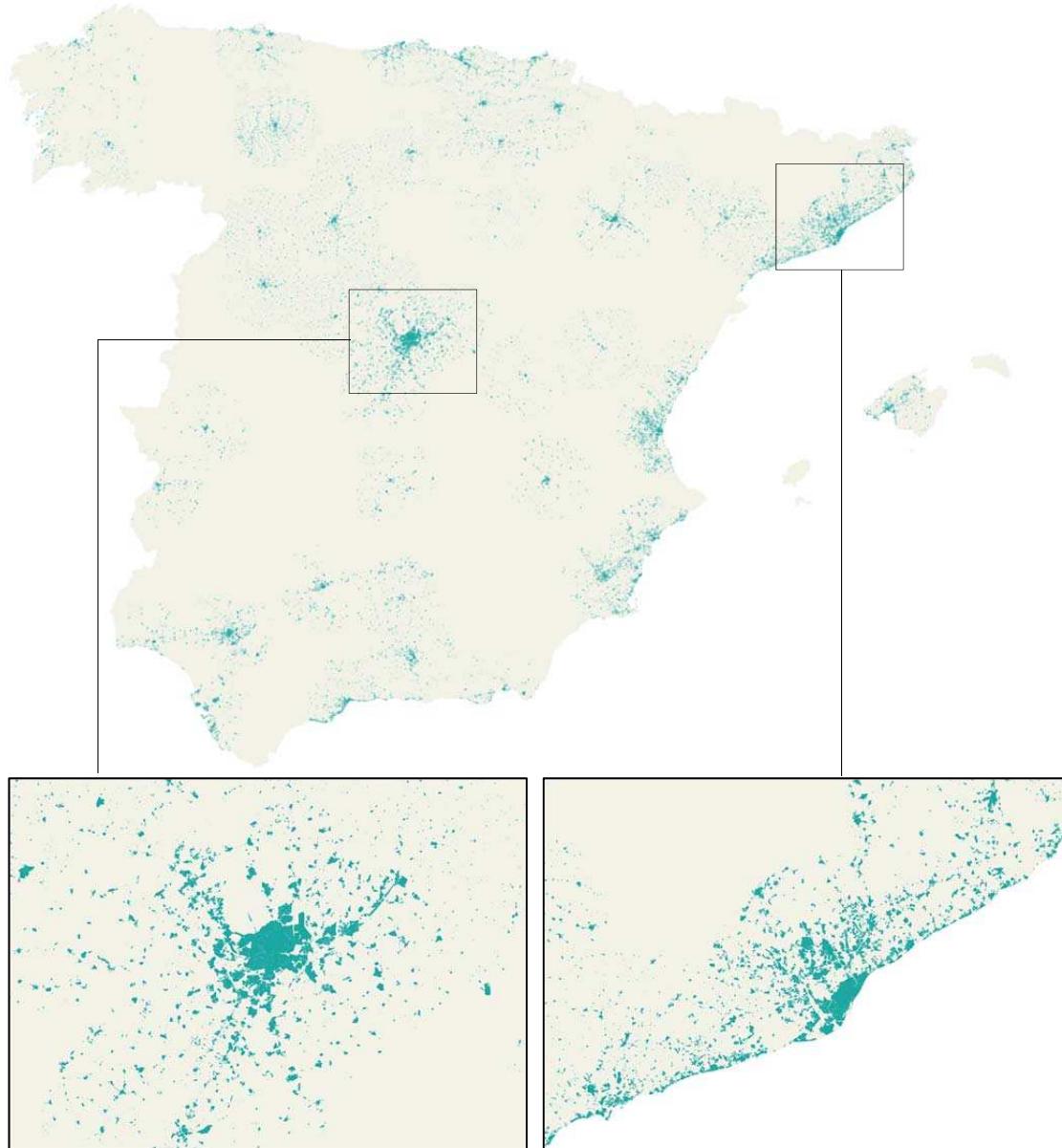
Dentro de este último, sin embargo, se han descartado algunas categorías por considerarlas no necesariamente representativas de entornos urbanos ni asociadas de manera regular a una emisión nocturna de luz artificial. En concreto, se han descartado las siguientes categorías:

- Dentro de las etiquetadas “Otras” (00): Zonas arqueológicas
- Dentro de las etiquetadas “Deportiva” (01): Campos de golf, circuitos (de todo tipo), estaciones de esquí, hípicas e hipódromos.
- Dentro de las etiquetadas “Industrial” (02): Zonas de explotación minera, parques eólicos.
- Dentro de las etiquetadas “Militar” (03): Zonas militares, campos de tiro, campos de maniobras, campamentos, instalaciones militares, polvorines.
- Dentro de las etiquetadas ”Recreativa” (05): Clubs de campo, clubs de golf.
- Dentro de las etiquetadas “Verde” (07): Parques forestales.
- Todas las etiquetadas “Invernadero” (12).

La eliminación de estas categorías y la consideración de las restantes ha dado como resultado una superficie total de cubiertas de suelo urbanas de 8.849,4 kilómetros cuadrados para el conjunto del territorio español (excepto las Islas Canarias). El Mapa 2.2 muestra el suelo ocupado por las categorías seleccionadas para las 48 áreas de análisis así como su detalle para las áreas de Madrid y Barcelona.

¹¹ Para mayor información sobre las características de la Base Topográfica Nacional véase:
<https://www.ign.es/ign/layoutIn/actividadesBDGbtm100.d0>

Mapa 2.2. Cubiertas urbanas a partir de la BTN100. Radios de 50 km de las 48 áreas consideradas



Fuente: Elaboración propia a partir de las bases cartográficas del Instituto Geográfico Nacional.

Tabla 2.1. Determinación del píxel de máxima correspondencia entre luminosidad y áreas con cubiertas urbanas de la BTN100. Conjunto de España peninsular e Islas Baleares

píxel	BTN100 España	Luz	Área urbana no			Área total	Intersect/ Área total*100	% área urbana considerada
			Intersect	intersect	Luz no intersect			
45	8.849.427.391	22.239.724.044	5.730.740.332	3.118.687.059	16.508.983.712	25.358.411.103	22,60	64,76
46	8.849.427.391	21.465.476.496	5.653.913.831	3.195.513.560	15.811.562.665	24.660.990.056	22,93	63,89
47	8.849.427.391	20.687.331.466	5.560.906.381	3.288.521.010	15.126.425.085	23.975.852.476	23,19	62,84
48	8.849.427.391	19.936.798.349	5.472.034.748	3.377.392.643	14.464.763.601	23.314.190.992	23,47	61,83
49	8.849.427.391	19.139.052.897	5.377.347.682	3.472.079.709	13.761.705.215	22.611.132.606	23,78	60,76
50	8.849.427.391	18.394.747.942	5.274.194.274	3.575.233.117	13.120.553.668	21.969.981.059	24,01	59,60
51	8.849.427.391	17.646.848.368	5.171.483.387	3.677.944.004	12.475.364.981	21.324.792.372	24,25	58,44
52	8.849.427.391	16.864.229.215	5.063.479.817	3.785.947.574	11.800.749.398	20.650.176.789	24,52	57,22
53	8.849.427.391	16.103.341.954	4.955.040.972	3.894.386.419	11.148.300.982	19.997.728.373	24,78	55,99
54	8.849.427.391	15.376.837.858	4.841.493.952	4.007.933.439	10.535.343.906	19.384.771.297	24,98	54,71
55	8.849.427.391	14.581.350.245	4.719.612.284	4.129.815.107	9.861.737.961	18.711.165.352	25,22	53,33
56	8.849.427.391	13.802.640.744	4.598.456.406	4.250.970.985	9.204.184.338	18.053.611.729	25,47	51,96
57	8.849.427.391	12.979.835.333	4.461.806.164	4.387.621.227	8.518.029.169	17.367.456.560	25,69	50,42
58	8.849.427.391	12.082.709.009	4.292.385.134	4.557.042.257	7.790.323.875	16.639.751.266	25,80	48,50
59	8.849.427.391	11.137.141.204	4.117.622.424	4.731.804.967	7.019.518.780	15.868.946.171	25,95	46,53
60	8.849.427.391	10.195.156.737	3.926.145.581	4.923.281.810	6.269.011.156	15.118.438.547	25,97	44,37
61	8.849.427.391	9.086.465.980	3.680.192.647	5.169.234.744	5.406.273.333	14.255.700.724	25,82	41,59
62	8.849.427.391	7.602.273.717	3.324.024.768	5.525.402.623	4.278.248.949	13.127.676.340	25,32	37,56
63	8.849.427.391	5.251.126.613	2.637.557.500	6.211.869.891	2.613.569.113	11.462.996.504	23,01	29,80

Fuente: Elaboración propia a partir de las bases del Instituto Geográfico Nacional.

- Cruce con los píxeles de luz

El cruce entre las dos capas (Tabla 2.1) muestra como, partiendo del área del píxel de luz 63, a medida que se desciende en el nivel de luminosidad, lógicamente, se incrementa el área cubierta. Cabe destacar que, al principio, la parte de este nueva área incorporada coincidente con las cubiertas de suelo urbanas es superior a las no urbanas, de modo que el cociente intersección/unión va aumentando. Ahora bien, al llegar al píxel 60 este cociente alcanza su máximo, 25,97, para empezar a disminuir. Es decir, para el conjunto de España, el nivel de luminosidad que mejor respondería a las cubiertas urbanas es el del píxel 60. A partir de aquí, cada incremento del área producto de la consideración de un nivel de luminosidad menor está compuesto por mayor proporción de cubiertas no urbanas que de urbanas.

Cabe señalar, igualmente, que a pesar de suponer la mayor coincidencia, el área definida por el nivel de luminosidad 60 sólo abarca el 44,37% del suelo con

cubiertas urbanas definidas según la BTN100 de la España peninsular e Islas Baleares.

- Cruce con los píxeles de luz para cada capital de provincia

Los resultados obtenidos son válidos para el conjunto de las 48 áreas consideradas, pero es posible que cada una de ellas individualmente muestre una mayor correspondencia entre cubiertas de suelo urbanas y luminosidad en valores diferentes. Esta precisión es relevante, puesto que al estar comparando superficies, los valores de las áreas urbanas más extensas tienen un peso mayor sobre la media que el de las menos extensas. Por este motivo se ha realizado el mismo análisis para cada una de las 48 áreas individualmente.

Los resultados son, como muestra la Tabla 2.2, notablemente distintos. Así, el píxel de luz de máxima intersección de las áreas para cada una de las 48 áreas analizadas va desde el mínimo considerado en los casos de Albacete y León, hasta

Tabla 2.2. Determinación del píxel de máxima correspondencia entre luminosidad y cubiertas urbanas de la BTN100. 48 áreas urbanas

Área urbana	Píxel	% área urbana considerada
Albacete	45	33,4
León	45	28,9
Palma	47	50,0
Teruel	47	18,6
Ávila	48	15,6
Ciudad Real	48	42,5
Huesca	48	26,1
Jaén	48	36,0
Lleida	48	34,3
Soria	49	17,7
Tarragona	49	66,6
Zamora	49	14,3
Huelva	52	52,1
Toledo	52	47,4
Córdoba	53	39,7
Salamanca	53	27,4
Cuenca	54	16,7
Girona	54	42,8
Cáceres	55	28,6
Castellón de la Plana	56	57,5
Santander	56	43,0
Segovia	56	37,0
Badajoz	57	25,2
Málaga	57	61,7
Cádiz	58	57,7
Granada	58	46,0
Logroño	58	33,6
Vitoria	58	34,3
Zaragoza	58	51,3
Oviedo	59	32,8
Pamplona	59	38,5
San Sebastián	59	31,9
Alicante	60	57,4
Almería	60	39,0
Barcelona	60	69,6
Valladolid	60	33,3
Bilbao	61	40,7
Ourense	61	21,7
Valencia	61	52,5
A Coruña	62	40,2
Burgos	62	26,7
Lugo	62	33,9
Murcia	62	50,2
Palencia	62	35,6
Pontevedra	62	22,7
Guadalajara	63	56,8
Madrid	63	63,4
Sevilla	63	41,9
media		55,77
mediana		57
moda		62

Fuente: Elaboración propia a partir de las bases del Instituto Geográfico Nacional.

el máximo posible para Guadalajara, Madrid o Sevilla.

El cálculo de la media (55,77) y la identificación de la mediana (57), muestra como el valor obtenido anteriormente para el conjunto de las áreas (60) viene condicionado por la moda (62) y, sobre todo, por los altos valores de luminosidad de las áreas urbanas más extensas.

2.6.2. Cruce de los píxeles de luz con las *Urban Morphological Zones* de la European Environment Agency

- Selección de elementos urbanos

La segunda base de información para la identificación de los tejidos es la base de las *Urban Morphological Zones* confeccionadas por la European Environment Agency a partir de la base de *Corine Land Cover* de 2006¹².

Las *Urban Morphological Zone* (UMZ) son definidas como “un conjunto de áreas urbanas no separadas por una distancia superior a los 200 metros”.

Las cubiertas de *Corine Land Cover* que la EEA considera como componentes de estos tejidos urbanos son las siguientes:

- *Cubiertas principales*: 111 ‘Tejidos urbanos continuos’; 112 ‘Tejidos urbanos discontinuos’; 121 ‘Zonas industriales o comerciales’; 141 ‘Áreas verdes urbanas’.
- *Cubiertas ampliadas*. Sobre estos tejidos principales se seleccionan también las siguientes cubiertas:
 - Siempre que se encuentren en contacto o a menos de 200 metros de las cubiertas principales: 123 ‘Áreas portuarias’; 124

¹² Para mayor información sobre las características de las *Urban Morphological Zones* véase:

<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/urban-morphological-zones-2006>

‘Aeropuertos’; 142 ‘Equipamientos deportivos y de ocio’.

- Siempre que se encuentren en un radio inferior a los 300 metros de las cubiertas principales o ampliadas: 122 ‘Redes viarias y ferroviarias’; 511 ‘Canales acuáticos’.
- Siempre que se encuentre totalmente rodeados de cubiertas principales: Bosques y matorrales (311, 312, 313, 322, 323, 324).

El Mapa 2.3 muestra los tejidos correspondientes a las UMZ de las 48 áreas españolas consideradas, es decir, el conjunto de tejidos urbanos en un radio de 50 kilómetros de cada una de las 48 capitales provinciales estudiadas.

Más allá de la lógica coincidencia que han de mostrar dos mapas que representan las cubiertas urbanas de un mismo ámbito, el mapa de las UMZ presenta algunas diferencias respecto al de la Base Topográfica Nacional. Estas diferencias son debidas no únicamente a los años de referencia sino también a las cubiertas consideradas. Así, la fecha de referencia más reciente de la BTN100 permite recoger diversas extensiones de las cubiertas urbanas existentes en el año 2006, pero, sobre todo, el hecho de que esta incluye cualquier tipo de suelo urbanizado, pertenezca o no a un continuo metropolitano, amplía notablemente la selección, como muestra el Mapa 2.4. Por su parte, la intención delimitadora de áreas urbanas continuas de las UMZ lleva a considerar algunos espacios intersticiales entre tejidos urbanos, así como algunas infraestructuras de transporte que los conectan, como muestra el Mapa 2.5.

- Cruce con los píxeles de luz

Debido a la fecha de referencia de la base de cubiertas de suelo, el cruce con las imágenes de luminosidad no se ha realizado con la imagen más reciente sino con la correspondiente al año de referencia de las UMZ, es decir, el 2006.

La Tabla 2.3 permite observar como en este caso, el píxel de luz que mejor se adapta a las cubiertas

urbanas para el conjunto de las áreas analizadas es el de valor 58. El área correspondiente a un nivel de luminosidad igual o superior a este valor cubre casi la mitad (48,04%) de las UMZ consideradas.

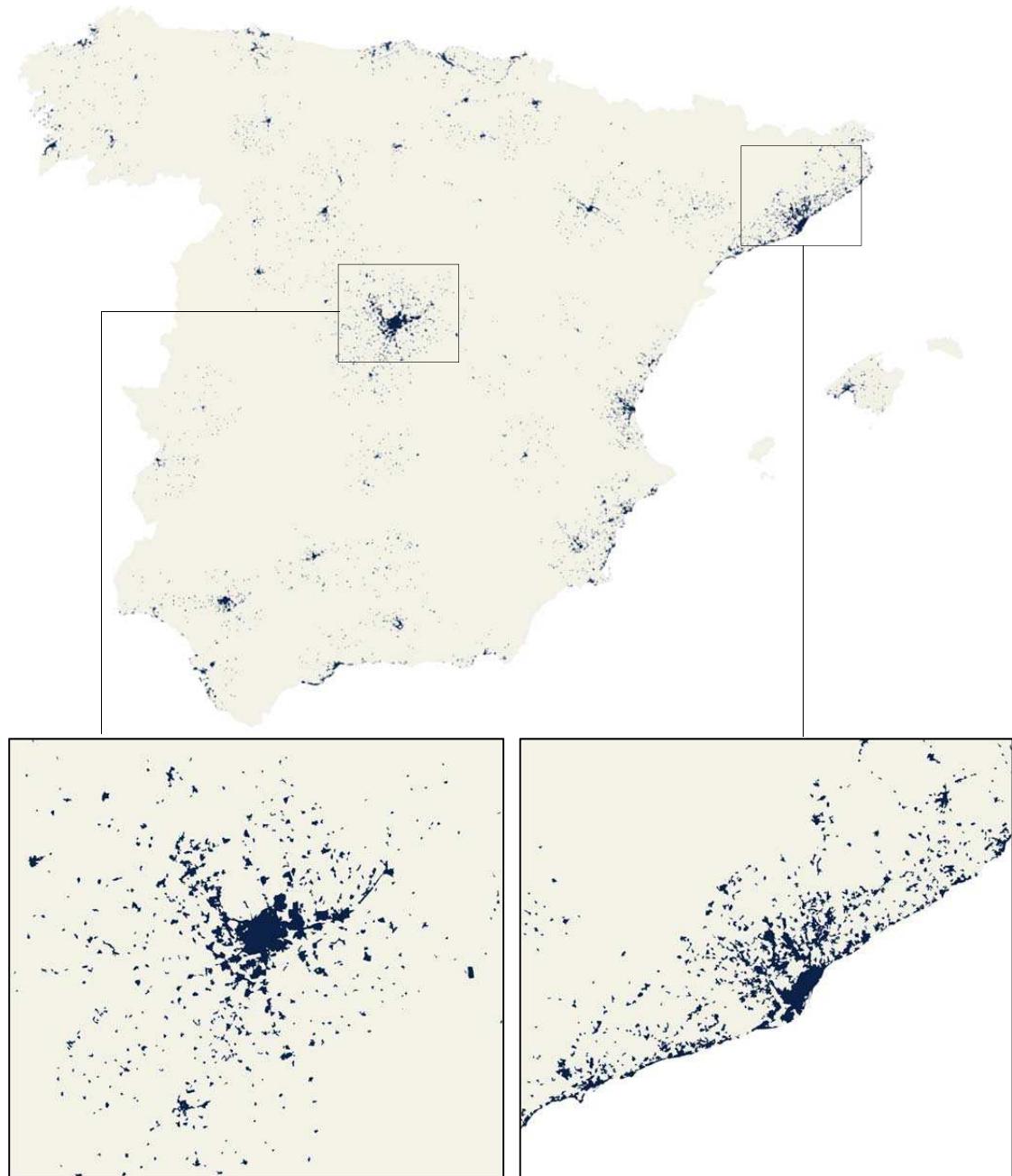
Aparte de las diferencias atribuibles a las características y a las escalas de cada una de las bases territoriales utilizadas, los resultados apuntan a que la extensión de la urbanización producida en este periodo (2006-2012) ha ido aparejada con un incremento de la luminosidad, lo que obliga a considerar niveles de máxima correspondencia diferentes entre una y otra fuentes. La constatación de estas diferencias de máxima correspondencia a lo largo del tiempo es importante a la hora de seleccionar un único valor que permita la comparación de diversas imágenes para un período de 20 años.

- Cruce con los píxeles de luz para cada capital de provincia

De manera similar a lo observado en el caso de la Base Topográfica Nacional, los niveles de máxima correspondencia entre luminosidad y cubiertas urbanas varían notablemente entre las diversas áreas analizadas. Como en aquel caso, también diversas capitales muestran valores máximos de correspondencia de 45 (o inferiores, ya que este es el nivel de luminosidad mínimo que se ha considerado), mientras que Madrid alcanza el nivel 62.

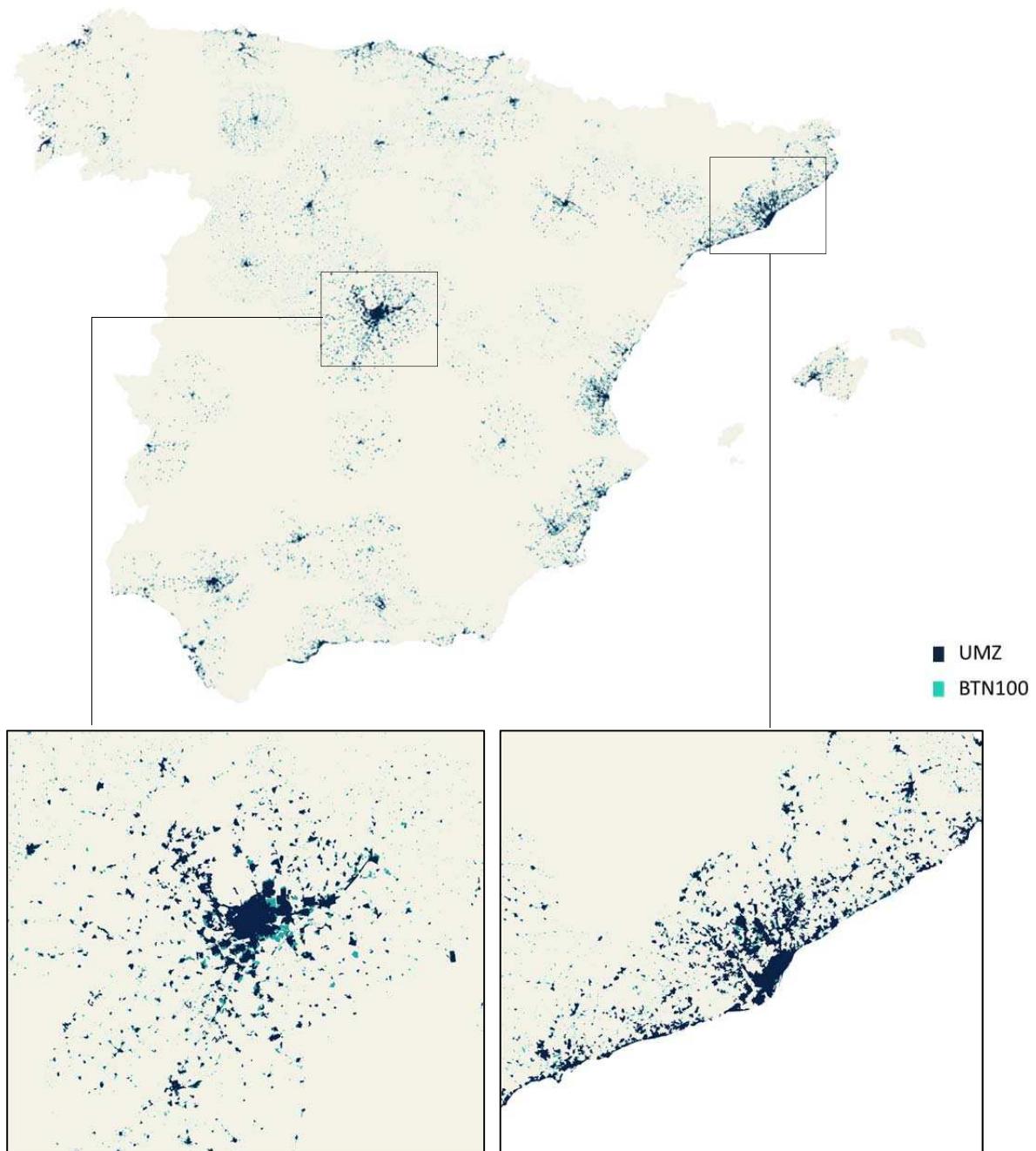
Se constata de esta manera una similitud en cuanto a la amplitud de valores pero, al mismo tiempo, una clara disminución en los valores de correspondencia más ajustados a las cubiertas urbanas. En primer lugar, un sólo ámbito (Madrid) alcanza al nivel 62, mientras que en el caso de la Base Topográfica Nacional 100 seis ámbitos mostraban este valor mientras que otros tres (Madrid, Guadalajara y Sevilla) alcanzan el valor 63. En segundo lugar, también los valores mínimos muestran una mayor representación en este caso que en el anterior. Finalmente, y en parte como consecuencia de los dos factores anteriores, la media, la mediana y la moda de la distribución muestran valores claramente inferiores: respectivamente, 53,7 frente a 55,77, 54 frente a 57 y 61 frente a 62.

Mapa 2.3. Urban Morphological Zones. Radios de 50 km de las 48 áreas consideradas



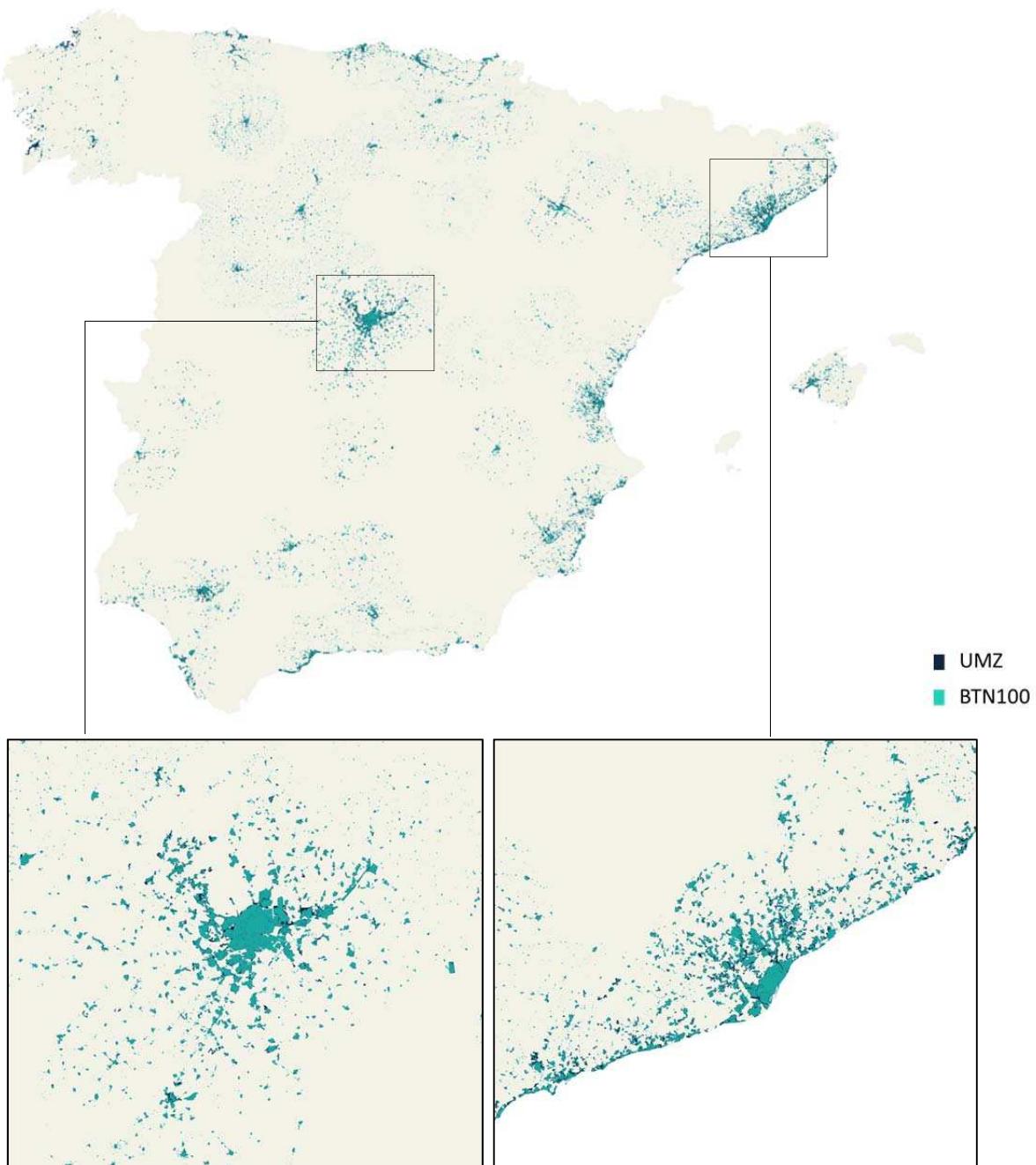
Fuente: Elaboración propia a partir de las bases cartográficas de la European Environment Agency.

Mapa 2.4. Comparación entre UMZ y cubiertas urbanas de la BTN100. Radios de 50 km de las 48 áreas consideradas



Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de la European Environment Agency y del Instituto Geográfico Nacional.

Mapa 2.5. Comparación entre cubiertas urbanas de la BTN100 y UMZ. Radios de 50 km de las 48 áreas consideradas



Fuente: Elaboración propia a partir de las bases del Instituto Geográfico Nacional y de la European Environment Agency.

Tabla 2.3. Determinación del píxel de máxima correspondencia entre luminosidad y Urban Morphological Zones. Conjunto de España

píxel	UMZ	Luz 2006	superficie (m ²)				Intersect/ Área total*100	% UMZ considerada
			Intersect	UMZ no intersect	Luz no intersect	Área total		
45	6.794.601.894	17.000.904.873	4.643.214.757	2.151.387.137	12.357.690.116	19.152.292.010	24,24	68,34
46	6.794.601.894	16.313.220.458	4.567.516.521	2.227.085.373	11.745.703.937	18.540.305.831	24,64	67,22
47	6.794.601.894	15.677.662.294	4.485.673.677	2.308.928.217	11.191.988.617	17.986.590.511	24,94	66,02
48	6.794.601.894	15.068.435.551	4.403.634.697	2.390.967.197	10.664.800.854	17.459.402.748	25,22	64,81
49	6.794.601.894	14.423.843.947	4.316.991.180	2.477.610.713	10.106.852.767	16.901.454.661	25,54	63,54
50	6.794.601.894	13.782.330.399	4.223.842.152	2.570.759.742	9.558.488.246	16.353.090.140	25,83	62,16
51	6.794.601.894	13.131.685.837	4.128.581.995	2.666.019.899	9.003.103.842	15.797.705.736	26,13	60,76
52	6.794.601.894	12.520.982.034	4.030.233.801	2.764.368.093	8.490.748.233	15.285.350.127	26,37	59,32
53	6.794.601.894	11.877.703.401	3.919.488.144	2.875.113.750	7.958.215.257	14.752.817.151	26,57	57,69
54	6.794.601.894	11.220.513.586	3.801.650.530	2.992.951.364	7.418.863.056	14.213.464.950	26,75	55,95
55	6.794.601.894	10.555.335.380	3.686.803.113	3.107.798.781	6.868.532.266	13.663.134.160	26,98	54,26
56	6.794.601.894	9.883.888.448	3.563.126.388	3.231.475.506	6.320.762.060	13.115.363.954	27,17	52,44
57	6.794.601.894	9.166.035.950	3.412.408.060	3.382.193.834	5.753.627.889	12.548.229.783	27,19	50,22
58	6.794.601.894	8.467.763.120	3.264.210.649	3.530.391.245	5.203.552.471	11.998.154.365	27,21	48,04
59	6.794.601.894	7.726.857.707	3.087.101.393	3.707.500.501	4.639.756.314	11.434.358.208	27,00	45,43
60	6.794.601.894	6.967.072.419	2.898.139.489	3.896.462.405	4.068.932.931	10.863.534.825	26,68	42,65
61	6.794.601.894	6.016.646.534	2.641.061.289	4.153.540.605	3.375.585.245	10.170.187.139	25,97	38,87
62	6.794.601.894	4.901.473.515	2.305.113.507	4.489.488.387	2.596.360.008	9.390.961.902	24,55	33,93
63	6.794.601.894	3.390.404.294	1.760.388.828	5.034.213.066	1.630.015.465	8.424.617.359	20,90	25,91

Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de la European Environment Agency.

2.6.3. Cruce de los píxeles de luz con el *Mapa de Cobertes del Sòl* del CREAF para el caso específico de la región metropolitana de Barcelona

Con el objetivo de contrastar la metodología y sus resultados se ha considerado conveniente realizar un ensayo para un área urbana en particular con una fuente de información que permita un mayor nivel de detalle que las anteriores. A estos efectos se ha utilizado el mapa de cubiertas del suelo de Cataluña elaborado por el Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF) del año 2009, al que se han superpuesto las imágenes satelitales nocturnas del año 2010¹³. El nivel de precisión de

este mapa es, por su escala e identificación de las diversas cubiertas, muy superior al de las otras dos fuentes utilizadas. A partir de esta fuente se ha procedido a aplicar la misma metodología empleada

i Aplicacions Forestals (CREAF), correspondiente al año 2009, etiqueta la base de polígonos (279.448 para la región metropolitana de Barcelona) a partir de cuatro campos (tipo de cubierta del suelo compuesta, tipo de edificación, tipo de cubierta del suelo simple y cubierta en construcción) de los que se obtienen como resultado 411 categorías. De estas categorías se han seleccionado únicamente las 51 correspondientes a la tipología artificial compuesta, incluyendo, por lo tanto, todo tipo de suelos residenciales, industriales, terciarios, infraestructurales o de equipamientos, obviando, por tanto, las tipologías correspondientes a usos agrícolas, forestales, hídricos, etc. De esta manera el número total de polígonos considerados es de 108.539. Para mayor información véase: <http://www.creaf.uab.es/mcsc/>

¹³ La 4^a edición del *Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya* elaborado por el Centre de Recerca Ecològica

Tabla 2.4. Determinación del píxel de máxima correspondencia entre luminosidad y las UMZ. 48 áreas urbanas

Área urbana	Píxel	% área urbana considerada
Ávila	45	18,8
Jáén	45	37,6
Lleida	45	35,4
Teruel	45	32,7
Córdoba	46	41,2
Ourense	46	30,5
Toledo	46	48,2
A Coruña	47	60,0
Girona	47	44,2
Huesca	47	33,4
León	48	44,0
Badajoz	49	25,6
Tarragona	49	63,0
Albacete	50	34,7
Ciudad Real	50	40,7
Málaga	50	73,5
San Sebastián	51	53,8
Zamora	51	25,0
Cádiz	52	66,3
Palma	53	51,4
Salamanca	53	48,8
Segovia	53	41,2
Granada	54	52,6
Lugo	54	34,5
Santander	54	50,0
Soria	54	39,9
Cáceres	55	23,6
Pontevedra	55	43,0
Castellón de la Plana	56	57,1
Huelva	56	32,4
Logroño	57	44,8
Vitoria	57	42,2
Alicante	58	61,0
Burgos	58	48,0
Cuenca	58	28,6
Oviedo	58	54,6
Valladolid	58	42,8
Barcelona	59	65,5
Almería	60	28,2
Zaragoza	60	39,4
Bilbao	61	39,5
Guadalajara	61	59,9
Murcia	61	50,5
Palencia	61	45,7
Pamplona	61	47,0
Sevilla	61	49,4
Valencia	61	54,4
Madrid	62	59,6
media		53,71
mediana		54
moda		61

Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de la European Environment Agency.

en los dos casos anteriores en el ámbito de la región metropolitana de Barcelona¹⁴.

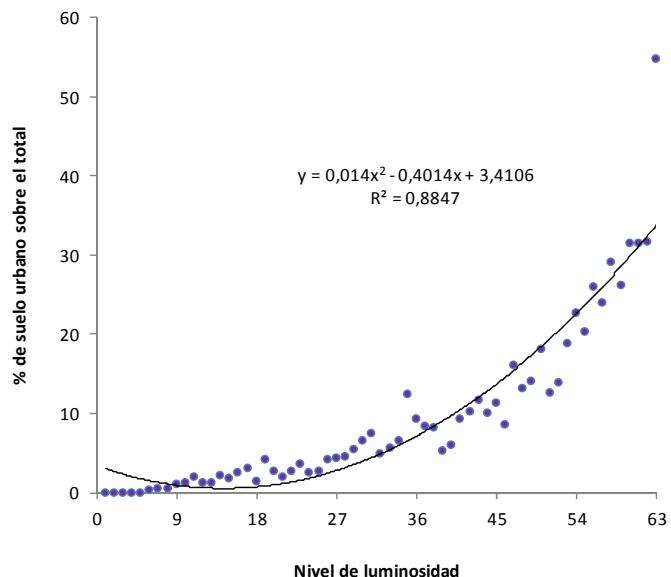
Para cada píxel o grupo de píxeles se ha calculado el nivel de ocupación urbana determinada en el Mapa de Cubiertas del suelo. Este oscila desde 0% en aquellos ámbitos sin cubiertas urbanas hasta 54,79% para el gran grupo de píxeles correspondiente al área central que cubre, entre otros, el municipio de Barcelona y su entorno más cercano (este nivel máximo de urbanización viene dado por el hecho de que aunque un ámbito pueda estar urbanizado al 100%, la gran luminosidad que emite se difunde hacia los ámbitos colindantes con un menor grado de urbanización pero que quedarán agrupados en el mismo píxel de máxima luminosidad).

La agregación de los píxeles y grupos de píxeles con la misma luminosidad permite observar la existencia de una clara relación positiva y exponencial entre el nivel de ocupación urbana del suelo y la luminosidad (Figura 2.5). La correlación confirma la premisa de que a un mayor nivel de urbanización corresponde una mayor luminosidad, pero no permite por sí sola establecer un límite, un umbral de “luminosidad urbana”. Por este motivo, los mismos valores representados en la Figura 2.5 en forma de gráfico de puntos han sido representados en la Figura 2.6 en un gráfico de barras.

El gráfico permite observar, en primer lugar, cómo los territorios correspondientes al nivel máximo de luminosidad (63) muestran no sólo un elevado nivel de urbanización (el citado 54,73%) sino también una notable diferencia respecto a los ámbitos con luminosidad inmediatamente inferior.

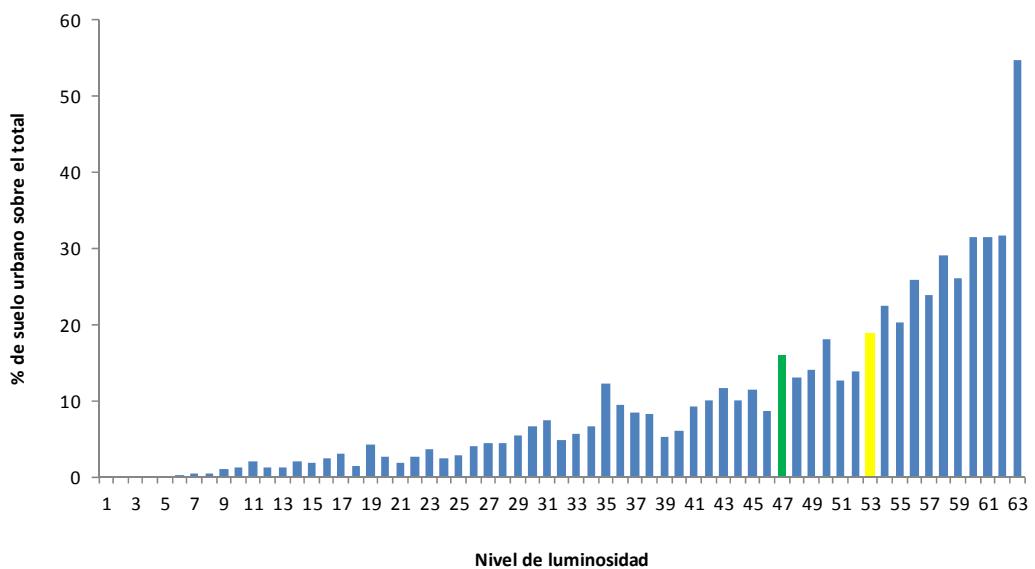
¹⁴ El equivalente del CREAF para el conjunto del territorio español sería el Mapa de Cubiertas del Suelo (SIOSE) que elabora el Instituto Geográfico Nacional. El diferente nivel de precisión (la escala de referencia del SIOSE es de 1:25:000, frente a 1:2.500 en el mapa del CREAF) y criterio de etiquetado de las cubiertas, han hecho preferible la utilización del mapa del CREAF.

Figura 2.5. Relación entre el nivel de luminosidad y la ocupación urbana del suelo de la región metropolitana de Barcelona 2010



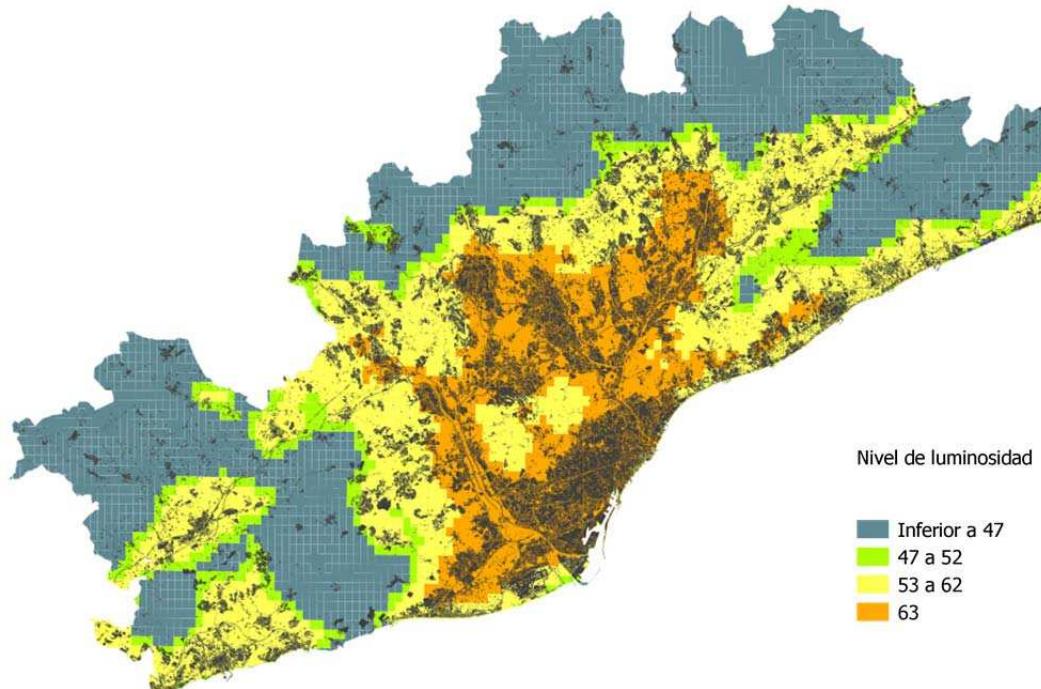
Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.6. Relación entre el nivel de luminosidad y la ocupación urbana del suelo de la región metropolitana de Barcelona 2010



Fuente: Elaboración propia.

Mapa 2.6. Nivel de luminosidad y cubiertas urbanas de la región metropolitana de Barcelona 2010



Fuente: Elaboración propia a partir de las bases cartográficas del CREA.

Cuando se procede a comparar los resultados, el mismo Mapa 2.6 permite comprobar como una gran parte de suelo con cubiertas urbanas queda fuera del nivel máximo de luminosidad (área anaranjada). Asimismo, un conocimiento empírico de la realidad de la región metropolitana de Barcelona basado en variables como la movilidad cotidiana apunta a la existencia de un ámbito con alta intensidad de relaciones funcionales sensiblemente superior al delimitado a partir del nivel de luminosidad 63. Por este motivo se hace necesario partir de un nivel de luminosidad inferior al máximo para delimitar el “umbral urbano”.

En este sentido, la misma Figura 2.6 también muestra cómo, a pesar de existir una tendencia claramente ascendente, la relación entre luminosidad y nivel de urbanización no es constante, de manera que algunos píxeles con

niveles de luminosidad menores que otros contienen una mayor proporción de suelo con cubiertas urbanas. La Figura sugiere asimismo que existen dos puntos susceptibles de ser considerados como “umbral”. El primero de ellos, más restrictivo, corresponde al nivel de luminosidad 53 y queda identificado en la Figura 2.6 en color amarillo. El punto, correspondiente a una proporción de suelo con cubiertas urbanas del 18,8% se halla en el límite inferior a partir del cual los valores de urbanización son siempre superiores. El segundo, de nivel de luminosidad 47, dibuja en el Mapa un ámbito más extenso y sombreado con color verde, e inicia una serie de puntos cuyos valores nunca bajan del 13%. Estableciendo el valor 47 como umbral el área delimitada comprendería el 92,26% del suelo con cubiertas urbanas de la región metropolitana de Barcelona; estableciendo el 53 comprendería el 87,36%. Aun así, si vamos

descendiendo el nivel de luminosidad a partir del valor 53 los incrementos de suelo con cubiertas urbanas por cada nuevo valor de píxel son siempre inferiores a los incrementos de suelo total. Es decir, considerar áreas con nivel de luminosidad inferior incorpora más suelo con cubiertas urbanas, pero en una proporción mucho menor con que incorpora el resto de suelo.

A partir de este análisis y de la consideración conjunta de las tres fuentes empleadas (Base Topográfica Nacional, Urban Morphological Zones y Mapa de Cobertes) se ha considerado el valor de luminosidad 53 como el que mejor refleja las áreas efectivamente urbanizadas. Este será, en consecuencia, el que se aplique de manera indicativa al conjunto de los territorios analizados para identificar los usos urbanos y estimar así, por agregación, la extensión de la urbanización.

2.7. Identificación de limitaciones e inconsistencias de la información de base para la investigación

Como se ha dicho, debido a la extensión del ámbito territorial que cubren, el elevado nivel de detalle territorial, la amplia gama de luminosidad y el largo período temporal que las caracteriza, las imágenes satelitales utilizadas son un recurso de gran valor para el análisis comparativo de las urbanas a nivel de todo el planeta. Su aplicación a la realidad urbana española, como se mostrará más adelante, permite obtener resultados muy interesantes para el análisis de su extensión, forma y evolución. Ahora bien, al mismo tiempo, cabe señalar algunos aspectos que pueden limitar su capacidad explicativa.

En primer lugar, las imágenes no mantienen una única referencia horaria ni diaria para cada año ni para cada ámbito geográfico. Es decir, se trata de una colección de imágenes correspondientes a un mismo año pero que pueden haber sido captadas en días y en horas diferentes para los distintos ámbitos fotografiados con los ajustes que se han detallado en el apartado 2.3. Esta característica resta una cierta capacidad de comparación tanto territorial

como temporal, ya que una determinada variación de luminosidad puede ser debida a diferencias horarias o estacionales, así como al tratamiento del que hayan sido objeto las imágenes. Tal limitación es comprensible al tratarse de una colección de imágenes que cubre todo el planeta, el cual difícilmente ofrecerá en su conjunto un cielo despejado de nubes simultáneamente a la misma hora del mismo día durante veinte años.

En segundo lugar, las imágenes reflejan en buena medida la luz emitida por el alumbrado de la vía pública. En este sentido, la creciente concienciación sobre la necesidad de reducir el consumo energético y los efectos negativos de la contaminación lumínica así como las medidas implantadas en muchos lugares tanto para fomentar el ahorro y la eficiencia energética como para combatir la emisión lumínica pueden haber provocado reducciones de luminosidad en algunas áreas. Estas reducciones, aunque ciertas, no se corresponderían con la premisa asumida en esta investigación de que una mayor luminosidad correspondería a una mayor intensidad de usos urbanos.

En tercer lugar, el nivel máximo de luminosidad (63) cubre extensas áreas urbanas en el interior de las cuales existen, obviamente, diferencias notables de intensidad de los usos urbanos y, por ende, de luminosidad. Por ello, como se ha indicado en alguna ocasión, las imágenes satelitales disponibles constituyen un instrumento adecuado para observar la luz *de* la ciudad más que la luz *en* la ciudad, especialmente por lo que a los espacios más densos de actividad y ocupación se refiere.

Finalmente, cabe apuntar que a lo largo de los 21 años de los que se pueden descargar imágenes satélite nocturnas se han puesto en órbita, tal como se ha mencionado ya, un total de 6 satélites, y para un período de 12 años han llegado a coexistir dos satélites de manera simultánea. Como se ha dicho, a efectos del presente análisis, en aquellos casos en los que la disponibilidad de las mismas permitía descargar más de una imagen para un mismo año, se ha utilizado la más reciente. El cambio de satélites, sin embargo, comporta una complicación añadida, ya que el hecho de que ninguno de los

satélites dispusiera de un sistema de calibración a bordo provoca diferencias en los valores de luminosidad ofrecidos.

Con el objetivo de valorar el grado de incidencia de estas limitaciones en la utilización de las imágenes a la hora de analizar la evolución de las áreas urbanas españolas, se han realizado dos ejercicios. En primer lugar, contrastar la metodología para un ámbito geográfico mucho más extenso. Así, la metodología utilizada ha sido aplicada a veinte áreas metropolitanas europeas, con los resultados que pueden leerse en la sección 5 del presente estudio. En segundo lugar, se ha procedido a realizar una comparación a gran escala sobre fotografía aérea de determinadas áreas seleccionadas. La comparación ha consistido en la superposición de los valores de luz proveniente de las imágenes de satélite a la fotografía aérea a través del servicio de visualización Inspire WMS del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) del Instituto Geográfico Nacional.

A partir de esta comparación se han podido detectar las siguientes casuísticas:

- En general, una desviación al norte y, en menor grado, al oeste, de las zonas con alta luminosidad respecto a la zona urbanizada sobre la que se encuentran. En el año 1992 la desviación aparece ligeramente superior a la de otros años.
- Las zonas costeras muestran valores inferiores a los que cabría esperar, ya que algunas mallas de 750 metros de lado ocupan tanto superficie terrestre como marítima que, al no emitir luz, reduce la luminosidad total.
- El sur de la península ibérica muestra elevados niveles de luminosidad en áreas no urbanizadas, seguramente a causa de la presencia de invernaderos, como en los casos de Lepe en Huelva, el Ejido en Almería.
- La existencia de determinados equipamientos, como centros penitenciarios, plantas de producción eléctrica de tecnología termosolar (Arcos de la Frontera, El Carpio,

en Córdoba o Aldeire, en Granada), o circuitos de automovilismo (Jerez de la Frontera) con elevada superficie y nivel de luminosidad, puede contribuir a distorsionar los resultados.

A pesar de estas limitaciones, la importancia del fenómeno analizado, la cobertura territorial de las imágenes, su recurrencia temporal, el carácter relativamente innovador de la metodología y las posibilidades de realizar comparaciones internacionales hacen que la utilización de imágenes satelitales para el análisis de la realidad urbana española resulte, como se evidenciará a continuación, particularmente interesante.

3. LOS USOS URBANOS DEL TERRITORIO EN ESPAÑA A PARTIR DE LA LUMINOSIDAD NOCTURNA

Los resultados obtenidos permiten estimar la evolución de los usos urbanos del territorio en España a partir de diversas perspectivas. Así, se expondrá en primer lugar cual ha sido el incremento de la luminosidad media de las áreas urbanas españolas entre 1992 y 2012. A continuación se entrará en el análisis de la superficie cubierta por la luminosidad y su distribución en las áreas consideradas. En tercer lugar, se expondrá la evolución de la expansión de la luminosidad en los veinte años estudiados..

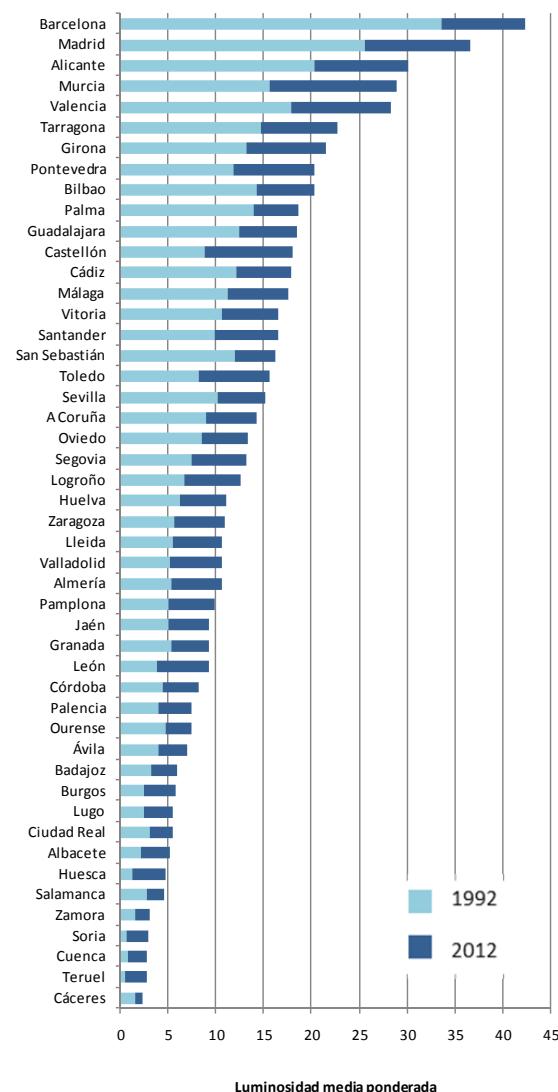
3.1. La luminosidad media de las áreas urbanas españolas

El cálculo de luminosidad de las diversas coronas de los 48 ámbitos territoriales analizados muestra resultados que confirman la relación entre nivel de luminosidad y urbanización. Asimismo, ayudan a comprender las características de las principales áreas urbanas españolas.

Para el conjunto del territorio comprendido en las 48 áreas urbanas estudiadas, la luminosidad media ponderada ha aumentado desde 6,99 en 1992 a 11,82 en 2012. Se trata de un incremento muy notable, del 69,05%. Ahora bien, resulta evidente que no todos los ámbitos urbanos analizados muestran los mismos valores de luminosidad. Como se puede observar en la Figura 3.1, la luminosidad media ponderada¹⁵ para las áreas de 50

¹⁵ Recordemos que el valor de la luminosidad media ponderada corresponde a la suma de los valores de luminosidad de cada píxel de 750x750 metros multiplicados por su superficie, y dividida por la superficie total del área de 50 kilómetros de radio, una vez recortados las áreas marítimas o que quedan fuera del ámbito.

Figura 3.1. Nivel de luminosidad media ponderada de las áreas de 50 kilómetros de los 48 ámbitos seleccionadas, 1992 y 2012



Fuente: Elaboración propia (todas las figuras tablas y mapas a partir de este capítulo son de elaboración propia, a no ser que se indique lo contrario).

kilómetros alrededor de las 48 capitales analizadas varía notablemente de una capital a otra. Barcelona (42,29), Madrid (36,57), Alicante (30,09) Murcia

(28,82) o Valencia (28,27), muestran valores que multiplican por más de diez, y en algunos casos casi por 20, los de Soria (2,90), Cuenca (2,79), Teruel (2,65) o Cáceres (2,24). Si a los primeros añadimos los ámbitos de Tarragona, Girona, Castellón Cádiz y Málaga, todos ellos entre los 14 primeros, se constata que el continuo urbanizado que se extiende casi sin solución de continuidad sobre el litoral peninsular, desde Girona hasta la costa atlántica de Andalucía constituye, junto con Madrid, las áreas de mayor luminosidad.

En segundo lugar, la Figura 3.1 muestra como entre 1992 y 2012 todos los ámbitos considerados han visto aumentar considerablemente su luminosidad media ponderada. Lo más destacable, sin embargo, es que únicamente los tres ámbitos de mayor luminosidad en 1992, Barcelona, Madrid y Alicante son, junto con Bilbao, Palma, Guadalajara, Cádiz y San Sebastián, los únicos donde este incremento es inferior al 50%. En el resto de ámbitos analizados, la luminosidad emitida ha aumentado más de un 50% en tan sólo veinte años, y en algunos casos los incrementos superan el 200%, el 300% e incluso el 400%.

En tercer lugar, se observa en prácticamente todos los casos una clara gradación de la luminosidad desde las coronas centrales a las partes más periféricas de las áreas urbanas (Mapas 3.1). Los centros urbanos emiten más luz que el territorio que los rodea, donde la densidad de urbanización es también menor. Únicamente algunos casos, como Vitoria, Segovia, Guadalajara o Girona, escapan a este patrón. Las tres primeras excepciones se explicarían por la proximidad entre capitales de provincia, que puede llegar a provocar un solapamiento de las coronas, en particular las más próximas al límite de los 50 kilómetros, de manera que se acaba asignando a una determinada capital usos urbanos que se hallan integrados mayoritariamente en el área urbana vecina. En el

caso de Girona, la explicación a la discontinuidad en la gradación de luminosidad debería buscarse más bien en la abundancia de localidades destacadas alejadas de la capital, especialmente en el litoral de la Costa Brava.

En el resto de casos se aprecia la citada disminución progresiva de la luminosidad a medida que nos alejamos de los respectivos centros, si bien con gradientes diversos. Así, por ejemplo, la disminución gradual de la luminosidad de Bilbao o Tarragona contrasta con el salto más brusco que presentan Sevilla o Zaragoza. Los gráficos de la Figura 3.2 muestran como, en efecto, los valores de las primeras coronas son elevados en todos los casos, desde el valor medio máximo (63) de Madrid, Valencia y Sevilla hasta el valor de Soria, que se reduce prácticamente a la mitad (31,23). Ahora bien, a medida que las coronas se alejan de este centro urbano, los valores de luminosidad se mantienen elevados solo en unas cuantas áreas, especialmente en las citadas Madrid y Valencia, a las que debe sumarse Barcelona, mientras que para gran parte del resto de áreas estos valores disminuyen con mayor rapidez. Los valores más bajos de la quinta corona se encuentran en Soria, Zamora, Cuenca, Salamanca, Teruel y, en particular, en Cáceres, donde la luminosidad media apenas llega a 3, muy por debajo del 30,17 de Madrid o el 35,70 de Barcelona. Es decir, la quinta corona con mayor luminosidad (Barcelona) tiene un valor veintiocho veces superior a la de menor luminosidad (Cáceres), mientras que en el caso de las primeras coronas la diferencia era, como hemos visto, de poco más del doble. Los resultados muestran, pues, cómo aquello que a efectos de luminosidad media distingue a unas áreas urbanas de otras no es tanto su centro (ni la intensidad de luz que emite) como su entorno, o sea, la extensión e intensidad de usos de su ámbito metropolitano.

Mapas 3.1. Nivel de luminosidad de las coronas de las 48 áreas seleccionadas

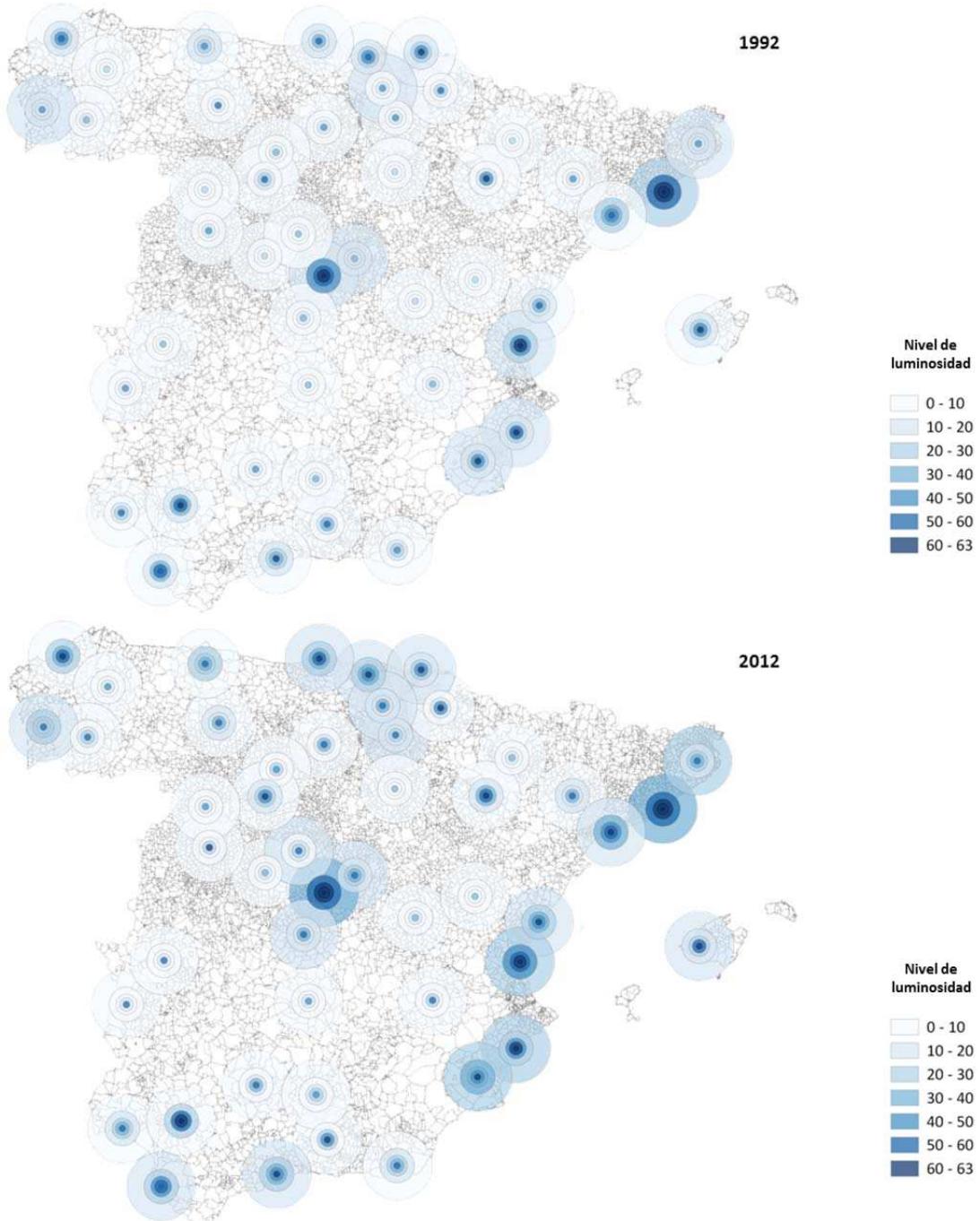
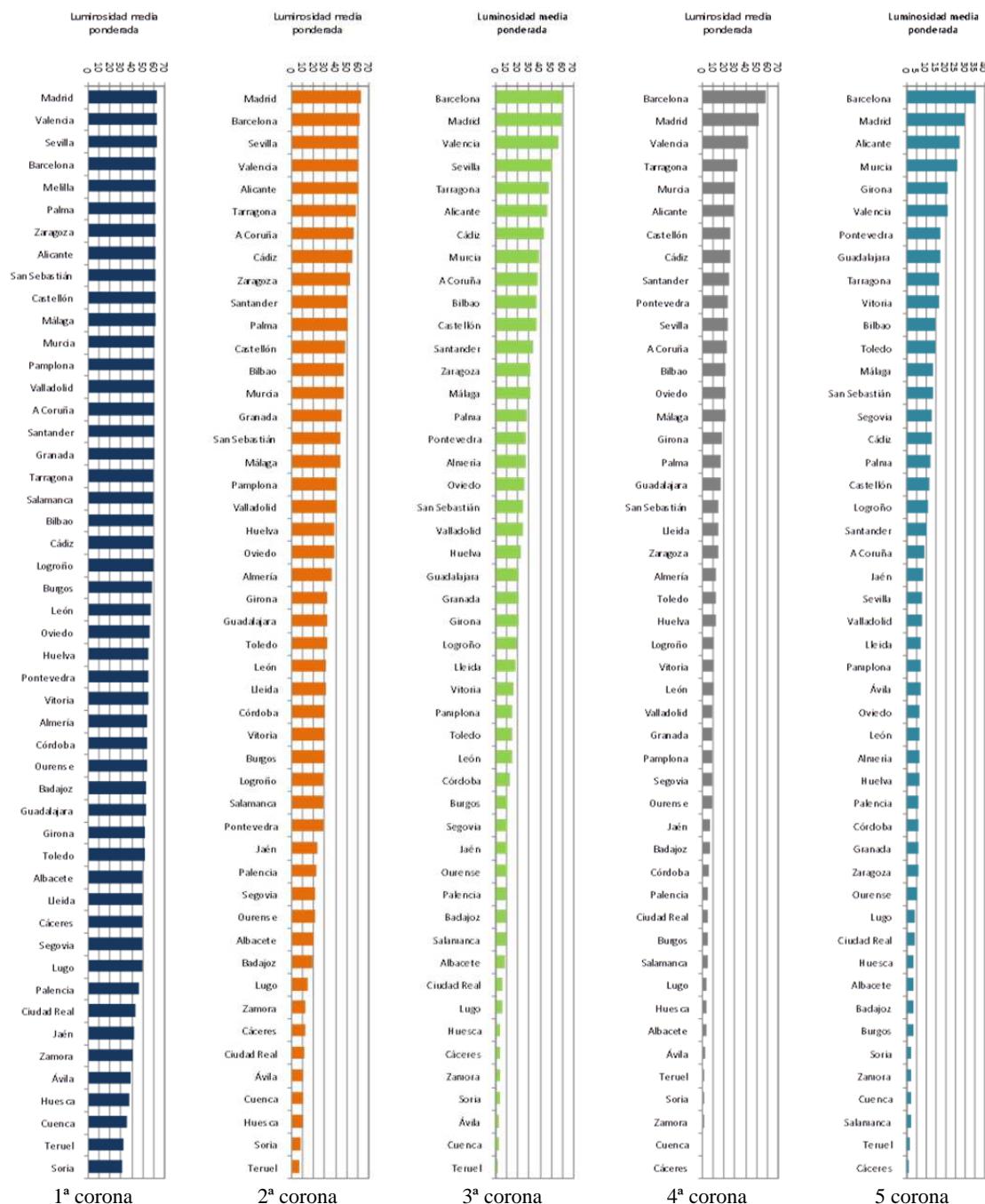


Figura 3.2. Nivel de luminosidad de las coronas de las 48 áreas seleccionadas, 2012



3.2. Superficie de la luminosidad

Descripción en el apartado anterior la evolución de la luminosidad media ponderada de las coronas de 50 kilómetros de radio, podemos realizar el análisis de los usos urbanos sobre el territorio a partir de la evolución de la luminosidad.

Para ello, como se ha dicho, se procederá en tres fases. Primeramente, se ofrecerán datos relativos a la extensión que el año 2012 alcanza aquello que hemos definido como nivel de luminosidad urbana para las 48 áreas urbanas consideradas, tanto para el conjunto de su ámbito como para cada una de las coronas que lo integran.

En segundo lugar, se procederá a estudiar la evolución espacial de la luminosidad urbana entre 1992 y 2012, estableciendo las diversas fases que ha conocido esta evolución. Asimismo, se procederá a comparar esta evolución con los datos disponibles sobre la superficie de suelo ocupado por cubiertas urbanas.

Finalmente, se tratará de establecer una tipología de las áreas estudiadas a partir de la morfología urbana evidenciada por la luminosidad. Dicha cuestión será abordada en el próximo capítulo.

3.2.1. Superficie de los ámbitos: más de 16.000 km² con niveles de luminosidad urbana

La superficialización del suelo con niveles de luminosidad urbana en un radio de 50 kilómetros alrededor de las capitales de provincia españolas es uno de los resultados más destacados que se derivan del presente estudio. En conjunto, el año 2012 presentaban este nivel de luminosidad un total de 16.098 km², correspondientes al 5,9% de la superficie de los 48 ámbitos estudiados.

Cabe recordar que la superficie de suelo ocupado por cubiertas urbanas en las 48 áreas estudiadas era, según la delimitación de las Urban Morphological Zones, de 6.767 km². El año 2012, pues, la superficie con niveles de luminosidad urbana excedía un 238% el suelo ocupado por dichas cubiertas. Ahora bien, el estudio revela asimismo

las sustanciales diferencias existentes por lo que a la extensión física de los usos urbanos del suelo se refiere¹⁶.

Así, como puede verse en el Mapa 3.2 y la Figura 3.3, las principales áreas metropolitanas españolas son las que muestran una mayor superficie de luminosidad urbana: Madrid (2.539 km²), Barcelona (1.779 km²) y Valencia (1.203 km²), a las que cabe sumar también Sevilla (688), Málaga (509) y Bilbao (505). A su lado, sin embargo, se encuentran los ámbitos de ciudades como Alicante, Murcia, Guadalajara o Girona, con extensiones de luminosidad notablemente superiores a las que correspondería por su volumen de población y su posición en el sistema urbano español.

Esta aparente inconsistencia puede obedecer a la existencia de patrones de urbanización diversos en cada área, los cuales, tal como se detallará más adelante, comporta la presencia de diferentes luminosidades y niveles de eficiencia en la iluminación.

Ahora bien, la falta de proporción entre el tamaño de población y la superficie iluminada responde asimismo a otras dos causas principales. En primer lugar al hecho que, como se ha dicho, no se cuantifican únicamente las superficies de las capitales provinciales, sino del territorio comprendido en un radio de 50 kilómetros a su alrededor. De esta manera, sistemas urbanos formados por diversas ciudades de tamaño mediano, como sería el caso de Alicante-Elche-Alcoy-Elda-Novelda-Ibi-Benidorm-Santa Pola-Caspe-Crevillent o Murcia-Cartagena-San Javier-Torrevieja y el conjunto de ciudades situadas en la vega del Segura, desde la misma Murcia y Orihuela hasta Guardamar del Segura, aportan una gran

¹⁶ Cabe recordar que, a partir de la metodología descrita en la sección anterior, las referencias a las áreas sujetas a usos urbanos equivalen al suelo con un nivel de luminosidad igual o superior a 53. “Áreas con usos urbanos del suelo” significa aquí, pues, áreas que cuentan con este umbral mínimo de luminosidad, corresponda o no con ocupación física real del suelo.

Mapa 3.2. Superficie de suelo con nivel de luminosidad urbana en un radio de 50 km de las capitales de provincia españolas, 2012. Km²

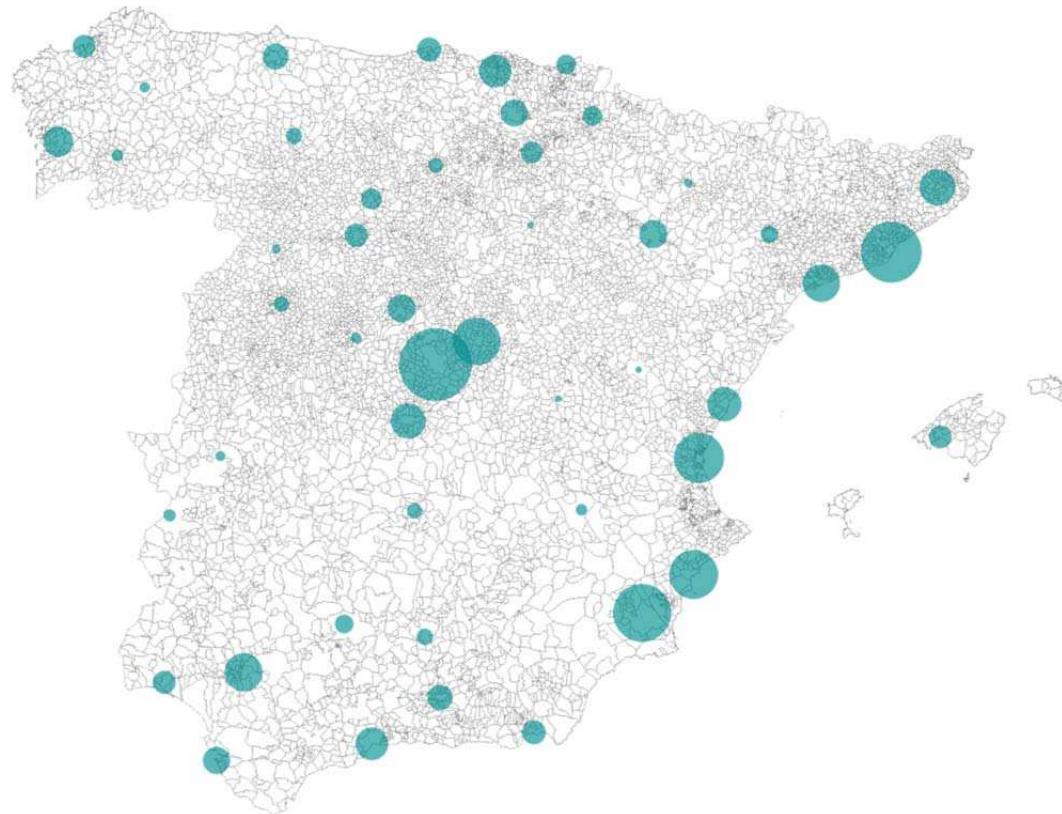
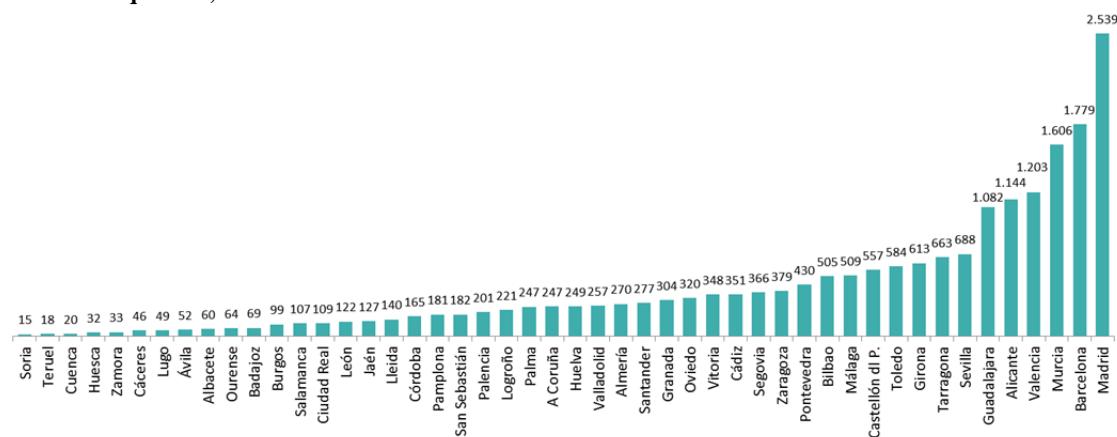


Figura 3.3. Superficie de suelo con nivel de luminosidad urbana en un radio de 50 km de las capitales de provincia españolas, 2012. Km²



superficie con niveles de luminosidad urbana al conjunto del ámbito considerado.

En segundo lugar, el ámbito de cincuenta kilómetros alrededor de cada capital de provincia no equivale necesariamente a su área urbana exclusiva (si es que hoy tiene sentido todavía este término), sino que en ocasiones muestran un cierto sobredimensionamiento.

Tal sobredimensionamiento viene dado por la proximidad entre capitales de provincia, que, como se ha indicado, puede llegar a provocar un solapamiento de las coronas, básicamente las comprendidas entre 25 y 50 kilómetros. Así, se puede asignar a una determinada área urbana luminosidad que corresponde en buena medida a las dinámicas y los usos del suelo de un área urbana vecina. El apartado siguiente, al analizar el nivel de urbanización para cada una de las coronas, muestra más casos de esta situación en la que el ejemplo más evidente es seguramente el de Guadalajara. Así, la corona situada entre 25 y 50 kilómetros de Guadalajara muestra un alto nivel de urbanización, atribuible no tanto a las dinámicas que tienen su principal relación con el área urbana de Guadalajara sino a diversos municipios de la provincia de Madrid que quedan incluidos en este ámbito, desde Alcalá de Henares o Torrejón de Ardoz al mismísimo centro de la capital del Estado.

3.2.2. Superficie por coronas: continuidades y discontinuidades

Aparte de la superficie total con nivel de luminosidad urbana, su distribución entre las diversas coronas concéntricas alrededor de las capitales provinciales es igualmente ilustrativa de las características de su urbanización.

Así, como muestra el Mapa 3.3, mientras en algunos ámbitos la luminosidad urbana colmata prácticamente la superficie de todas las coronas metropolitanas, en otras se observan ciertas discontinuidades. Barcelona sería el primer caso, ya que todas las coronas muestran el nivel máximo de

extensión de la luminosidad urbana¹⁷. Asimismo Madrid o Valencia muestran, como mínimo para las tres primeras coronas, una clara continuidad.

En muchos otros casos, sin embargo, se observa una clara discontinuidad en la luminosidad urbana del territorio, con sucesión de coronas que no llegan a ocuparse plenamente y sugieren, por lo tanto, la presencia de amplios espacios exentos de ocupación y luminosidad urbana. En ocasiones es la corona más exterior, situada entre 25 y 50 kilómetros de la capital provincial, la que muestra un notable y repentino incremento de luminosidad urbana. Como se ha apuntado en el apartado anterior, el hecho de que diversos ámbitos se solapen provoca que en ocasiones las dinámicas detectadas en las coronas más alejadas corresponda en realidad a un sistema urbano diferente. Aparte del caso ya mencionado de Guadalajara, también Toledo y Segovia ven alterado su comportamiento debido a la potencia de la metrópolis madrileña y sus principales satélites urbanos.

De igual manera, todas aquellas capitales próximas a otros núcleos urbanos de importancia muestran una problemática similar: Castellón de la Plana (que abarcaría hasta Sagunto) o Girona (no sólo afectada por las localidades costeras, sino también por importantes ciudades medianas del interior) serían ejemplos claros.

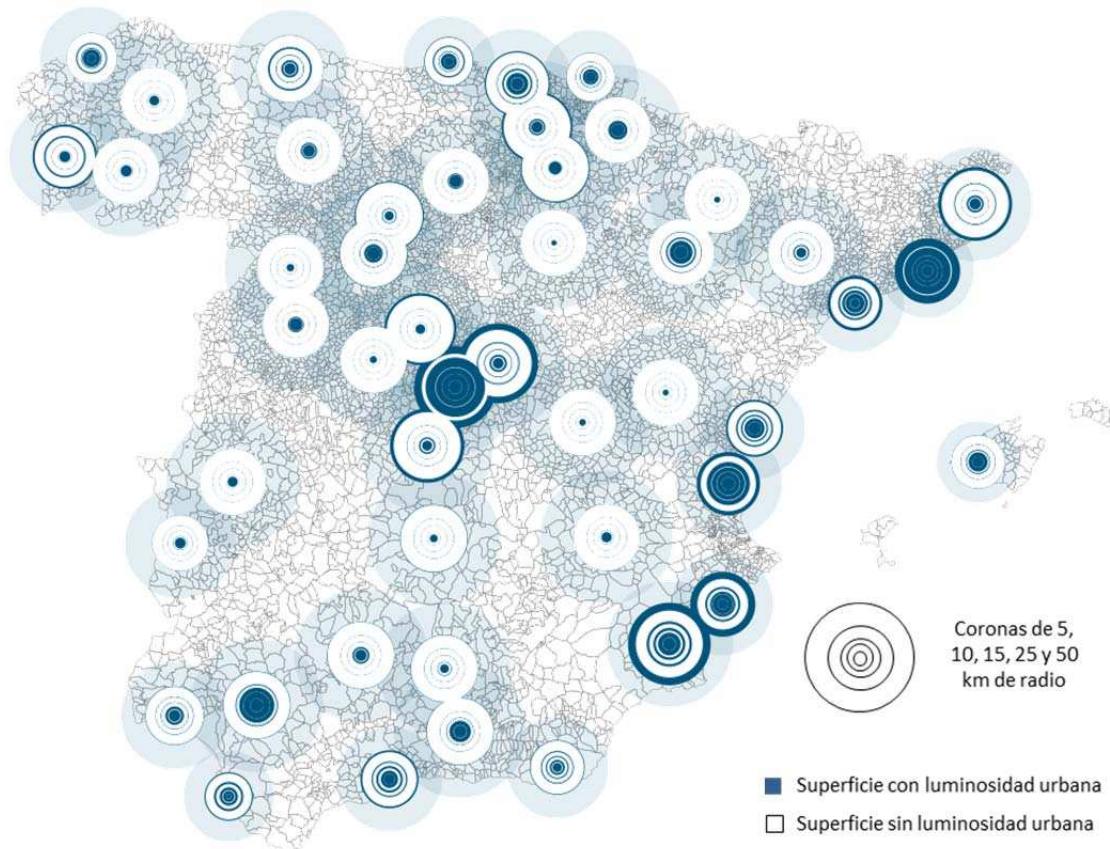
En algunos casos, y a pesar de la discontinuidad existente, puede considerarse el peso de la luminosidad de las coronas exteriores como indicador de la existencia de una cierta realidad metropolitana. Tal sería el caso de Tarragona (donde al litoral de la Costa Dorada se suman ciudades como Reus o Valls), Valencia o incluso Zaragoza.

¹⁷ Cabe tener en cuenta que no todos los ámbitos tienen superficies iguales. El hecho de que algunas capitales se encuentren próximas al litoral ha obligado, como se ha explicado, a recortar la superficie marítima comprendida en el radio de 50 kilómetros, con lo cual la superficie total es menor a la de los ámbitos de interior.

En otras ocasiones las discontinuidades entre las diversas coronas obedecen igualmente a una realidad metropolitana que, sin embargo, se estructura de manera lineal (generalmente siguiendo el litoral), dejando grandes extensiones de suelo sin luminosidad urbana en las coronas

intermedias, pero presentando una cierta continuidad de los diversos núcleos. Tal sería, por ejemplo, el caso de Málaga, desde Nerja hasta Marbella.

Mapa 3.3. Superficie de suelo con niveles de luminosidad urbana en un radio de 50 km de las capitales de provincia españolas por coronas, 2012. Km²



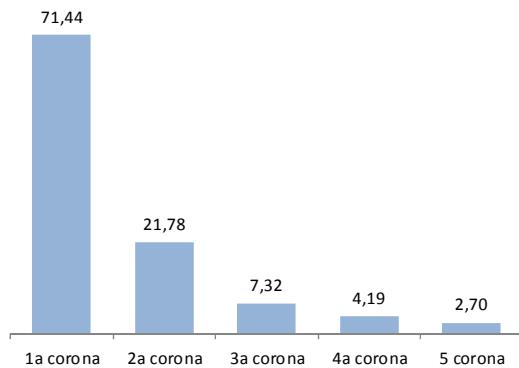
Más complejos resultan los casos de Alicante (que se vería afectada por el rico sistema urbano que forman ciudades como Altea, Benidorm, Ibi, Elda o Elche), Murcia (con la misma Elche y con otros núcleos urbanos como Orihuela, Torrevieja o Cartagena en un radio de 50 kilómetros) o incluso

Cádiz (desde Sanlúcar de Barrameda a Barbate pasando por Jerez de la Frontera). En estos casos resulta más difícil distinguir si el área alrededor de la capital de provincia se trata de un área metropolitana polarizada por esta o sencillamente de un sistema urbano policéntrico.

En otras ocasiones el mismo efecto se produce en la cuarta corona, como sería el caso de Oviedo, afectada por la proximidad de Gijón. Y en casos aún más complejos, como el citado de Cádiz o también el de Pontevedra, se produce tanto en la cuarta (que abarca ciudades como Vigo) como en la quinta (Santiago).

Más allá de esta limitación para la interpretación de las especificidades propias de la extensión de la luminosidad urbana en cada uno de los ámbitos estudiados, la superficialización realizada continua siendo perfectamente válida para la cuantificación de la presencia de los usos urbanos por coronas alrededor de las principales capitales de provincia, tal como muestra la Figura 3.4.

Figura 3.4. Superficie bruta de suelo con luminosidad urbana en un radio de 50 km de las capitales de provincia españolas por coronas, 2012. %



3.3. La extensión de la luminosidad urbana entre 1992 y 2012

Definida la cuestión de la superficie con niveles de luminosidad urbana alrededor de las capitales de provincia en el año 2012 conviene analizar cuál ha sido su evolución en el período 1992-2012. De hacerlo, debe tenerse en cuenta que estas dos décadas se corresponden en parte, tal como más arriba se ha indicado, a uno de los períodos de más rápido y decisivo crecimiento urbano en España.

3.3.1. Superficie: una extensión que se dobla en 20 años

La disponibilidad de la serie de imágenes satelitales desde 1992 permite realizar una aproximación a la evolución de la luminosidad urbana a lo largo de estos últimos años. En este sentido, los resultados obtenidos muestran como para el conjunto de las áreas analizadas la superficie de suelo con luminosidad urbana (valor de luminosidad 53 o superior) se ha multiplicado por 2,3 entre 1992 y 2012, pasando de 6.907 a 16.098 kilómetros cuadrados¹⁸.

Todas las áreas ven aumentar la superficie de suelo con dicho nivel de luminosidad en las dos décadas estudiadas (Tabla 3.1, Mapa 3.5 y Figuras 3.5 y 3.6). Ahora bien, lo hacen en proporciones muy diversas, que van desde el crecimiento de apenas el 52% de Barcelona a multiplicarse por tres, por cuatro o incluso por valores superiores.

En términos absolutos el mayor incremento de superficie de la luminosidad urbana se da en Madrid, que entre 1992 y 2012 aumenta en 1.259 km², una extensión equivalente a las islas de Menorca e Ibiza juntas. Muy notables son también los incrementos absolutos en las áreas urbanas del litoral mediterráneo: la suma de la expansión lumínica de Murcia, Alicante, Valencia, Castellón, Tarragona, Barcelona y Girona supone 4.093 km² nuevos de luminosidad urbana en 20 años (una superficie superior a la de Mallorca, para seguir con el parangón insular).

En el otro extremo, los menores incrementos absolutos en términos de superficie se hallan en

¹⁸ Esta superficie corresponde al suelo con nivel de luminosidad urbana de los 48 ámbitos considerados. Se trata, además, de los ámbitos consolidados, de manera que en aquellos casos en que existe un solapamiento, la superficie de suelo urbano se contabiliza solamente una vez. Por este motivo, los 16.098 km² del año 2012 son notablemente inferiores a los 19.632 km² que resultarían de sumar individualmente el suelo con luminosidad urbana de cada uno de los 48 ámbitos.

Tabla 3.1. Incremento de las áreas con luminosidad urbana en un radio de 50 km de las capitales de provincia españolas, 1992 y 2012. Km²

Ámbito	1992	2012	Incremento
A Coruña	87,3	159,8	247,1
Albacete	28,7	31,3	60,0
Alicante	400,3	744,1	1144,4
Almería	58,5	211,2	269,6
Ávila	5,2	47,2	52,4
Badajoz	30,3	39,2	69,5
Barcelona	1169,8	609,4	1779,2
Bilbao	256,2	248,3	504,5
Burgos	54,6	44,5	99,1
Cáceres	21,9	24,6	46,5
Cádiz	171,8	179,3	351,1
Castellón de la Plana	118,6	438,2	556,8
Ciudad Real	37,5	71,2	108,7
Córdoba	54,2	110,9	165,1
Cuenca	7,9	12,5	20,4
Girona	116,5	496,2	612,7
Granada	121,7	182,1	303,9
Guadalajara	541,1	540,4	1081,6
Huelva	67,2	181,3	248,5
Huesca	7,7	23,9	31,6
Jaén	30,5	96,3	126,8
León	47,5	74,8	122,3
Lleida	33,1	106,9	140,0
Logroño	92,6	128,5	221,1
Lugo	7,6	41,0	48,5
Madrid	1279,2	1259,5	2538,7
Málaga	264,7	244,5	509,2
Murcia	433,4	1173,1	1606,4
Ourense	10,8	53,6	64,4
Oviedo	163,0	156,9	319,9
Palencia	111,6	89,6	201,2
Palma	155,5	91,4	246,9
Pamplona	78,2	102,9	181,1
Pontevedra	52,5	377,9	430,4
Salamanca	33,1	73,4	106,5
San Sebastián	116,6	65,3	181,9
Santander	98,1	178,8	276,9
Segovia	96,8	269,5	366,3
Sevilla	336,9	351,6	688,4
Soria	7,7	7,7	15,4
Tarragona	299,2	364,1	663,3
Teruel	7,2	11,1	18,3
Toledo	86,0	498,2	584,2
Valencia	493,6	709,5	1203,1
Valladolid	112,2	144,8	257,1
Vitoria	155,1	193,1	348,2
Zamora	8,4	25,1	33,5
Zaragoza	161,2	217,8	379,0

capitales castellanas, aragonesas y extremeñas. Diez de las catorce capitales castellano-leonesas o castellano-manchegas presentan incrementos inferiores a los 100 km², al igual que Huesca, Teruel y las dos capitales extremeñas. Las excepciones son Valladolid y tres áreas urbanas más directamente influidas por las dinámicas metropolitanas madrileñas: Guadalajara, Toledo y Segovia.

Desde el punto de vista de los crecimientos relativos destacan los de las capitales gallegas. Aunque, por razones obvias, presentan crecimientos relativos más moderados, también son notables los de las mayores áreas metropolitanas. Todas ellas, a excepción de Barcelona, superan incrementos del 90% que, en el caso de Valencia, aumentan hasta el 144%.

3.3.2. Luminosidad y suelo artificializado: la luz se expande 3,4 veces más rápido que la urbanización física

Los resultados obtenidos a partir de la interpretación de la luminosidad son, pues, coherentes con la evolución conocida del proceso de urbanización español, que ha vivido un fuerte crecimiento y expansión en los últimos años. Ahora bien, las magnitudes obtenidas en la interpretación realizada son en algunos casos muy superiores a las que, según otras fuentes, se han producido. Un contraste con datos provenientes de fuentes directas de identificación de las cubiertas del suelo como CORINE o SIOSE muestran como entre 1987 y 2006 (período incluso de mayor dinamismo urbanístico que el estudiado, ya que incluye los años de bonanza económica a partir de 1986 y obvia el estancamiento que se produce a partir de 2008) las superficies artificializadas en España se habrían incrementado en un 51,8% (AGUADO 2013), una cifra ciertamente elevada pero muy inferior a la obtenida a partir de los valores de luminosidad. Bien es verdad, que el método seguido, al evaluar el crecimiento alrededor de las capitales de provincia privilegia los territorios más

Mapa 3.5. Incremento de las áreas con luminosidad urbana en un radio de 50 km de las capitales de provincia españolas, 1992 y 2012. Km²

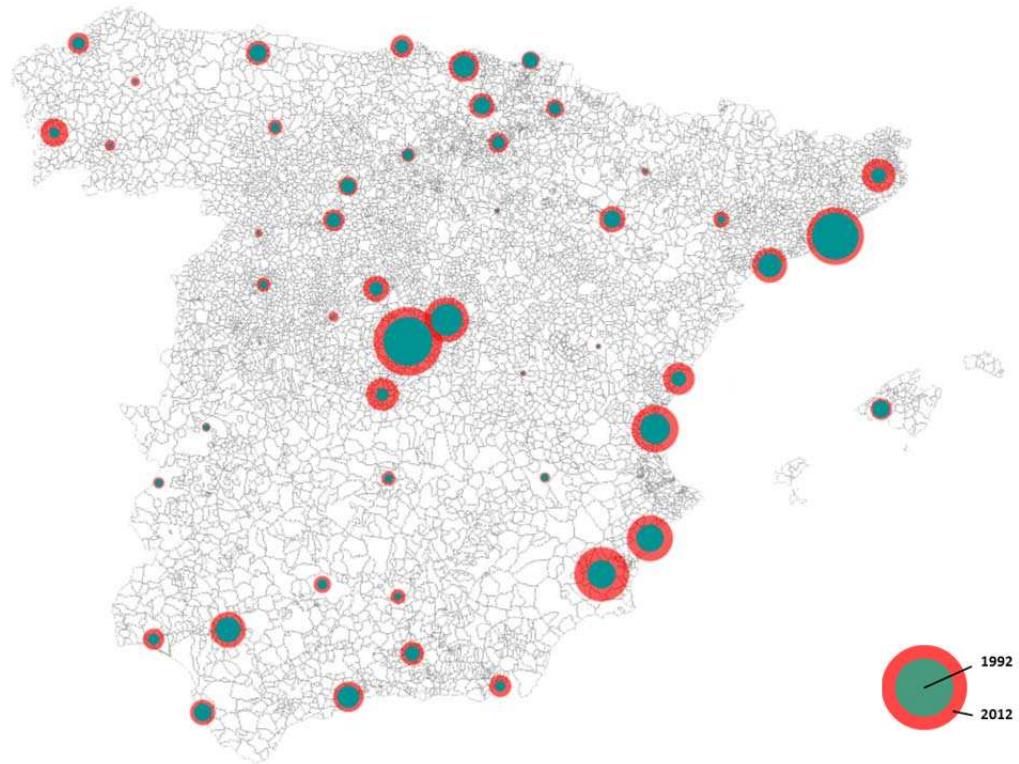
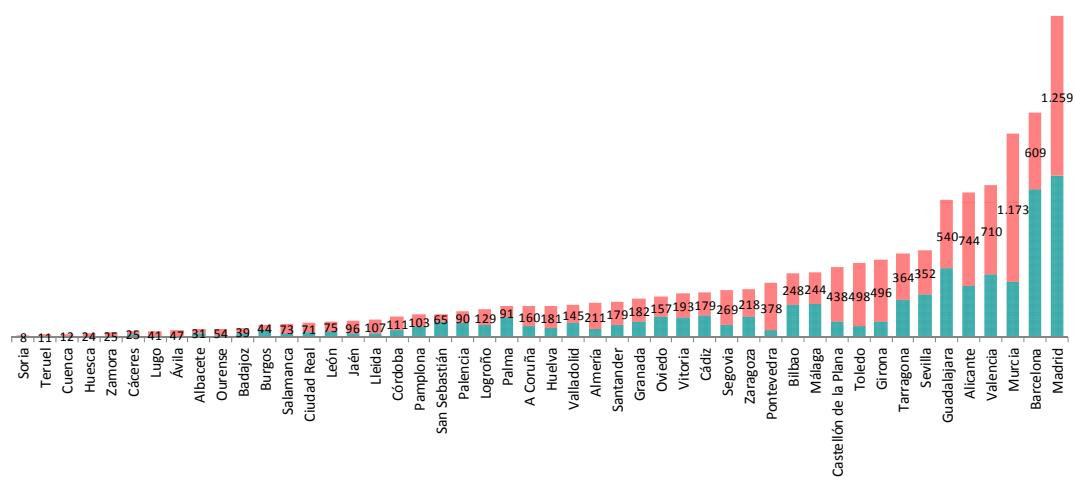
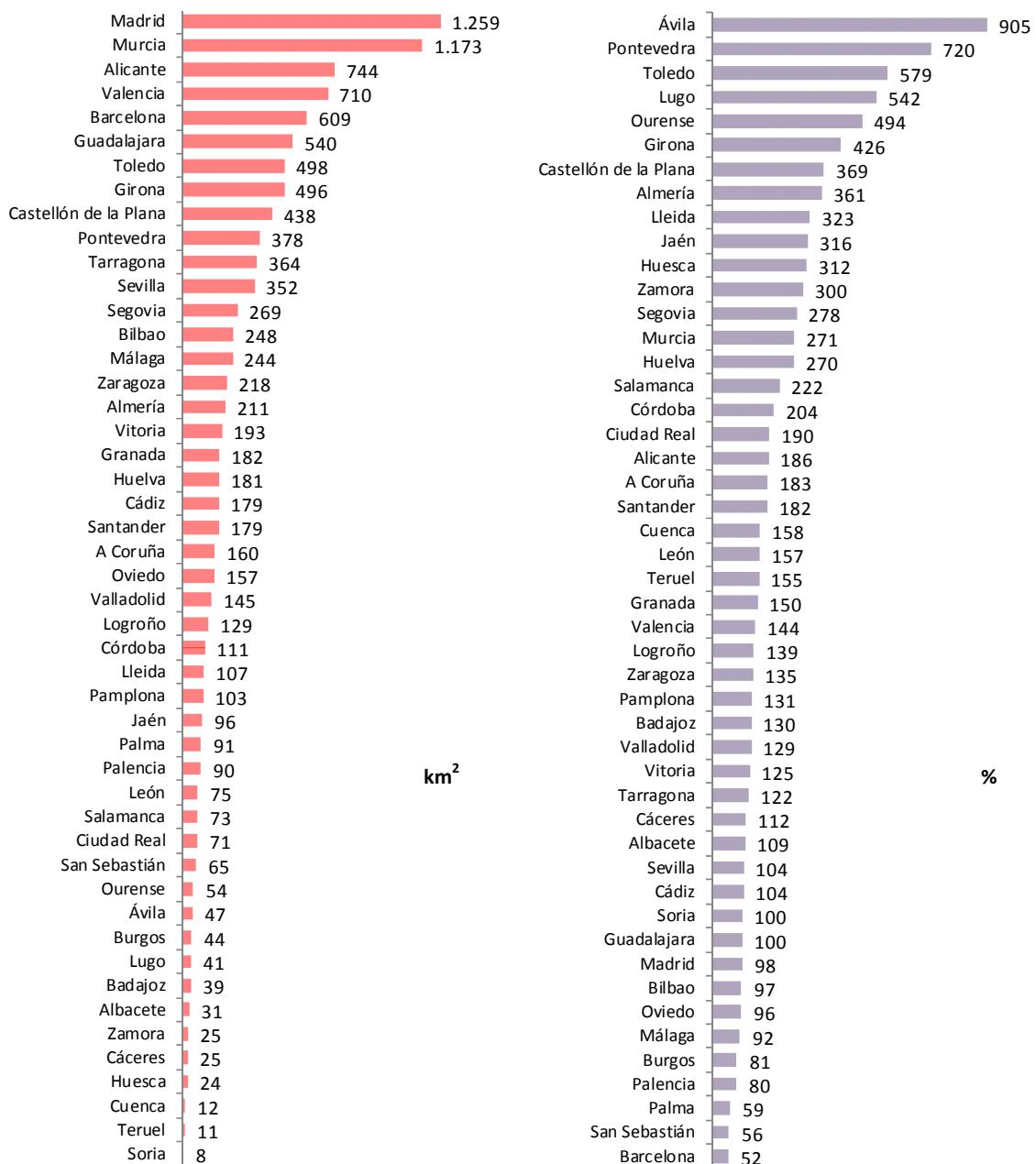


Figura 3.5. Incremento de las áreas con luminosidad urbana en un radio de 50 km de las capitales de provincia españolas, 1992 y 2012. Km²



Figuras 3.6. Incremento de las áreas con luminosidad urbana entre 1992 y 2012



dinámicos desde el punto de vista urbano, lo cual puede explicar en parte la diferencia con aquellas fuentes que tienen en cuenta la totalidad del territorio.

La comparación entre la evolución de las Urban Morphological Zones estrictas y las áreas de

luminosidad urbana permite una comparación más ajustada. Así, tal como puede verse en la Figura 3.7, existe una correspondencia entre los crecimientos de la superficie urbanizada y la extensión de la luminosidad urbana. En términos de correlación, el ajuste entre ambas variables es

Figura 3.7. Crecimiento de las Urban Morphological Zones y de las áreas de luminosidad urbana (1992-2012)

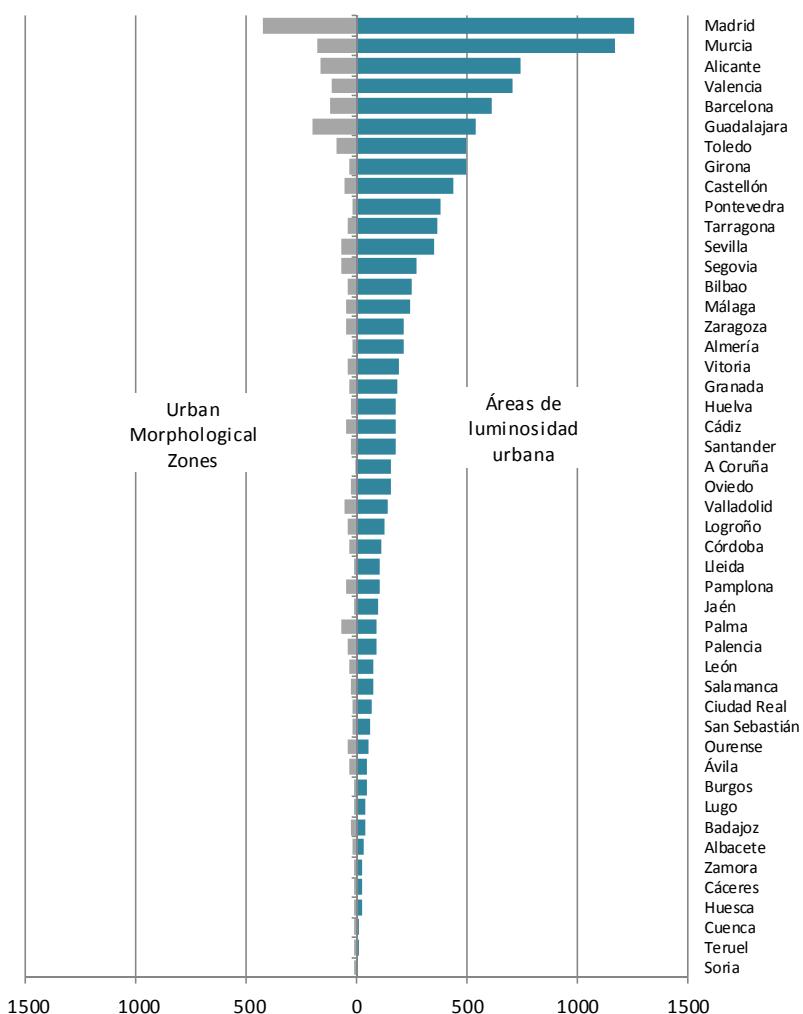
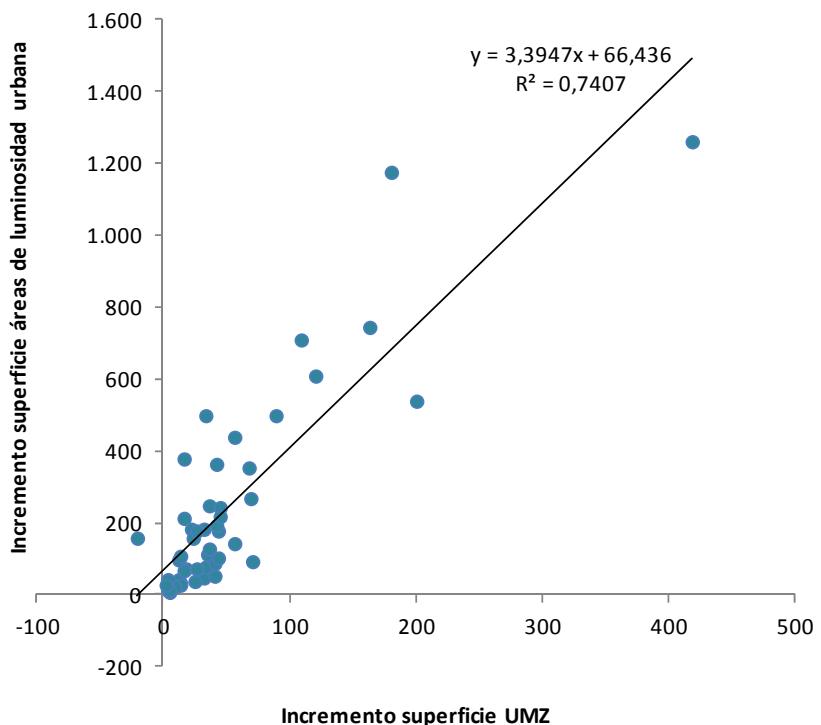


Figura 3.8. Correlación entre el crecimiento de las Urban Morphological Zones y de las áreas de luminosidad urbana (1992-2012)



bastante significativo, con una $r^2 = 0,74$ (Figura 3.8)¹⁹. De la comparación entre ambas variables se deduce asimismo que para el conjunto de las 48 áreas urbanas analizadas, la superficie de las UMZ se incrementó un 39,9% entre 1990 y 2006, mientras que el área de luminosidad urbana aumentó en su conjunto un 133% a lo largo del período analizado (1992-2012). De esta forma, puede afirmarse que en el conjunto de los ámbitos estudiados la extensión de las áreas de luminosidad

urbana tiende a crecer a un ritmo más de tres veces superior a la artificialización del suelo.

Sin embargo, la relación entre ambas variables dista de ser perfecta y unívoca: como ya se ha dicho, la extensión de la luminosidad urbana supera con mucho la del suelo urbanizado y existen notables diferencias entre los diversos territorios. Las desviaciones observadas pueden ser debidas a las limitaciones ya citadas, tanto técnicas (falta de calibración de los satélites) como del método de recogida de las imágenes (falta de equivalencia horaria, diaria, semanal y estacional). Pero pueden ser explicadas también por la forma del crecimiento urbano, puesto que, como se ha descrito al principio, a lo largo de los últimos años han proliferado las pautas de ocupación del suelo basadas en la dispersión y la baja densidad. Así,

¹⁹ Resulta interesante constatar que el ajuste de la correlación disminuye cuando el universo incorpora realidades urbanas procedentes de contextos muy diversos. Véase la sección 4 relativa a veinte de las mayores áreas urbanas europeas.

debido a la dispersión de la luz, las nuevas áreas ocupadas tienden a multiplicar la superficie cubierta por un alto nivel de luminosidad, ya que los halos de luz de varios núcleos contiguos se superponen en la mayor parte de sus áreas, mientras que los de núcleos dispersos se complementan y multiplican así la superficie cubierta²⁰.

En este sentido, la luminosidad urbana podría ser un indicador no del todo exacto del número de hectáreas urbanizadas pero mucho más ajustado a la extensión de los ámbitos territoriales que el proceso de urbanización actual dota de características urbanas intensas. Estos espacios, compuestos por áreas transformadas pero también de numerosos y variados espacios intersticiales, son difícilmente cuantificables a partir del análisis de las cubiertas de suelo y, menos aún, del régimen o el uso urbanístico, pero constituyen, sin duda, entornos urbanos y metropolitanos. De esta manera, su superficialización a partir de las imágenes nocturnas reflejaría una aproximación diversa al estudio de la realidad urbana. Una aproximación que permite analizar al mismo tiempo la ocupación del suelo, la intensidad de los usos urbanos y la morfología de los asentamientos, y que resulta por ello particularmente interesante y útil para la comprensión de las transformaciones urbanas.

3.3.3. Fases del proceso: del crecimiento exacerbado (1997-2007) a la desaceleración

Hasta el momento los resultados descritos corresponden bien al nivel actual (2012) de urbanización de los ámbitos considerados o bien a las diferencias existentes entre 1992 y 2012. La posibilidad de disponer de una serie de imágenes de periodicidad anual permite observar además las

²⁰ Autores como Alexander C. Townsend y David A. Bruce han puesto especial atención en el diseño de una metodología que permita reducir los efectos de esta dispersión a la hora de identificar las áreas urbanas (TOWNSEND y BRUCE, 2009). Para un tratamiento más detallado de la cuestión, véase el apartado 4.1.

diversas fases del proceso de urbanización a lo largo de estos veinte años. Si bien un análisis año a año resultaría seguramente excesivo por la cadencia temporal con la que se producen las dinámicas urbanizadoras, la comparación de períodos quinquenales ofrece interesantes resultados.

Así, el incremento bruto (sumando individualmente los 48 ámbitos seleccionados y doblando, por tanto, los solapamientos) de 11.502 kilómetros cuadrados de suelo con niveles de luminosidad urbana observado entre 1992 y 2012 tiene su momento de máximo crecimiento entre 1997 y 2002, con casi la mitad del crecimiento total experimentado: 5.622 km². Esta ocupación de nuevo suelo casi quintuplica la producida en el quinquenio anterior (1.229 km²). Entre 2002 y 2007 el incremento, aunque menor, es igualmente elevado, con 3.335 km², y dejará paso con el inicio de la crisis económica en 2008 a un crecimiento ya mucho más reducido entre 2007 y 2012: 1.316 km².

Es decir, las intensidades de mayor crecimiento de la luminosidad coinciden plenamente con los ciclos expansivos y depresivos de la economía en general y del sector de la construcción en particular. Todos los ámbitos analizados responden, con mayor o menor fidelidad, a este patrón general, y únicamente algunas áreas del norte peninsular (Vitoria, San Sebastián, Santander), muestran un menor crecimiento en el período 1997-2007 respecto al de los quinquenios anterior y posterior.

La Figura 3.9 y el Mapa 3.6 permiten observar cómo las diversas extensiones de la luminosidad, que siguen en cada caso los patrones morfológicos que serán descritos en el siguiente capítulo, indican que los usos urbanos del suelo se amplían especialmente a partir del segundo y el tercer quinquenios analizados (tonos naranja intenso y rojo). Esta década configura un sistema urbano caracterizado no únicamente por el crecimiento de los núcleos existentes sino también, por el surgimiento de otros, ciertamente configurados con anterioridad, pero que no mostraban el nivel de luminosidad suficiente como para superar el umbral establecido como urbano. En buena parte de las áreas urbanas, dicho umbral pasa a ser superado

Mapa 3.6. Evolución de las áreas de luminosidad urbana en un radio de 50 km de las capitales de provincia españolas. 1992, 1997, 2002, 2007 y 2012

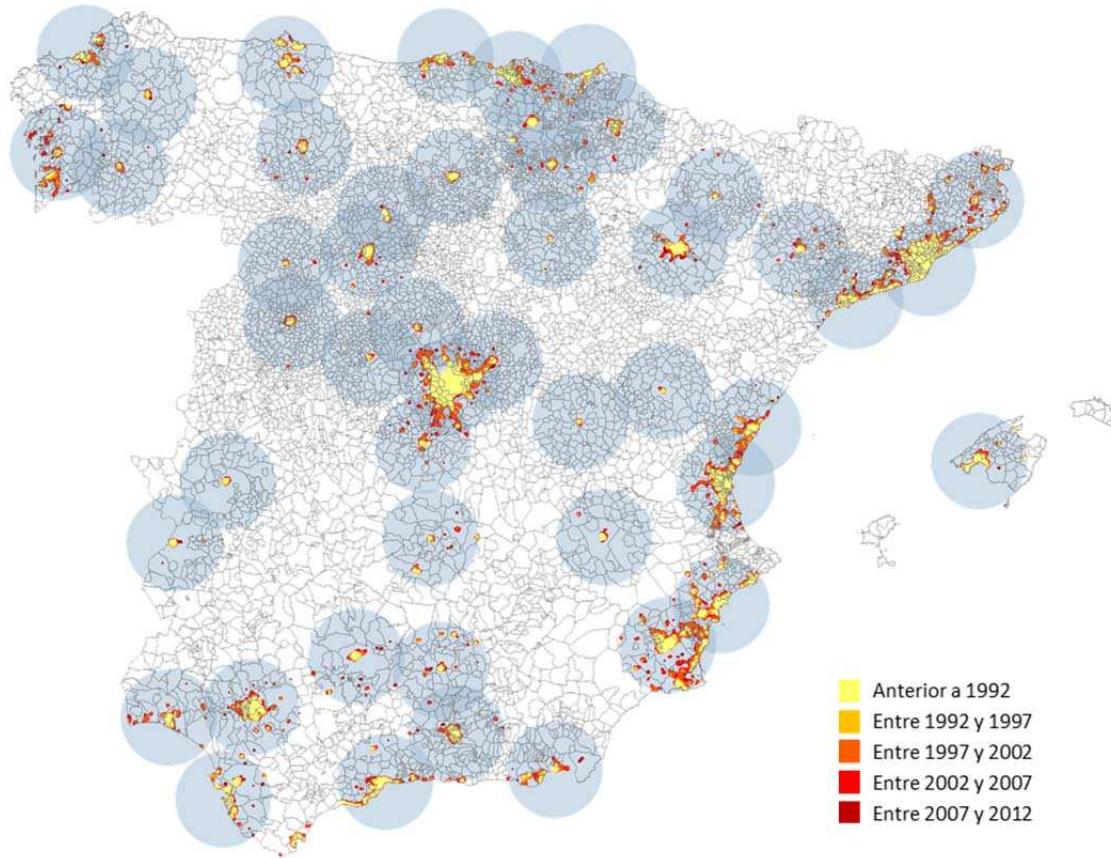
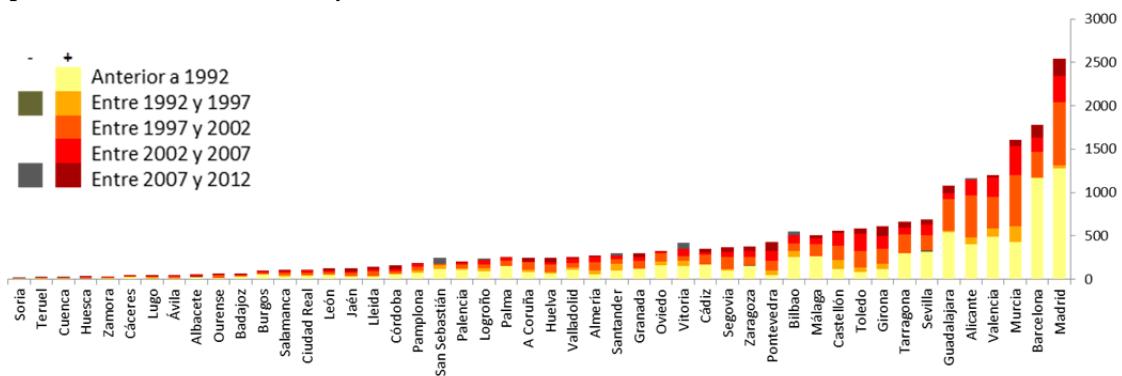


Figura 3.9. Evolución de las áreas de luminosidad urbana en un radio de 50 km de las capitales de provincia españolas. 1992, 1997, 2002, 2007 y 2012



con el cambio de siglo gracias tanto al incremento de la intensidad lumínica como del área urbanizada y de las relaciones de movilidad que se producen entre los diversos núcleos urbanos y las infraestructuras de transporte que las conectan.

Es precisamente este incremento de nuevos núcleos, de relaciones y de infraestructuras de conexión el que acaba configurando el patrón de continuidad urbana en extensas áreas, no sólo

alrededor de las grandes capitales sino, de manera muy especial, a lo largo del litoral mediterráneo, donde se forman continuos de gran extensión y longitud (en Cataluña, Valencia, Alicante-Murcia y Málaga). Este mismo patrón comienza a distinguirse ya en algunas zonas del norte y el sur peninsular como son los valles del Nervión y del Guadalquivir respectivamente.

4. EL DESARROLLO DE URBANO DE LAS ÁREAS URBANAS ESPAÑOLAS ENTRE 1992 Y 2012: UNA TIPOLOGÍA

Como se ha indicado, el área con niveles de luminosidad urbana alrededor de las capitales de provincia españolas ha experimentado un notable incremento entre 1992 y 2012. Tanto las áreas de máxima luminosidad (valor 63) como aquellas con un valor de luminosidad elevado (igual o superior a 53) se han extendido alrededor de todas las capitales de provincia españolas, en algunas ocasiones multiplicando varias veces su superficie inicial.

Considerando una equivalencia entre el nivel de luminosidad y los usos urbanos del territorio, puede afirmarse que todas las áreas urbanas estudiadas han visto incrementar su extensión e intensidad de los usos urbanos. Puede afirmarse pues que, en sentido estricto, han visto urbanizarse gran parte del territorio comprendido en un radio de 50 kilómetros, responda esta urbanización a una extensión de la capital o al ascenso de otros asentamientos, a la artificialización del suelo o a la extensión de los usos urbanos. Ahora bien, resulta importante destacar que no todos los ámbitos han experimentado procesos idénticos de expansión de esta urbanización. Así, tal como puede verse en el Mapa 4.1, más allá de una mayor o menor contención, en ocasiones la expansión se ha producido claramente en contigüidad y alrededor de los núcleos urbanos existentes, mientras que en otros ha adoptado una forma tentacular, siguiendo los principales condicionantes orográficos y/o las vías de comunicación, y en otros se ha producido una clara dispersión con el surgimiento de pequeños núcleos aislados.

El análisis de las formas que ha adoptado este proceso de urbanización en España resulta especialmente interesante. Así, pueden identificarse

al menos seis pautas diferentes en el proceso de urbanización reciente. Gráficamente, estas pautas podrían corresponder a las nociones de desarrollo “tentacular”, “compacto”, por “expansión”, “lineal”, en forma de “archipiélago” y de “isla”.

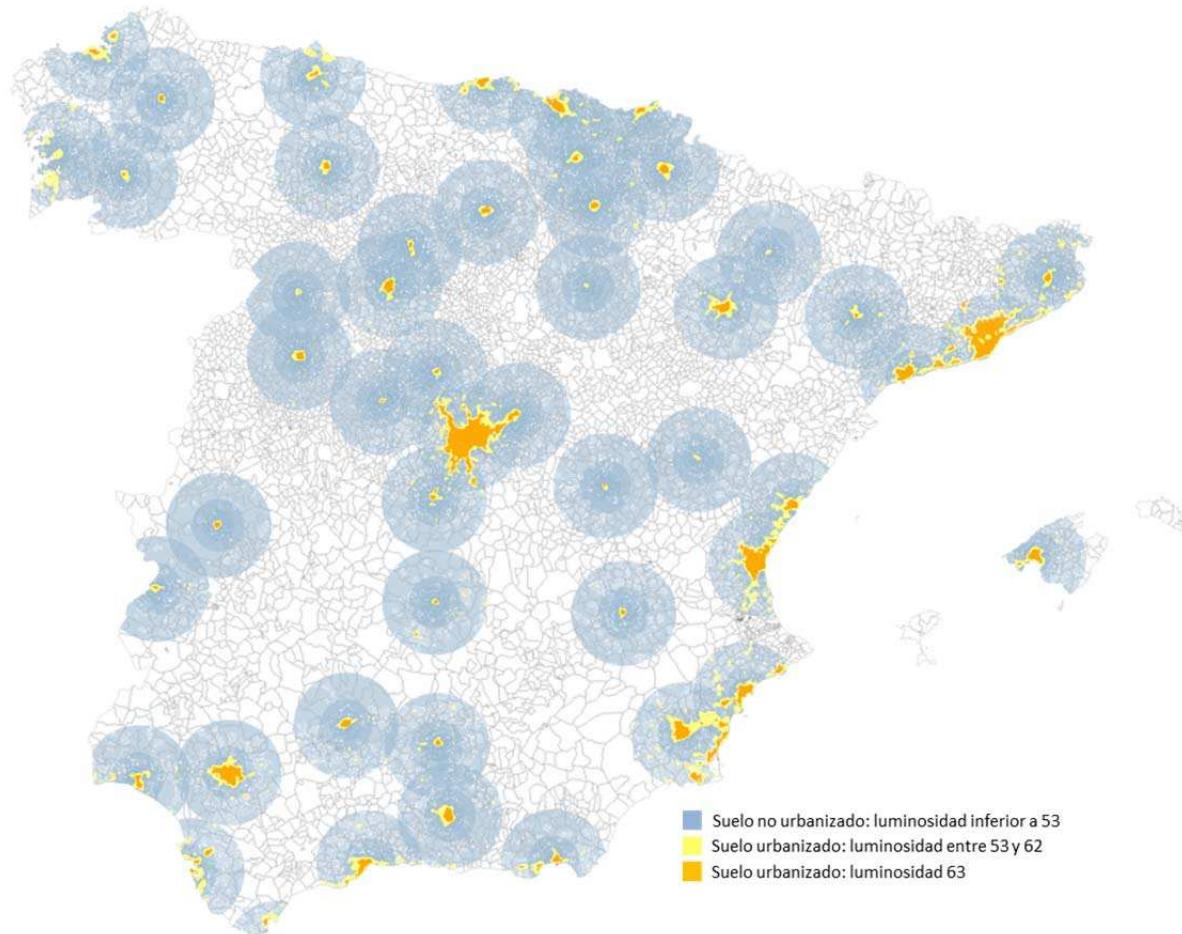
El presente apartado identifica y describe con detalle estas situaciones. Antes, sin embargo, de abordar cada uno de los elementos de la tipología morfológica propuesta, conviene explorar brevemente de manera general la relación existente entre la morfología urbana y la extensión de la luminosidad urbana.

4.1. Morfología urbana y luminosidad

La relación entre la morfología de los asentamientos y la luminosidad se encuentra condicionada estrechamente por la naturaleza de ambos fenómenos. Mientras el límite de los asentamientos es definido por la artificialización del suelo y la posición de los artefactos construidos, la luminosidad se difunde obviamente más allá de los espacios donde se genera. Así, aun cuando los focos de iluminación –por ejemplo, el alumbrado público– se encontrara circunscrito en el interior de las áreas de suelo artificializado (cosa que no siempre es cierta) el halo de luminosidad rebasaría los límites de las mismas para extenderse sobre las áreas colindantes.

Esa diferencia, que, como se ha indicado, constituye una de las dos razones principales de la falta de correspondencia entre la luminosidad urbana y las cubiertas urbanas del suelo, se encuentra a su vez exacerbada por las diversas morfologías urbanas. Así, mientras los asentamientos compactos tienden, por razón de su forma, a iluminar superficies relativamente reducidas de sus entornos respectivos, los asentamientos de carácter disperso, tentacular o lineal tienden a generar áreas con niveles de luminosidad urbana mucho más extensas. Este comportamiento resulta claramente comprensible a través de los esquemas que muestra la Figura 4.1.

Mapa 4.1. Suelo urbanizado en un radio de 50 km de las capitales de provincia españolas, 2012



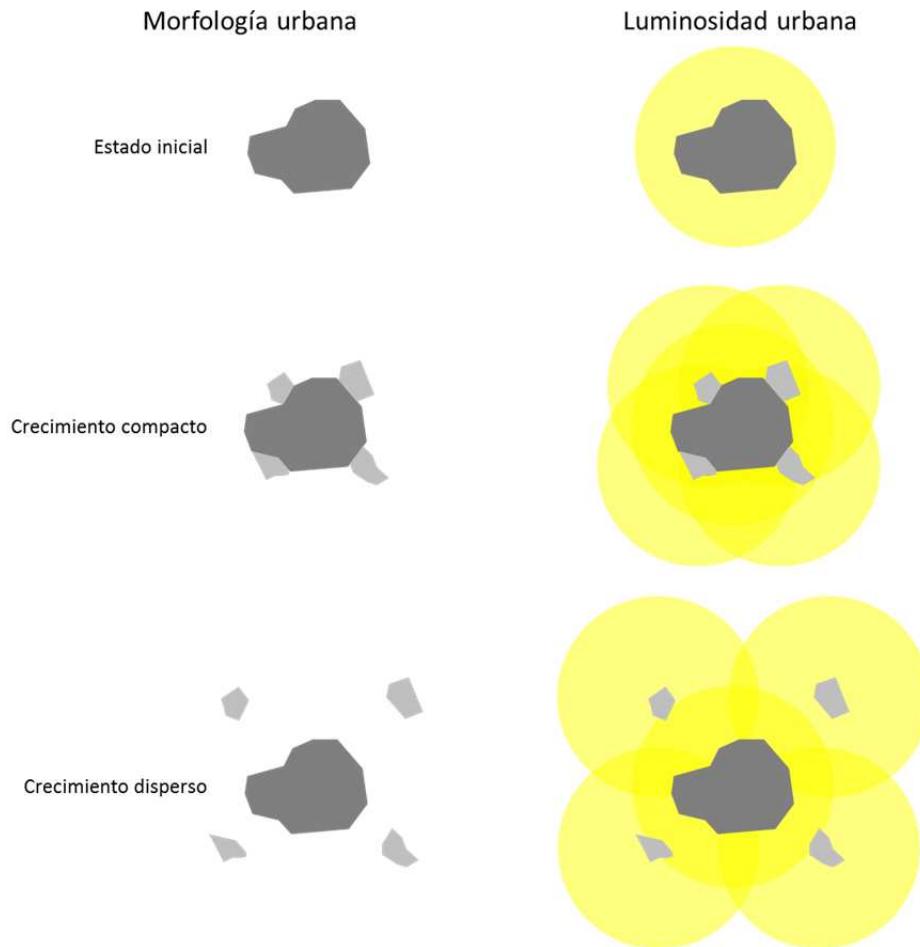
Por ello, el estudio de morfología urbana en relación a la luminosidad resulta interesante, al menos, por tres tipos de razones. En primer lugar porque, como se ha dicho, la luminosidad revela la forma no sólo de la ocupación física del suelo sino de la extensión de los usos urbanos sobre el territorio, brindando sí una nueva visión del fenómeno urbano y su alcance.

En segundo lugar, la morfología urbana permite explicar asimismo en buena medida la propia extensión de la luminosidad, de tal manera que diversas formas urbanas implican diversas extensiones de luminosidad sobre el territorio (y, con ello, denotan la presencia de usos urbanos de extensiones también diversas: más amplias en los asentamientos dispersos que en los concentrados, en los tentaculares que en los compactos, etc.).

Finalmente, el estudio conjunto de la morfología urbana y la luminosidad urbana puede ayudar a discernir cuales son los tipos de asentamientos más eficientes en términos de luminosidad, con las consiguientes implicaciones por lo que al consumo de energía, contaminación lumínica e impacto sobre la salud de las personas se refiere.

Veamos a continuación cuales son los rasgos principales de los diversos tipos de asentamientos identificados en el sistema urbano español, para volver, al final del capítulo, al tema de la eficiencia de la luminosidad.

Figura 4.1. Relación entre morfología urbana y luminosidad urbana



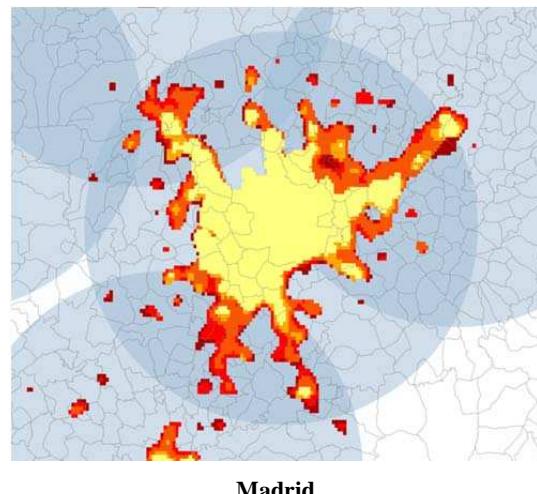
4.2. La explosión tentacular de Madrid y la relativa compacidad de Barcelona

En primer lugar, destacan los procesos de crecimiento de las dos grandes metrópolis españolas, Madrid y Barcelona. Ambas regiones metropolitanas, de superficie y volumen de población similares, han mostrado pautas de desarrollo urbano sensiblemente diferentes.

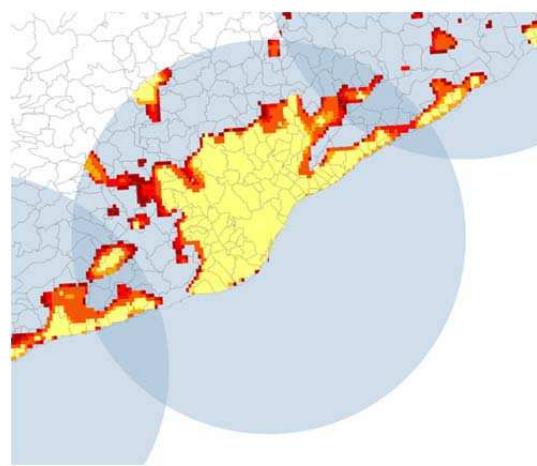
La evolución de Madrid podría adaptarse a la noción de “explosión” metropolitana (FONT et al. 2011), ya que el crecimiento en los últimos veinte años ha doblado (98,5%) su suelo con luminosidad urbana siguiendo una configuración tentacular. Así, las áreas con un nivel de luminosidad elevado (igual o superior a 53) convergen, lógicamente, en un centro claramente definido, pero dibujan una serie de apéndices lineales que coinciden con las principales arterias de comunicación viaria: la original red radial, ahora ya transformada y complementada con una tupida amalgama de vías, que une la capital española con el País Vasco, Cataluña, Valencia, Andalucía, Extremadura y Galicia. La extensión de la luminosidad urbana viene pues a confirmar la integración de las dinámicas de la aglomeración madrileña de territorios situados mucho más allá de los confines de la comunidad autónoma de la capital, tal como había sido destacado ya por otros estudios (SOLÍS 2011).

En la mayoría de casos, estos ejes no presentaban hasta los últimos años del periodo analizado una continuidad física por lo que respecta a la intensidad lumínica, sino que se basaban en los principales núcleos articuladores del sistema urbano. Ha sido únicamente a partir de los últimos quinquenios cuando la expansión urbana y la luminosidad a ella asociada han acabado conectando tales núcleos. Tal sería el caso del eje de la A4, que mantenía ya una continuidad interrumpida en Valdemoro en 1992, y se ha prolongado hasta Aranjuez a partir de los años siguientes; similar patrón sigue el eje de la A2, donde la continuidad hasta Guadalajara se produce a lo largo del periodo analizado, ya que en su inicio el umbral de luminosidad urbana se interrumpía en Alcalá.

Mapas 4.2. La explosión tentacular de Madrid y la la relativa compacidad de Barcelona



Madrid



Barcelona

En Barcelona, por su parte, el crecimiento ha sido más moderado y se ha limitado a una extensión relativamente contenida (52,1%) de la luminosidad urbana a partir de los escasos espacios que una orografía mucho más compleja ha permitido ocupar para los usos urbanos. En efecto, la densa urbanización de las tres comarcas centrales de la región metropolitana, Barcelonès, Baix Llobregat y

Vallès Occidental, existente ya en 1992 (FONT, LLOP & VILANOVA 1999), así como la artificialización de prácticamente todo el frente litoral, ha encauzado la extensión a lo largo de los ejes viarios de la A2 y la AP7, siguiendo de esta manera el corredor de la depresión prelitoral catalana. La densidad y la compacidad física, que junto a su carácter policéntrico han sido históricamente uno de los rasgos destacados de la evolución de la aglomeración barcelonesa (BUSQUETS 1992, NEL·LO 2001), parecen reflejarse también en la relativamente contenida expansión de la luminosidad nocturna.

4.3. El crecimiento por expansión de las grandes ciudades: la cornisa cantábrica, Zaragoza, Sevilla, Valladolid, Granada y Palma

Procesos similares, si bien a una escala lógicamente menor, es el que muestran buena parte de las grandes ciudades españolas. Así, Zaragoza, Sevilla, Valladolid, Granada, Palma de Mallorca o las ciudades de la cornisa cantábrica, a pesar de representar contribuciones más modestas en el total del crecimiento urbano español, doblan o incluso triplican su superficie transformada. Tales crecimientos se producen, además, en continuidad con los núcleos existentes y tienden a reforzar así su función articuladora en el sistema urbano español.

En el caso de la cornisa cantábrica (GÁRATE 2010) la mayor expansión corresponde a Santander, que prácticamente triplica (182,2%) su crecimiento entre 1992 y 2012. A su lado, Bilbao y Oviedo (con Gijón) doblan la superficie de luminosidad urbana (96,9% y 96,2% respectivamente). En el primer caso el crecimiento se produce principalmente hacia el sureste hasta Galdakao y Amorebieta y al este hasta Mungía. En el caso del triángulo urbano asturiano, que ha sido descrito precisamente como una "estrella ascendente" (RODRÍGUEZ, MENÉNDEZ & BLANCO 2009; CARRERO DE ROA 2011 y 2013), la expansión envuelve toda la

ciudad de Oviedo, mientras que en Gijón es la ocupación del litoral al oeste, tanto en Carreño como incluso en Gozón, la causa principal del crecimiento; más modesta es la extensión en el entorno de Avilés. El crecimiento de San Sebastián, mucho más moderado (56%) se concentra en la ocupación del valle del Oria, hasta Tolosa.

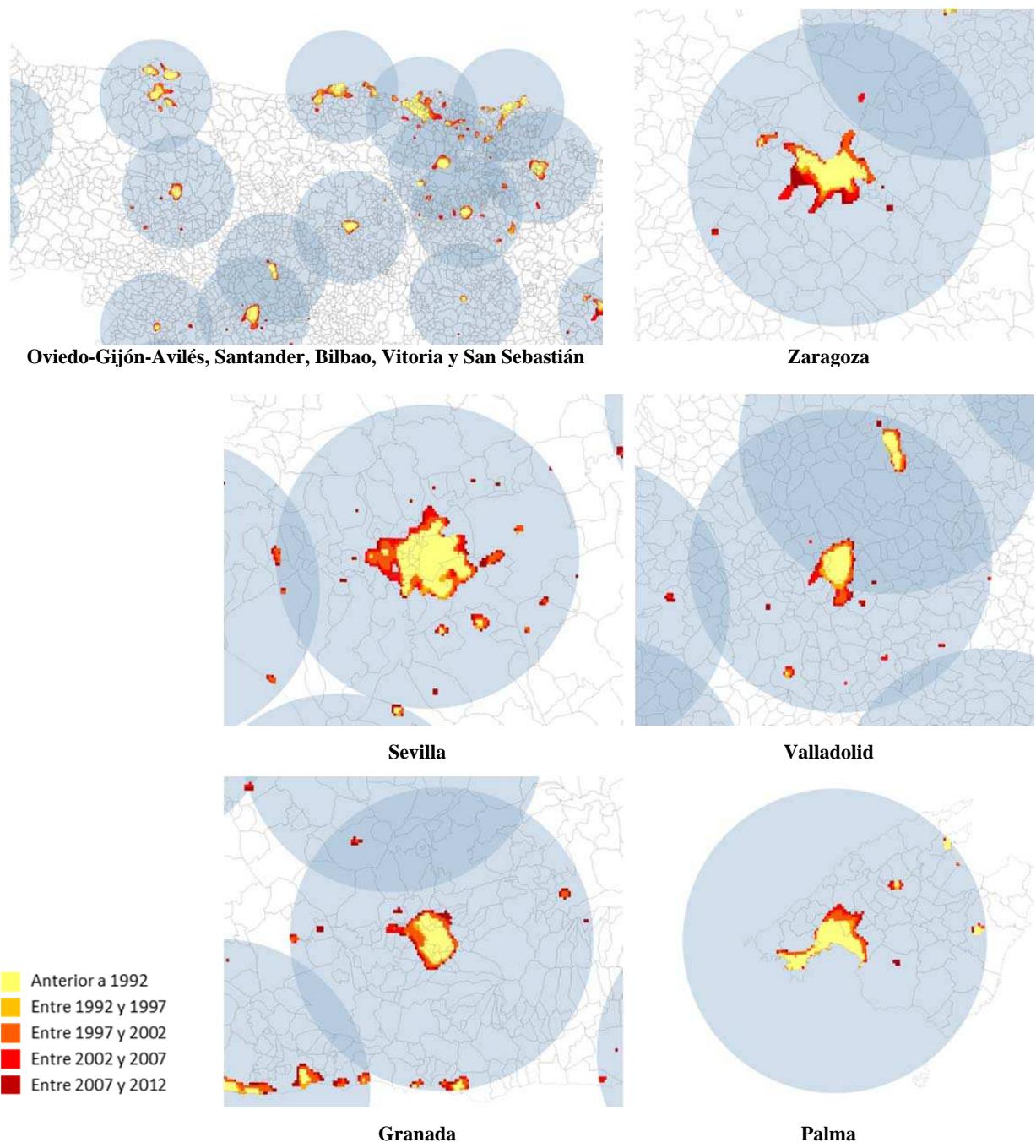
En el caso de Zaragoza, a la progresiva ocupación de los Valles del Huerva y del Gállego, se suman las de los extremos sudeste y sudoeste del municipio, coincidiendo con los polígonos de la Cartuja y Plaza respectivamente. El crecimiento total en la extensión de la luminosidad urbana hasta 2012 representa el 135% de la existente veinte años atrás, lo cual corrobora con creces el papel de la capital aragonesa y su entorno en la articulación del eje del Ebro (ZUBERO 2010).

Sevilla, que dobla su superficie con nivel de luminosidad urbana en estos 20 años (104,4%). se expande prácticamente en todas direcciones, pero con mayor intensidad hacia el oeste para llegar hasta Olivares, Sanlúcar la Mayor, Umbrete o Bollullos de la Mitación.

Valladolid y Granada, con un crecimiento muy similar (129% y 149,6% respectivamente), muestran también patrones morfológicos similares: crecimiento generalizado alrededor del núcleo urbano pero con dos focos de especial concentración: Laguna de Duero-Boecillo y Simancas en el caso de la primera, y Santa Fe-Chauchina y Güevéjar-Nívar-Alfacar para la segunda.

Finalmente, Palma, colmatado en su práctica totalidad por la urbanización del litoral de su bahía, concentra ahora su crecimiento (58,8%) hacia el interior, y muy especialmente hacia Marratxí. Así, este municipio se ha visto integrado ya prácticamente en el continuo urbano de la capital balear, tal como habían detectado ya algunas aproximaciones anteriores (MESTRE 2013, PONS 2016).

Mapas 4.3. El crecimiento por extensión de las grandes ciudades: la cornisa cantábrica, Zaragoza, Sevilla, Valladolid, Granada y Palma



4.4. La urbanización lineal del litoral: la costa mediterránea y andaluza

Junto a estos procesos de reforzamiento de los núcleos urbanos se producen también otras dos dinámicas de expansión de la urbanización con patrones radicalmente distintos. Por un lado, la ya mencionada urbanización del litoral, claramente constatable en la costa oriental y meridional de la península.

Tan sólo los ámbitos de las cuatro ciudades mediterráneas, Castellón de la Plana, Valencia, Alicante y Murcia, representan una cuarta parte del crecimiento de los 48 ámbitos analizados. Así, pues, el territorio que durante buena parte del período estudiado ha podido ser considerado como una realidad "emergente" (ROMERO et al. 2009) ha realizado una contribución sustantiva a la extensión de la luminosidad nocturna. Castellón, que pasa de los 119 kilómetros cuadrados de 1992 a los 557 de 2012 (un crecimiento del 369%) integra Oropesa del Mar al Norte y prácticamente todo el litoral al sur hasta Almenar. Pero además expande los usos urbanos siguiendo los ejes de la CV-16 y la CV20 hasta L'Alcora y Onda respectivamente.

En Valencia la ocupación del litoral norte acompaña la urbanización más intensiva que se ha producido tradicionalmente a lo largo de un rosario de poblaciones situadas en una franja de dos kilómetros paralela a la costa (ZORNOZA 2013). En l'Horta y el litoral sur, condicionado por el espacio protegido de la Albufera, el crecimiento tiene lugar siguiendo tres ejes principales: hacia poniente, el de la CV-35 hasta Líria y el de la A3, hasta Cheste, Chiva y Buñol, hacia mediodía, el de la A7 hasta más al sur de Alberic. A estos desarrollos se unen los crecimientos de Alzira y Algemesí y, ya en la costa, Sueca, Cullera y Tavernes de Valldigna.

Alicante y Murcia (aunque hayamos clasificado esta última en el apartado siguiente por su forma predominante de "archipiélago urbano") desdoblan su crecimiento a partir de dos ejes principales: la línea de la costa, donde se tiende a colmatar los espacios todavía libres de Villajoyosa, Santa Pola,

Guardamar del Segura o Torrevieja, y la autovía A7 que conecta las principales ciudades del sistema urbano, desde Alcoy a Murcia pasando por Ibi o Elche. Entre Crevillent y Torrevieja, el trazado del otro gran eje de comunicación, la autopista AP7, provoca la unión de los dos anteriores.

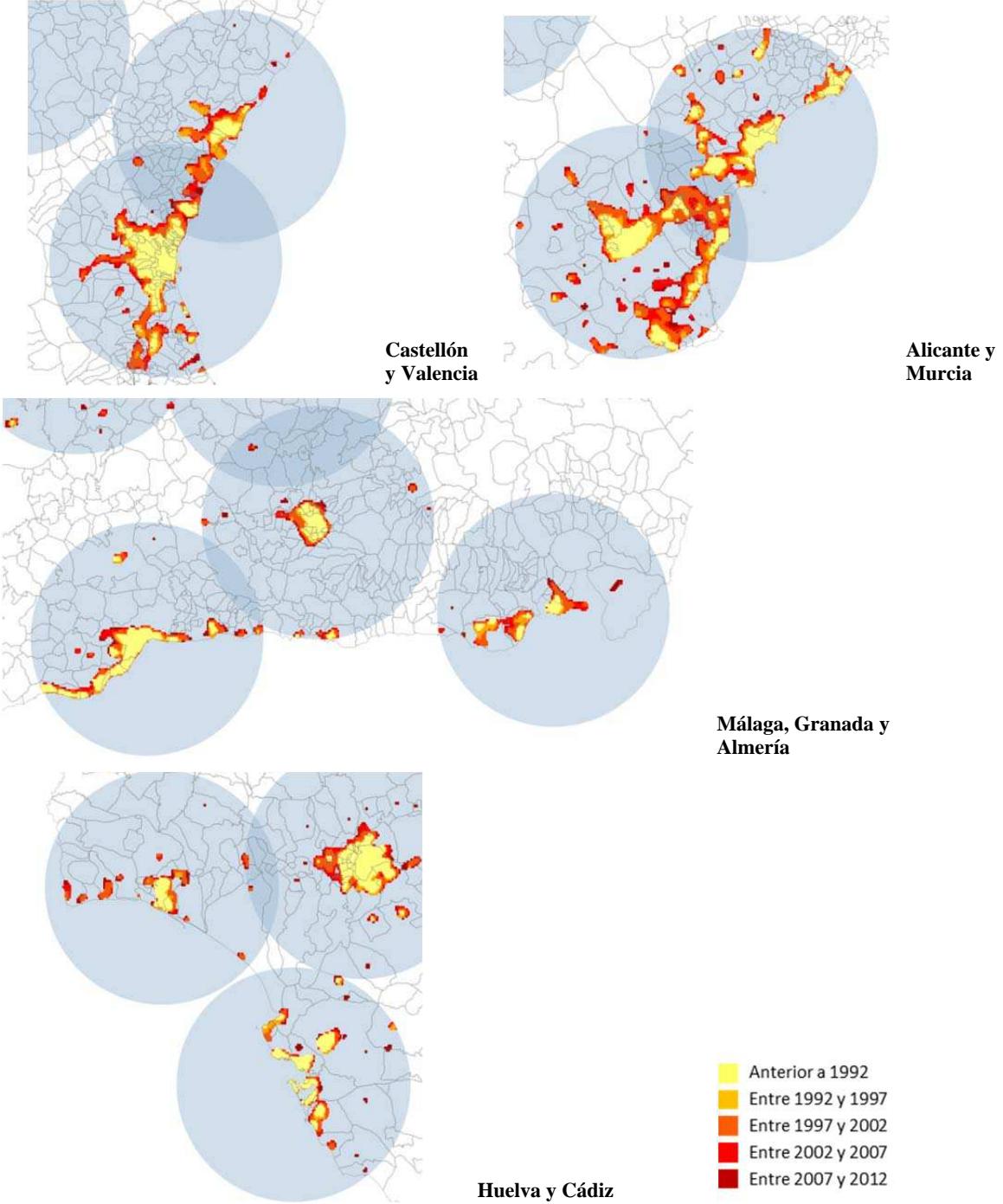
Finalmente, todas las provincias litorales andaluzas, desde Almería a Huelva, pasando por Málaga y Cádiz han concentrado la mayor parte de su crecimiento en la misma línea de la costa o en la extensión hacia el interior de núcleos costeros existentes previamente.

La tendencia de los nuevos desarrollos urbanos del conjunto de estas áreas -desde Castellón hasta Huelva- a concentrarse en una estrecha franja paralela al litoral no es ciertamente un fenómeno reciente. El fenómeno ha sido analizado por diversos autores (RULLÁN 2011; ZORNOZA 2013) y cabe interpretarlo como una continuación de los procesos de litoralización del poblamiento que, como se indicaba al principio, han constituido históricamente uno de los principales rasgos del proceso de urbanización en España (PERPIÑÀ GRAU 1954). Ahora bien, la característica que diferencia los actuales estadios de urbanización es la tendencia a la conexión de los de los espacios urbanos litorales: en abierta contradicción con la parquedad de las dotaciones infraestructurales (en particular por lo que a las ferroviarias se refiere) los usos urbanos se extienden ya linealmente y prácticamente sin solución de continuidad en muchos tramos de la costa mediterránea. De esta manera se tienen a reproducir a una escala mucho más amplia procesos como los acaecidos con anterioridad en el litoral catalán, donde los usos urbanos se extienden ya sobre la práctica totalidad del frente litoral.

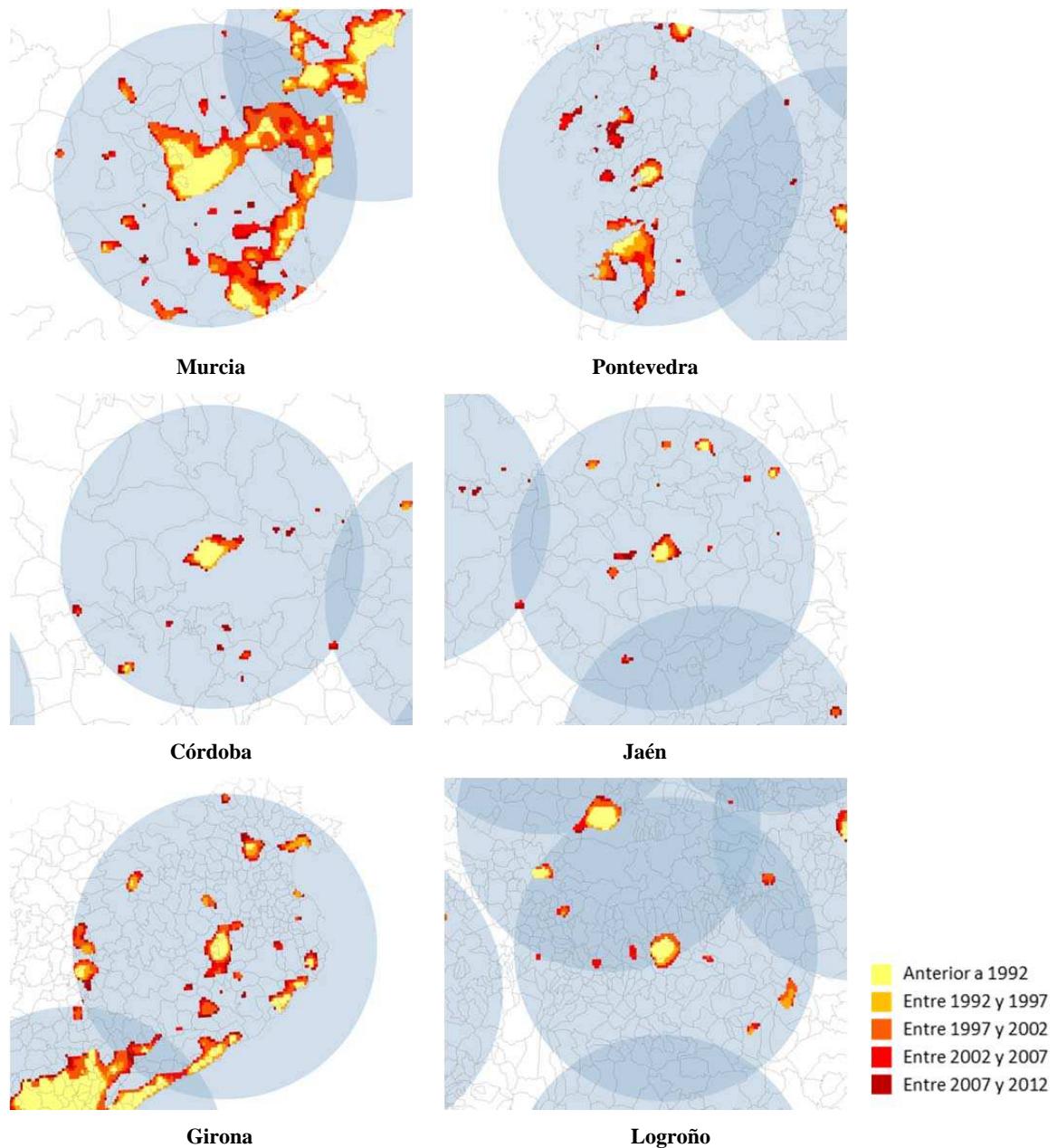
4.5. El surgimiento de archipiélagos urbanos: Murcia, Pontevedra, Córdoba, Jaén, Girona y Logroño

Junto a las casuísticas descritas anteriormente, se observa también el surgimiento de "archipiélagos" urbanos en áreas como Murcia, Pontevedra,

Mapas 4.4. La urbanización “lineal” del litoral: la costa mediterránea y andaluza



Mapas 4.5. El surgimiento de "archipiélagos" urbanos: Murcia, Pontevedra, Córdoba, Jaén, Girona y Logroño



Córdoba, Jaén, Girona y Logroño. En estos casos, la continuidad, ya sea lineal o por extensión de los núcleos urbanos en paralelo a la costa, es acompañada por la proliferación de múltiples y relativamente pequeñas áreas urbanas.

En el caso de Murcia, en paralelo a la urbanización del litoral descrita más arriba, se observa este surgimiento de nuevas islas urbanas a partir de 1992 en casos como Cieza, Bullas, Mula, Fortuna, Alhama de Murcia o Mazarrón. Estos núcleos, aunque obviamente existentes ya en fechas anteriores a las del periodo analizado, no emitían suficiente luminosidad como para ser captadas por los satélites, ya sea por su menor intensidad de emisión lumínica como por la menor extensión de la urbanización.

De igual manera, en Pontevedra, núcleos tan importantes como Ribeira, Villagarcía de Arousa, Cambados, Sanxenxo o Cangas no alcanzaban en 1992 el nivel de luminosidad urbana, mientras que a partir de 2002 son claramente identificables. De hecho Pontevedra es el segundo ámbito donde el crecimiento relativo de las áreas de luminosidad urbana es más elevado: un 720% entre 1992 y 2012, con notabilísimas extensiones en los entornos de Vigo, siguiendo la Ría hasta Nigrán y también por el valle del Louro prácticamente hasta Tui. La luminosidad urbana confirma así la potencia del desarrollo de este ámbito, clave para la conexión entre el sistema urbano de Galicia y el del norte de Portugal (LOIS & PINO 2013).

Algo similar, aunque de menores dimensiones, ocurre en Córdoba y Jaén. En el primer caso, núcleos como Palma del Río, Montilla, Baena o la Carlota se suman a los crecimientos de Écija o de la misma ciudad de Córdoba, las únicas que aparecían, con una dimensión mucho menor veinte años atrás. En el caso de Jaén, las tres únicas localidades que aparecían en 1992, Jaén, Linares y Úbeda, se encuentran acompañadas en 2012 por Baeza, Bailén, Martos, Andújar o Torredonjimeno.

En el caso de Girona, no solo surgen localidades costeras que han experimentado notables

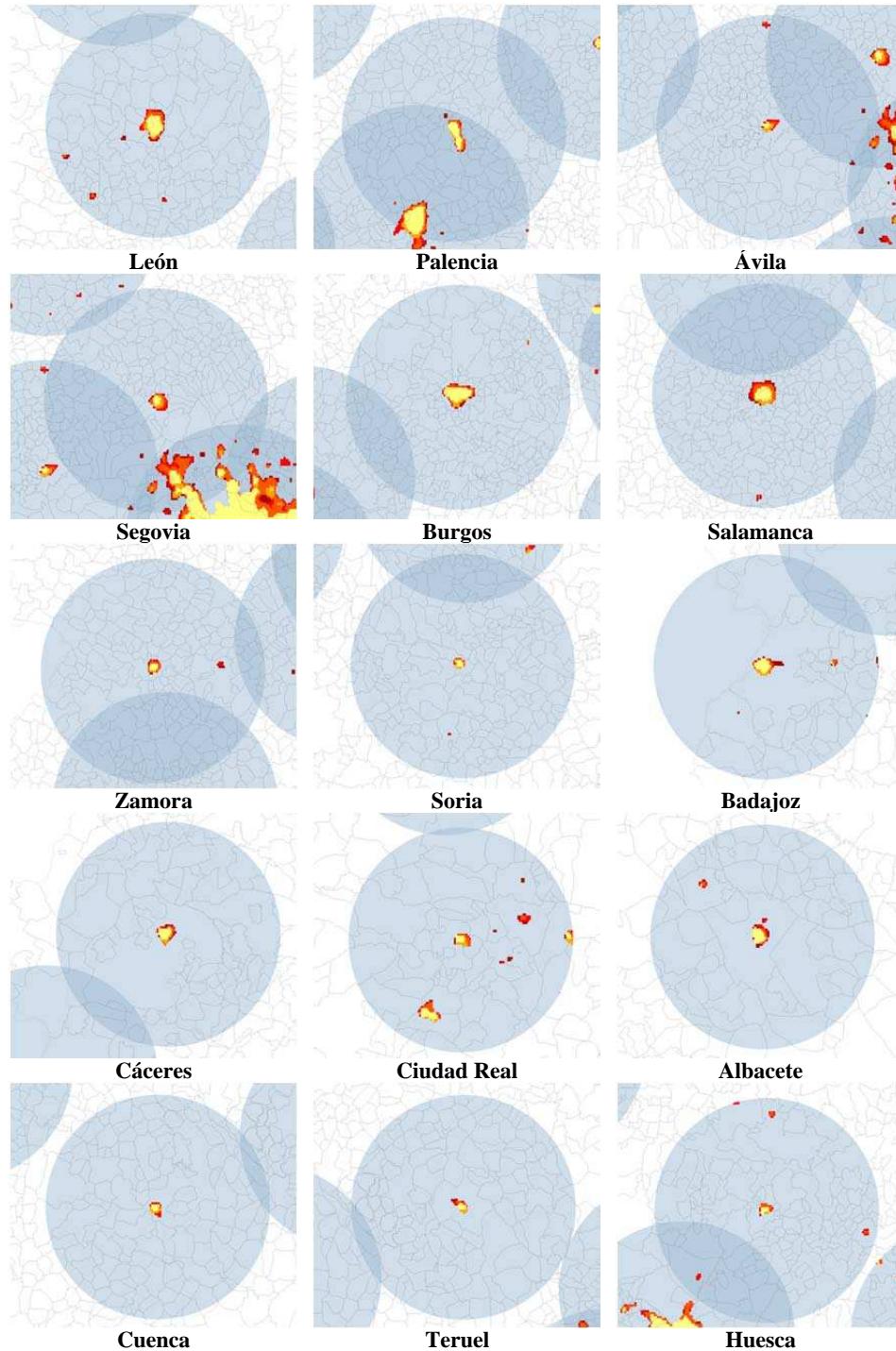
desarrollos urbanísticos a lo largo de los últimos años, como l'Escala, Castelló d'Empúries y el espectacular crecimiento de Roses, sino que lo hacen también numerosas áreas del interior. Entre estas se encuentran tanto capitales comarcales que no aparecían anteriormente (Banyoles, Santa Coloma de Farners, La Bisbal-Corçà), como otros núcleos situados en el eje de conexión con la frontera francesa, desde Sils hasta la Jonquera, con extensiones especialmente notables en el área de Figueres y los municipios que rodean la propia capital gerundense.

Finalmente, Logroño une al crecimiento periférico uniforme de la capital el surgimiento de una serie de antiguas localidades situadas a lo largo del eje del Ebro que, a pesar de su importancia, no alcanzaban niveles de luminosidad urbana en las imágenes satelitales anteriores a 2002: desde Calahorra a Haro pasando por Agoncillo y Navarrete-Fuenmayor.

4.6. Las islas urbanas del interior peninsular

Finalmente, en contraste a las cuatro dinámicas expansivas descritas, cabe destacar el relativo aislamiento y contención de muchas ciudades del interior. Gran parte de las capitales castellanas y también de las extremeñas o aragonesas muestran crecimientos urbanos que, si bien en términos relativos pueden llegar a ser considerables, representan contribuciones muy modestas al incremento total de la urbanización: la expansión de las áreas con niveles de luminosidad urbana entre 1992 y 2012 alrededor de las ciudades de León, Palencia, Ávila, Segovia, Burgos, Salamanca, Zamora, Soria, Badajoz, Cáceres, Ciudad Real, Albacete, Cuenca, Teruel y Huesca se limita al 5% del total (5,01%) y por lo tanto no parece denotar un incremento decisivo del peso de estas capitales en el conjunto del sistema urbano español. Por otra parte, buen número de ellas se encuentran circundadas por amplios espacios donde los puntos de luminosidad urbana son muy escasos o inexistentes.

Mapas 4.6. Las islas urbanas del interior peninsular



4.7. La eficiencia del desarrollo de las principales áreas metropolitanas

Los diversos patrones de desarrollo en el proceso urbanizador descritos en los apartados anteriores obedecen a múltiples casuísticas que sería imposible describir aquí de manera exhaustiva. Entre ellas, sin embargo, resulta interesante destacar la presión demográfica que han conocido estas áreas urbanas.

Siendo los asentamientos urbanos de manera primordial, el lugar de residencia de la mayor parte de la población española, cabe suponer que los procesos de extensión de luminosidad urbana descritos guardan cierta relación con el incremento de las unidades residenciales y, con ello, del número de habitantes. En efecto, los datos disponibles para las siete principales áreas metropolitanas descritas permiten observar como todas ellas experimentaron un notable crecimiento de población en sus ámbitos provinciales durante los dos decenios transcurridos entre 1992 y 2012²¹. Ahora bien, como muestra la Tabla 4.1, los datos revelan al mismo tiempo dos tendencias destacables. En primer lugar, de manera similar a lo que sucede con el suelo urbanizado, los incrementos de las áreas de luminosidad urbana son en todos los casos claramente superiores a los incrementos de población. Aparte de Vizcaya, donde la población ha permanecido prácticamente estable, el resto de provincias han visto aumentar su número de habitantes entre un mínimo del 16%

(Zaragoza) y un máximo del 36% (Málaga) entre 1992 y 2012. En paralelo, sin embargo, la extensión de las áreas de luminosidad urbana ha aumentado siempre por encima del 52% (Barcelona), siendo prácticamente el doble en la mayoría de casos (Málaga 92%, Bilbao 97%, Madrid 98%, Sevilla 104%) y llegando incluso al 135% y el 144% en los casos de Zaragoza y Valencia respectivamente. En conjunto, las áreas de luminosidad urbana han crecido cuatro veces más que la población (91,9% y 21,7% respectivamente).

En segundo lugar, los siete ámbitos considerados presentan relaciones sensiblemente diferentes entre la extensión de las áreas de luminosidad urbana y la población. Así, dejando aparte el ya caso citado de Vizcaya, Barcelona, Madrid y Málaga han incrementado su extensión en menos de un kilómetro cuadrado por cada 1.000 nuevos residentes ($0,72\text{ km}^2$, $0,87\text{ km}^2$ y $0,57\text{ km}^2$ respectivamente), mientras que Sevilla y, sobre todo, Zaragoza y Valencia, han mostrado una pautas de expansión de la luminosidad urbana mucho más extensivas: $1,16\text{ km}^2$, $1,61\text{ km}^2$ y $1,63\text{ km}^2$ respectivamente. De esta forma, estos últimos ámbitos reproducen con la población la misma desproporción entre la extensión de las áreas de luminosidad y el suelo efectivamente transformado que se ha mostrado en el capítulo anterior. Por contra, las mayores ciudades, como Barcelona y Madrid, a pesar de representar las mayores expansiones en términos absolutos, son capaces de albergar un número de habitantes proporcionalmente mayor por superficie de luminosidad urbana.

²¹ Al no disponer de datos de población referenciados a las áreas de luminosidad definidas (formadas, como se recordará, a partir de celdas cuadradas de 750 de lado) ni para las UMZ, se han considerado los ámbitos provinciales de las áreas seleccionadas. Ciertamente, las provincias no corresponden de manera exacta con los ámbitos de 50 kilómetros de radio delimitados alrededor de las capitales, pero el nivel de correspondencia resulta elevado y contiene en todos los casos la parte central, y por lo tanto más representativa, de las áreas urbanas. Además, al tratarse de una comparación entre las proporciones de crecimiento de cada variable, los posibles desajustes quedan relativizados.

Estas diferencias pueden ser atribuibles, en parte, a factores como el porcentaje de residencias secundarias sobre el total del parque residencial construido. Puede depender asimismo de la ubicación de las actividades económicas (industriales y comerciales) y usos periurbanos (servicios urbanos, actividades recreativas). Estos acaban siendo, junto con los espacios destinados a vivienda y las infraestructuras que los conectan, los responsables de la ocupación directa de suelo y, a partir de aquella, de las emisiones de luz. Ahora

Tabla 4.1. Relación de la extensión de la luminosidad urbana con el incremento de población

Provincia/ ámbito	población				área de luminosidad urbana				incremento en km ² / 1.000 hab.
	1992	2012	incremento	%	1992	2012	incre- mento	%	
Barcelona	4.666.998	5.518.276	851.278,13	18,24	1.169,78	1.779,19	609,41	52,10	0,72
Bilbao	1.153.329	1.155.709	2.379,83	0,21	256,23	504,51	248,28	96,89	104,33
Madrid	4.984.663	6.425.573	1.440.910,55	28,91	1.279,20	2.538,67	1.259,48	98,46	0,87
Málaga	1.171.333	1.598.137	426.804,39	36,44	264,73	509,23	244,49	92,35	0,57
Sevilla	1.630.286	1.932.573	302.286,69	18,54	336,85	688,44	351,58	104,37	1,16
Valencia	2.126.541	2.562.514	435.972,30	20,50	493,58	1.203,08	709,50	143,75	1,63
Zaragoza	839.426	975.050	135.624,80	16,16	161,21	378,99	217,78	135,09	1,61
Total	16.572.576	20.167.832	3.595.257	21,69	3.961,59	7.602,10	3.640,52	91,90	1,01

Fuente de los datos de población: INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA: Principales series desde 1971. Resultados por provincias.
<http://www.ine.es/dynt3/inebase/index.htm?padre=1949&capsel=1953>

bien, como han permitido observar los apartados anteriores, también la morfología de los nuevos desarrollos urbanos acaba condicionando una extensión de luminosidad diferente en función de los patrones de crecimiento que adopte.

En todo caso, la expansión de la superficie con niveles de luminosidad urbana en relación al crecimiento de la población constituye una aproximación a aquello que podría denominarse la eficiencia del desarrollo urbano: en términos de luminosidad urbana, sería tanto más eficiente el desarrollo del área urbana que pudiera aumentar su población sin incrementar la superficie con niveles de luminosidad urbana (indicador que aúna el criterio de la superficie con el de la intensidad). Obviamente, la eficiencia lumínica (y por ende, energética y ambiental) depende de muchos otros factores. Valga sin embargo esta aproximación parcial como muestra de los progresos que se pueden alcanzar en este campo si se dispone de los datos georeferenciados adecuados para ser contrastados con los de la luminosidad urbana nocturna.

5. LA TRANSFORMACIÓN DE LA METRÓPOLIS ESPAÑOLAS EN EL CONTEXTO EUROPEO

Para la comprensión de la magnitud de la expansión de la luminosidad urbana en España resulta esencial comparar su evolución con aquello que acontece en los países de su entorno inmediato. Para ello, lo más conveniente sería sin duda replicar el mismo método empleado en la investigación para el conjunto de países de la Unión Europea o, por lo

menos, para aquellos de tamaño comparable con el caso español. Así, debería procederse a estudiar el proceso de urbanización a través de la evolución de la luminosidad nocturna alrededor de capitales de los departamentos europeos de Francia, de los *capoluoghi* de las provincias y ciudades metropolitanas italianas, de las sedes de los distritos administrativos portugueses, etc. El ejercicio, que revestiría un notable interés para el conocimiento de la urbanización en Europa y que sin duda deberá ser acometido en un futuro próximo, implicaría sin embargo un empeño que sobrepasaría con mucho los límites y los recursos de la presente investigación.

Figura 5.1. Evolución de la luminosidad urbana en las 20 metrópolis europeas consideradas, 1992-2012



Fuente: Elaboración propia.

Por ello, se ha optado por una aproximación más modesta, consistente en contrastar la evolución de la luminosidad nocturna en las áreas urbanas españolas y, en particular, Madrid y Barcelona con otras 18 metrópolis europeas. En conjunto, pues, se comparará la evolución de 20 metrópolis de países de Europa occidental, pertenecientes a 11 países de la Unión Europea, cuyo detalle y localización puede apreciarse en la Figura 5.1. Para este análisis se tomará como referencia el mismo período (1992-2012), se emplearán las mismas fuentes y se seguirá la misma metodología que en el resto de la investigación expuesta en los capítulos precedentes.

Los resultados de este ejercicio²² permiten establecer la existencia tanto de pautas de extensión urbana coincidentes como de notables diferencias entre las metrópolis estudiadas. En todo caso el análisis de la realidad europea constituye un elemento imprescindible de contextualización y contraste para el estudio del sistema urbano español. Veamos a continuación los resultados atendiendo en primer lugar a la extensión de luminosidad urbana y, a continuación, a la morfología de los usos urbanos del suelo.

5.1. Las disparidades en el crecimiento de la luminosidad urbana en las ciudades del sur y el norte de Europa

La primera constatación que se deriva del análisis de las metrópolis europeas estudiadas es que las áreas con un nivel de luminosidad 53 o superior

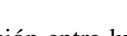
presentan a lo largo de los veinte años analizados una progresiva ampliación. De esta manera, como en el caso de las ciudades españolas, a las áreas que presentaban ya un nivel de luminosidad urbana en el año 1992 se han añadiendo sucesivas ampliaciones que en todos los casos prolongan su extensión en contigüidad y que en algunos, además, la complementan con nuevos enclaves aislados. Veamos cuáles son los paralelismos entre ambos conjuntos de ciudades y hasta qué punto, el estudio de las áreas urbanas europeas puede matizar algunos de los resultados obtenidos para las ciudades españolas.

Como hemos visto, en las dos décadas estudiadas, el área con un nivel de luminosidad urbana alrededor de las 48 capitales de provincia españolas ha aumentado en su conjunto un 133% en términos netos. En los casos de las dos mayores metrópolis españolas, que tomaremos aquí como elemento de comparación, los aumentos del área con nivel de luminosidad urbana han sido del 98,7% en el caso de Madrid y de 53,7% en el caso de Barcelona²³. La media de los crecimientos de las veinte ciudades consideradas es del 58% pero tal como muestra la Figura 5.2 existen muy notables diferencias en la extensión de la luminosidad entre las diversas ciudades europeas analizadas. Así, las mayores áreas urbanas, como París y Londres, ven incrementar muy poco su extensión en términos lumínicos entre 1992 y 2012, tanto en términos absolutos como relativos, de modo que aumentan tan solo el 9,8% y el 13,9% respectivamente su superficie. Asimismo, parece existir una mayor propensión de las áreas urbanas del sur de Europa a

²² Los datos y conclusiones de este análisis de alcance europeo han sido presentados en la conferencia de la Urban Geographical Commission de la International Geographical Union celebrada en Shanghai en agosto de 2016 (NEL·LO, LÓPEZ & MARTÍN 2016). El detalle de los resultados, incluyendo una extensa exposición de la metodología empleada, ha sido publicado en la revista *Land Use Policy* (NEL·LO, LÓPEZ, MARTÍN & CHECA 2017). En el marco de la investigación se han realizado asimismo algunos ensayos de aplicación de la metodología a las metrópolis latinoamericanas (MARTÍN 2016).

²³ Se observará que los datos relativos a la superficie de las áreas con luminosidad urbana de Barcelona mostrados aquí presentan pequeñas diferencias respecto a los capítulos anteriores. La variación obedece a que en el estudio sobre las grandes ciudades europeas (NEL·LO, LÓPEZ, MARTÍN & CHECA 2017) se ha ensayado un método diverso para el recorte de los píxeles en las áreas litorales. En cualquier caso, tales diferencias no afectan la bondad de los resultados obtenidos en ambos trabajos, ya que en cada uno de ellos las comparaciones se realizan sobre ámbitos delimitados a partir de un único criterio.

Figura 5.2. Extensión de las áreas urbanas a partir del nivel de luminosidad, 1992-2012. Km²

Área urbana	1992	1997	2002	2007	2012	
Amsterdam- Randstad	1.012,8	1.329,5	1.605,8	1.702,2	2.199,7	
Barcelona	1.173,8	1.177,2	1.481,8	1.657,5	1.803,5	
Berlín	727,5	551,0	712,2	693,8	951,9	
Ruhr	1.381,0	1.564,6	1.930,4	1.656,2	2.589,3	
Dublín	370,5	414,8	474,1	553,3	600,3	
Hamburgo	490,5	442,2	466,4	530,4	701,4	
Helsinki	571,8	742,8	969,4	500,3	1.021,9	
Copenhague-Malmö	594,4	238,0	494,6	534,5	870,2	
Lisboa	523,9	644,2	1.178,6	1.345,7	1.538,9	
Londres	3.376,8	3.554,3	3.301,9	3.617,8	3.844,9	
Lyon	585,7	725,8	921,3	982,1	1.119,2	
Madrid	1.274,0	1.306,3	2.039,4	2.340,7	2.531,3	
Manchester	2.402,3	2.419,6	2.550,9	2.650,3	2.691,9	
Marsella	560,0	606,3	833,0	884,9	1.053,9	
Milán	2.023,3	1.881,9	2.932,4	3.367,5	4.015,8	
Múnich	311,8	339,0	413,9	475,1	695,3	
Nápoles	1.003,9	864,2	1.588,0	1.561,4	1.859,6	
París	2.644,9	2.663,8	2.833,5	2.807,3	2.903,6	
Roma	951,9	779,5	1.392,2	1.378,7	1.876,4	
Estocolmo	843,8	674,0	764,9	681,5	1.152,1	

aumentar su superficie con niveles de luminosidad urbana que en las del norte. Una clasificación normativa de las áreas metropolitanas estudiadas en relación a su latitud nos indica que 8 de ellas están situadas al sur del paralelo 46° y 12° al norte. Pues bien, 9 de las 10 ciudades que menos se extienden en términos lumínicos se hallan al norte de esta línea, mientras que 7 de las que más se extienden se encuentran al sur de la misma. Entre estas últimas, algunas (Lyon, Madrid, Marsella, Milán, Roma, Nápoles) prácticamente doblan su superficie en términos de luminosidad o incluso llegan a triplicarla, como es el caso de Lisboa. La excepción, es decir, la única ciudad del sur de Europa de entre las estudiadas que se halla entre las diez que menos extienden su luminosidad es, precisamente, Barcelona.

A partir de la relación entre luminosidad, actividad humana y urbanización, se podría inferir en principio que los incrementos de la superficie cubierta por una alta luminosidad responden a una extensión del suelo con cubiertas urbanas e infraestructuras en estas áreas. Esto parece constatarse, efectivamente, a través de la comparación de la evolución del nivel de luminosidad considerado (53) con la del suelo delimitado en las *Urban Morphological Zones* a lo largo del período considerado²⁴. La comparación permite comprobar la existencia de un cierto paralelismo en la evolución de ambas variables, tal como se puede observar en la Figura 5.3.

²⁴ Debe recordarse que las fechas de los dos tipos de observaciones no se corresponden estrictamente. Los datos de NOAA son para el período 1992 y 2012, mientras que los de las UMZ de 1990 y 2006.

Figura 5.3. Relación entre el incremento del área de luminosidad (nivel 53) y de la superficie UMZ (1992-2012)

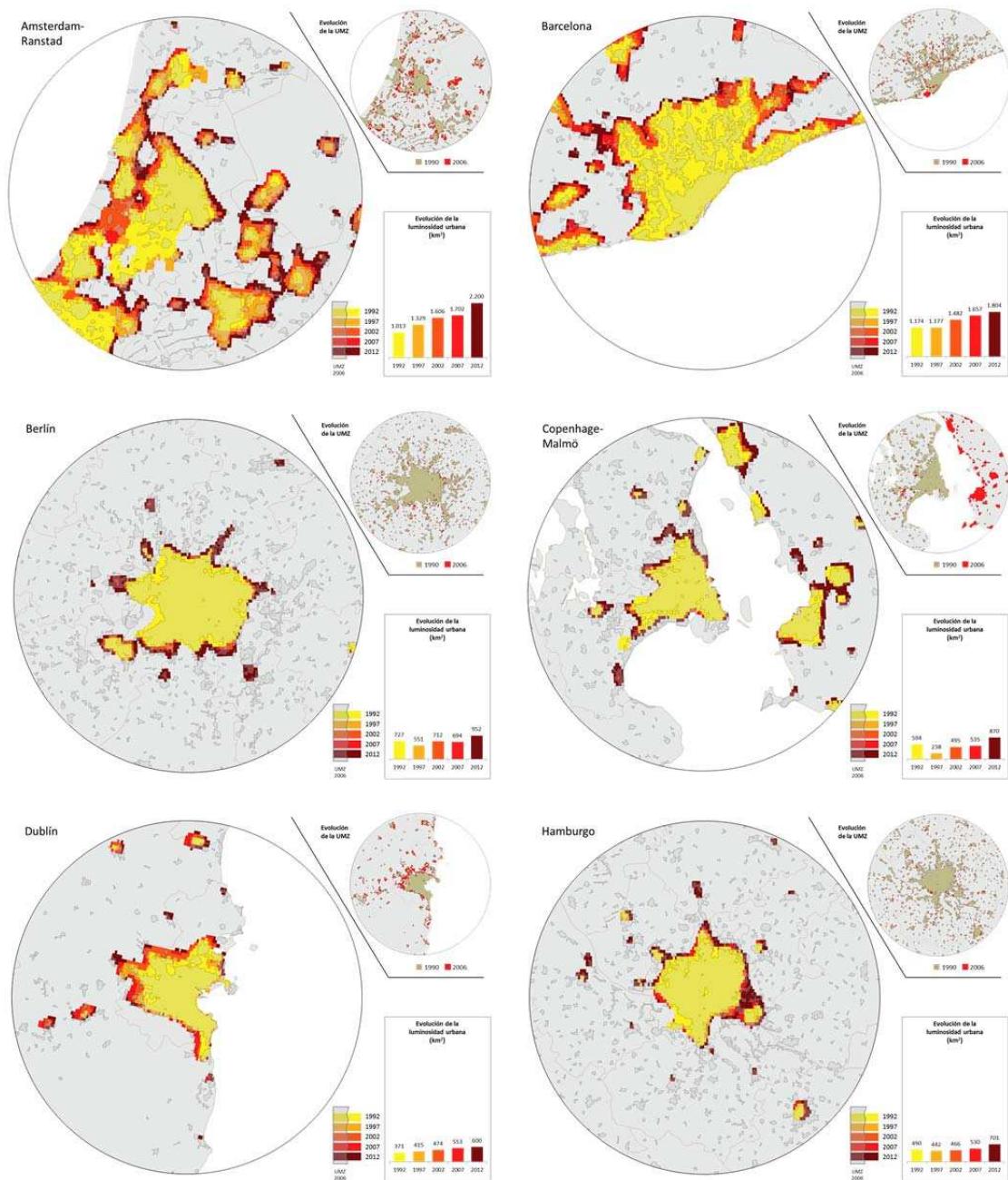
	Crecimiento del área UMZ 1990-2006			Crecimiento del área de luminosidad urbana 1992-2012		
	km ²	%		km ²	%	
París	132,3	5,8		258,8	9,8	
Manchester				289,6	12,1	
Londres				468,1	13,9	
Berlín	81,7	6,3		224,5	30,9	
Estocolomo				308,3	36,5	
Hamburgo	104,8	10,4		210,9	43,0	
Copenhage-Malmö				275,8	46,4	
Barcelona	125,7	19,0		629,8	53,7	
Dublín	158,3	44,4		229,8	62,0	
Helsinki				450,1	78,7	
Nápoles	84,6	12,8		855,7	85,2	
Ruhr	92,9	4,2		1.208,3	87,5	
Marsella	76,8	12,1		493,9	88,2	
Lyon	85,8	8,7		533,5	91,1	
Roma	60,4	9,1		924,5	97,1	
Milán	126,8	7,5		1.992,6	98,5	
Madrid	421,6	71,2		1.257,3	98,7	
Amsterdam- Randstad	343,9	36,6		1.186,9	117,2	
Múnich	47,7	6,3		383,6	123,0	
Lisboa	323,9	75,4		1.015,0	193,8	

Ahora bien, la relación entre cubiertas urbanas y luminosidad no se produce de igual manera para cada una de las áreas urbanas analizadas y, lo que es más significativo, en prácticamente ningún caso es directamente proporcional, como expresan los datos de la misma Figura 5.3. En efecto, tal como se observa, algunas ciudades han experimentado ciertamente procesos de urbanización mucho más intensos que otras, pero en ningún caso estos procesos han representado incrementos similares a las magnitudes detectadas al estudiar el área iluminada, que son mayores en todos los casos. Para poner un ejemplo, Lisboa, que como se ha dicho, incrementa su superficie con cubiertas urbanas en un 75,4%, ve crecer su área iluminada al nivel 53 en un 193,7%. De hecho, como sucede para las ciudades españolas, todas las áreas de luminosidad urbana son sensiblemente más

extensas que el suelo con cubiertas urbanas delimitado por las *Urban Morphological Zones*.

Es decir, existe también en el ámbito europeo una relación entre la evolución de los dos tipos de área, pero sería erróneo establecer una equivalencia directa entre superficie iluminada y suelo urbano. Mientras en el caso de las ciudades españolas la falta de proporcionalidad estricta entre los dos tipos de crecimiento era acompañada por el mantenimiento de la relación ordinal entre las áreas urbanas, esto no ocurre en el caso de las metrópolis europeas estudiadas. Así, si la relación entre la evolución de las dos variables – área con nivel de luminosidad urbana y área artificializada– ofrecía en el caso español un coeficiente de correlación razonablemente significativo, superior a 0,74, en el caso del conjunto las ciudades europeas estudiadas esta correlación no existe. Esto es así porque como muestra la Figura 5.3, algunas ciudades con

Figuras 5.4. Áreas de luminosidad urbana (1992-2012) y Urban Morphological Zones de 20 ciudades europeas (1990-2006)



incrementos de las UMZ relativamente pequeños (Rhur, Marsella, Lyon, Roma, Milán, Múnich) tienen crecimientos de las áreas de luminosidad urbana muy superiores a los de las ciudades con mayor expansión de la UMZ (como Barcelona o Dublín).

5.2. La luminosidad como indicador de la diversidad de los patrones de urbanización en Europa

Como en el caso de las ciudades españolas, el análisis de las características morfológicas del suelo con niveles de luminosidad urbana puede ayudar a comprender esta aparente contradicción. La serie de Figuras 5.4 de las áreas metropolitanas europeas analizadas, consultable al final del presente capítulo, permite observar cómo, en términos generales, las áreas de luminosidad delimitadas guardan, en términos generales, relación con el suelo con cubiertas urbanas: allá donde existe una extensión de suelo urbanizado con la suficiente extensión y densidad, la luminosidad que emite tiende a ser recogida claramente en las imágenes nocturnas; y allá donde surge un área de luminosidad urbana suele encontrarse una área urbanizada. Sin embargo, como hemos visto para la realidad española, dos tipos de situaciones escapan a esta regla. Por un lado, existen polígonos de suelo urbanizado no cubiertos por el área de luminosidad. Y, por otro lado, se detectan áreas no urbanizadas del territorio incluidas en un área de luminosidad.

En el primero de los casos, la existencia de polígonos de suelo urbano no cubiertos por el área de luminosidad, la explicación puede radicar, sencillamente, en que el establecimiento de un umbral mínimo deja fuera aquellos núcleos que, por su reducido tamaño o por su baja densidad, no alcanzan este nivel mínimo de emisión lumínica. Podría discutirse aquí si no sería preferible emplear para cada una de las metrópolis estudiadas umbrales de luminosidad urbana diversos, en función de sus respectivas realidades urbanas. Cabe decir, sin embargo, que los ensayos realizados en el marco de la investigación no han arrojado

resultados sustancialmente mejores que el establecimiento del umbral común al nivel 53, el cual, en cambio, tiene la ventaja de facilitar la comparación.

La segunda discrepancia entre ambas variables, es decir, la mayor extensión del área de luminosidad respecto a las áreas urbanas delimitadas, puede ser explicable por las diferencias existentes en el método de delimitación y características de cada una de las fuentes (UMZ y luminosidad). Así, mientras las UMZ son dibujadas a partir del suelo artificializado con un alto nivel de precisión, las áreas de luminosidad son delimitadas en función de la difusión de los halos de luz a partir de los focos emisores. Estos halos no responden, lógicamente, a los límites estrictos del suelo urbano, sino que, como se ha explicado, se difunden en el espacio, ocupando un ámbito mayor.

Como puede verse a partir de las imágenes de las áreas urbanas analizadas, el nivel de coincidencia con el área de luminosidad es mayor en las áreas urbanas donde priman los crecimientos en contigüidad que en las dispersas. Allá donde existe un centro urbano denso y compacto las áreas de luz lo envuelven resiguiendo ajustadamente sus límites y dejando únicamente sin cubrir los núcleos dispersos de baja densidad. Como queda recogido en la Figura 5.5, tal sería el caso de Berlín, Copenhague-Malmö, Hamburgo o Múnich, es decir, las ciudades que muestran una alta proporción de área de luminosidad correspondiente a suelo urbano. Por contra, en aquellas áreas metropolitanas formadas por diversos núcleos densos (Barcelona, Lisboa, Marsella, Milán), o cuyo núcleo urbano principal se expande tentacularmente (Madrid, Nápoles, Roma), las áreas de luminosidad sobrepasan claramente sus límites para abarcar también grandes extensiones de suelo no urbanizado o el suelo urbanizado de baja densidad que queda entre los núcleos compactos.

Como se ha explicado, la difusión de la luz emitida desde centros urbanos compactos y caracterizados por crecimientos en contigüidad, tiende a solapar sus halos mayoritariamente sobre los suelos urbanos vecinos. En cambio, la luz emitida desde

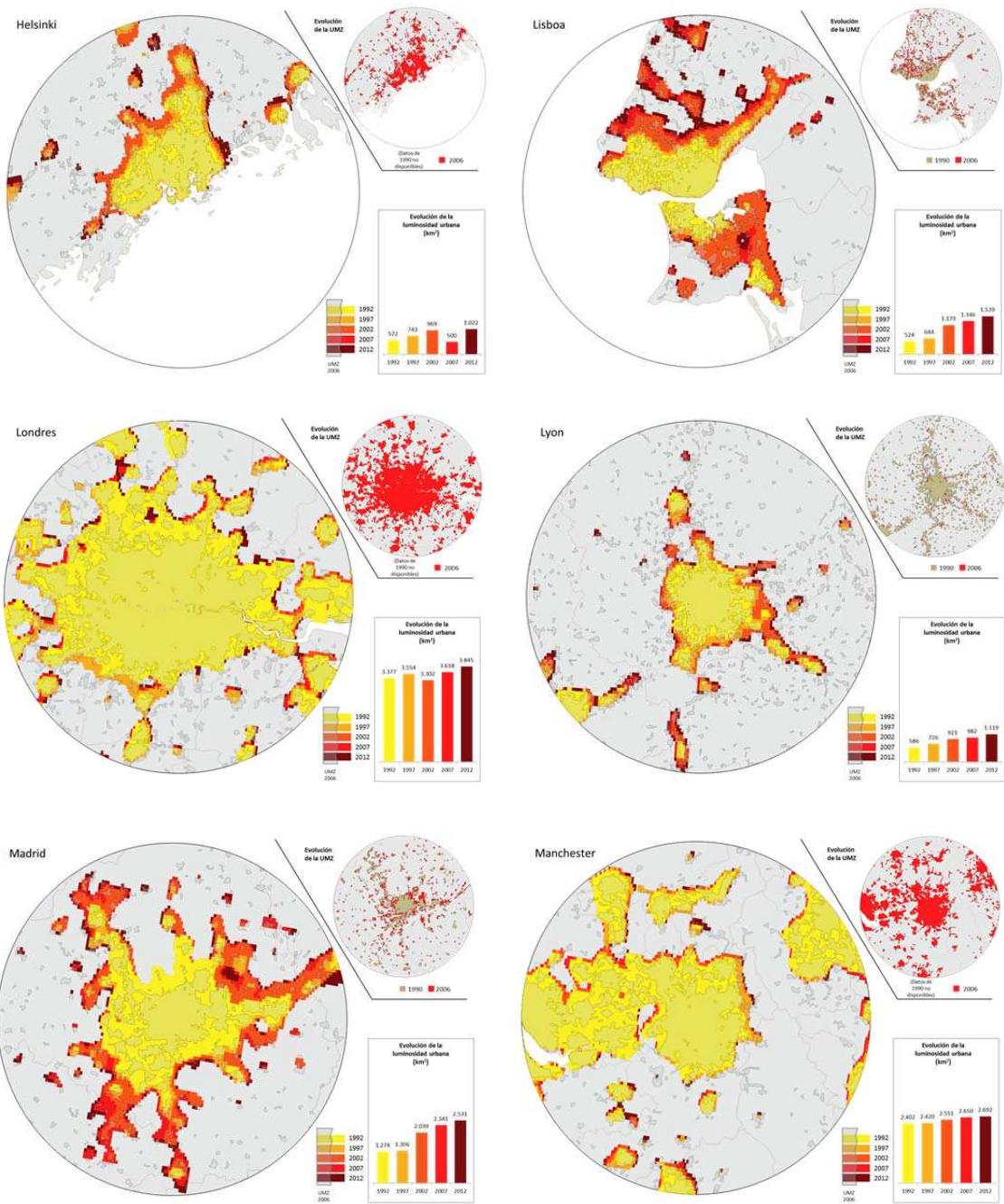
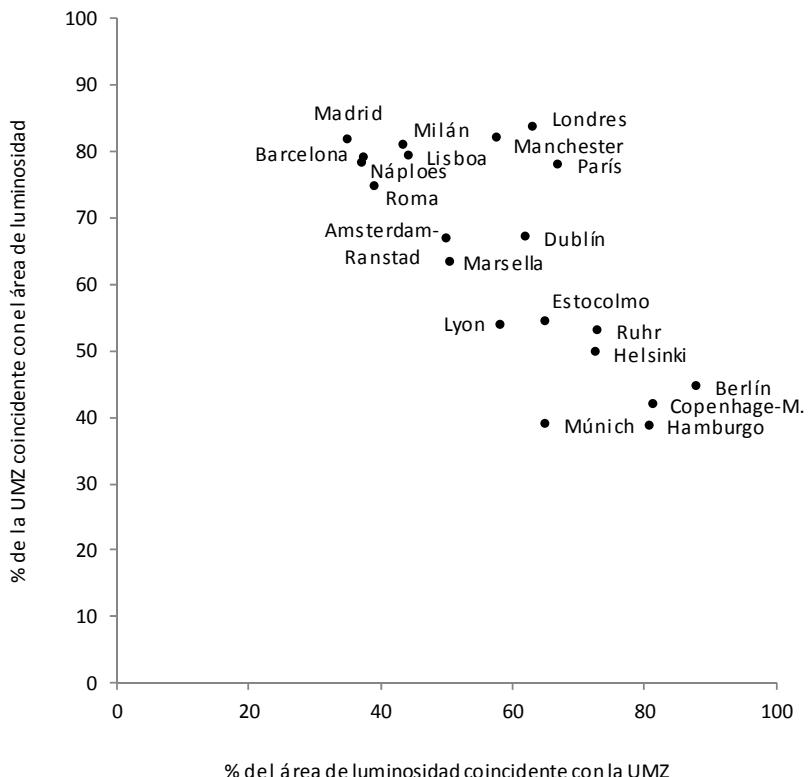


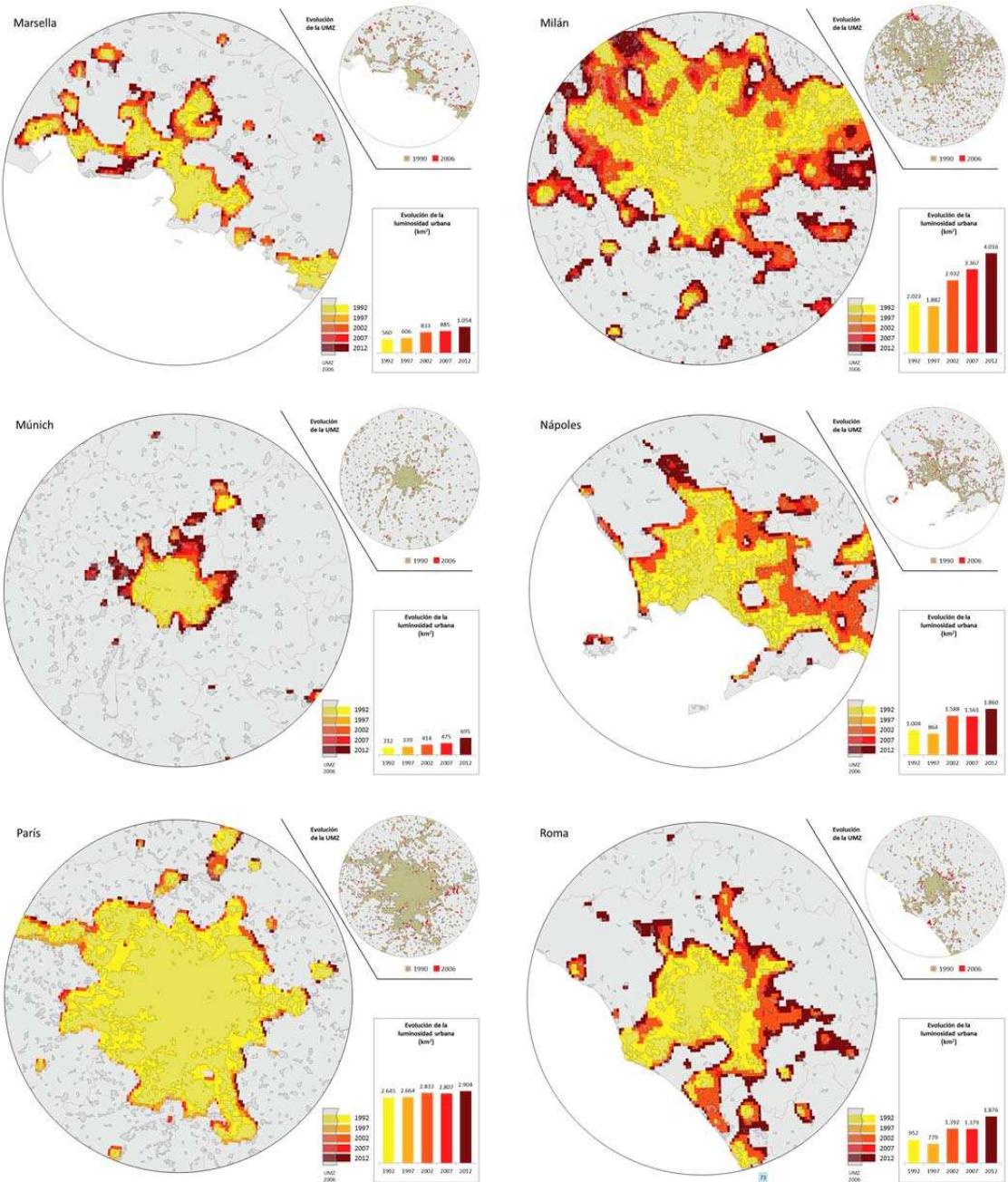
Figura 5.5. Coincidencia entre las áreas de luminosidad (valor 53) del año 2007 y las UMZ de 2006

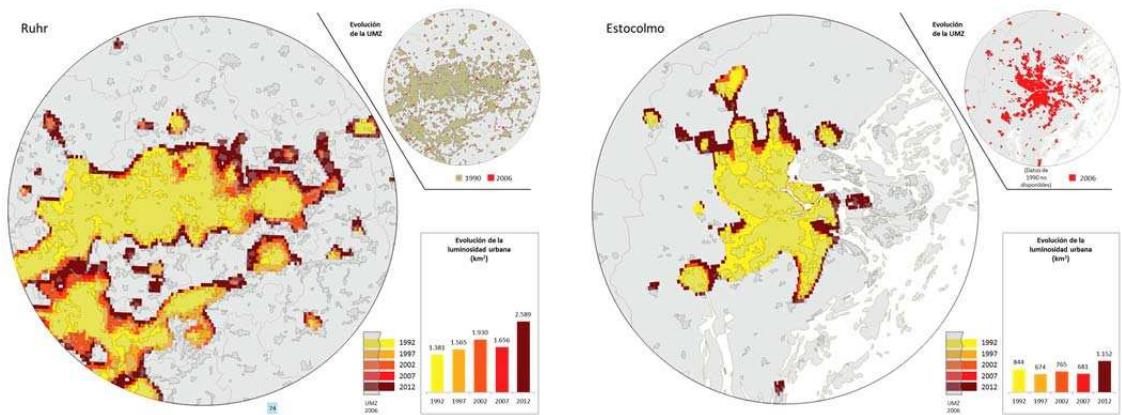


centros urbanos dispersos cubrirá un área territorial mayor, aunque no sea emisora de luz, ni esté necesariamente urbanizada. Si en el primer caso, una vez alcanzado un nivel determinado de luminosidad, las nuevas emisiones de luz no sirven para incrementar el área de alta luminosidad, en el segundo cada nuevo foco emisor tiende a multiplicar su extensión, siempre, claro está, que cuente con capacidad de alcanzar el umbral mínimo de luminosidad.

Esta característica de las áreas de luminosidad tiene, como decíamos para el caso de las ciudades españolas, un gran valor para la observación de la forma urbana, ya que convierte la luminosidad en un indicador combinado de extensión, compacidad, densidad y usos urbanos. Los espacios luminiscen-

tes se corresponden, como vemos, no estrictamente con el suelo destinado a cubiertas urbanas, sino al conjunto de piezas urbanas que, por su extensión, densidad y disposición, comportan un elevado nivel de interrelación y conforman de esta manera el ámbito sobre el que se extienden los usos urbanos en su conjunto. Las áreas urbanas definidas por este método no se limitan, pues, al suelo artificializado sino que engloban igualmente todos aquellos espacios intersticiales que, condicionados por el uso y las interrelaciones de las piezas urbanizadas que los rodean, devienen también parte integrante de la ciudad. La evolución de las áreas de luminosidad urbana resulta pues un buen indicador de la disparidad histórica de los patrones de urbanización y la morfología urbana de las metrópolis europeas.





6. CONCLUSIONES

La presente investigación ha tenido como objetivo el estudio del proceso de urbanización en España entre 1992 y 2012 a partir de imágenes satelitales nocturnas de la Tierra. De la pesquisa emergen resultados relativos tanto a la evolución de la urbanización en España en un período particularmente convulso y decisivo, como a la idoneidad de la fuente y la metodología empleada.

Como se ha expuesto al inicio, el empeño de la investigación no ha consistido tanto en la eventual delimitación de las ciudades en cuanto a formas espaciales, sino más bien en contribuir a la comprensión del proceso de urbanización del territorio por lo que a la integración funcional, la dispersión de los asentamientos y la intensidad de usos se refiere. El planteamiento de partida, como se recordará, se basaba en una doble asunción: por una parte, la afirmación de que la extensión y expansión de los usos urbanos del territorio es muy superior a la superficie de suelo efectivamente artificializada; por otra parte, se postulaba que la imagen satelital nocturna resulta una fuente de particular interés y utilidad para el estudio de la extensión y la intensidad de los usos urbanos del territorio.

Llegados al final, los principales hallazgos de la investigación pueden resumirse en las doce proposiciones siguientes:

1. Se ha establecido que en el año 2012 el nivel de luminosidad urbana existente alrededor de las 48 capitales de provincia españolas de la Península Ibérica y las Islas Baleares cubre una superficie de 16.098 Km². La extensión de la luminosidad urbana, definida a partir de un mismo nivel de intensidad, ha conocido en las dos décadas estudiadas un crecimiento acelerado: se ha multiplicado por 2,3, pasando de cubrir 6.907 km² en 1992 a los mencionados 16.098 km² en 2012.

2. La disposición geográfica y la intensidad de las áreas de luminosidad urbana se corresponde en términos generales a los ejes de poblamiento y actividad ibéricos. Así, la luminosidad urbana se extiende prácticamente sin solución de continuidad por la costa mediterránea peninsular desde Girona hasta Gibraltar (con reducidas intermisiones al norte y al sur del Delta del Ebro y en la costa almeriense). Resulta asimismo muy destacada la luminosidad de la aglomeración madrileña que abarca no solo buena parte de la comunidad autónoma de la capital, sino que comprende también territorios de las provincias vecinas de Guadalajara, Toledo, Segovia y Ávila. Junto a estas dos grandes áreas cabe asimismo señalar la importancia de la luminosidad emitida por las aglomeraciones de la cornisa cantábrica, el eje del Ebro de Zaragoza a Logroño, la vega del Guadalquivir y la costa gaditana, así como la nebulosa de ciudades gallegas. La potencia de estos focos contrasta con la relativa debilidad de las emisiones procedentes de la mayor parte de las ciudades del interior peninsular.

3. Se ha determinado, asimismo, que existe una relación directa entre la luminosidad detectada por la imagen satelital nocturna y el nivel de urbanización del territorio. Sin embargo la correspondencia entre una y otra variable no es estricta. Antes al contrario, el área con niveles de luminosidad urbana detectada para el año 2012 en los 48 ámbitos territoriales estudiados tiene una extensión 2,4 veces superior a la del suelo ocupado por cubiertas urbanas. Asimismo, la expansión de la luminosidad excede ampliamente la de la urbanización del suelo: si, como se ha dicho, la extensión del halo lumínico urbano alrededor de las capitales de provincia españolas se ha expandido 9.191 km² en estas dos décadas (un 133%), las cubiertas urbanas lo han hecho en un 39%, pasando de 4.838 km² a 6.767 km² en el mismo período.

4. La expansión de la luminosidad viene a confirmar así los datos ya conocidos a través de otras fuentes –en particular, la utilización de

imagen satelital diurna- acerca de la acelerada expansión del proceso de urbanización en España en la última década del siglo XX y la primera del siglo XXI. La peculiaridad y principal utilidad de la imagen satelital nocturna es que permite detectar no solo la expansión de las cubiertas urbanas del suelo sino también la de los usos urbanos del territorio que, como se ha visto, cuando se definen a partir de la luminosidad, presentan una extensión mucho mayor y crecen en términos absolutos y relativos a un ritmo notablemente más alto.

5. Por otra parte, se ha podido determinar que la relación entre la expansión de la luminosidad y la urbanización del suelo no es estrictamente lineal en todos los casos. Si para el conjunto de las capitales de provincia españolas la correlación entre ambas variables resulta en un coeficiente r^2 razonablemente elevado (0,74), la correlación se reduce de manera muy notable cuando se estudian ámbitos más extensos, como se ha podido demostrar con la investigación de los comportamientos de ambas variables en 20 grandes metrópolis europeas.

6. Asimismo, se ha establecido que existen destacadas diferencias en la expansión de la luminosidad entre las diversas ciudades y realidades metropolitanas españolas, tanto en términos de superficie absoluta, como por lo que se refiere a lo que podría denominarse la eficiencia de la luminosidad. En términos absolutos, las diferencias en la extensión y la expansión de la luminosidad pueden ser atribuidas a la diversidad tanto en el tamaño de las respectivas aglomeraciones, como en la morfología de los tejidos urbanos (compacta, dispersa, tentacular, lineal) y en los usos del territorio (movilidad, actividades periurbanas). Por otra parte, es posible obtener una primera aproximación a la eficiencia de estos desarrollos a través de la comparación de la expansión de la luminosidad con la evolución de la población. Este ejercicio muestra, de nuevo, la existencia de destacadas diferencias, de tal modo que la expansión de superficie con niveles de

luminosidad urbana por cada 1.000 nuevos habitantes en ámbitos metropolitanos como Valencia, Sevilla y Zaragoza dobla la de otros como Barcelona, Madrid o Málaga.

7. El estudio de la luminosidad urbana permite asimismo establecer una cierta tipología en el desarrollo morfológico de las principales áreas urbanas españolas. Así, la explosión *tentacular* de la metrópolis madrileña contrasta con el desarrollo más *compacto* y relativamente contenido del ámbito barcelonés. El mismo patrón de crecimiento por *expansión* se encuentra en otras grandes ciudades de la cornisa cantábrica (Santander, Bilbao, San Sebastián), de Andalucía (Sevilla, Granada) y el interior peninsular (Zaragoza, Valladolid). A estos patrones cabe añadir los crecimientos de carácter destacadamente *lineal* de las costas valencianas, murcianas y andaluzas, así como la formación de *archipiélagos* urbanos en los Galicia, Girona y los entornos de algunas ciudades andaluzas no litorales (Córdoba, Jaén). Finalmente, las capitales manchegas, extremeñas, castellano-leonesas (con la excepción de Valladolid) y aragonesas (excepto Zaragoza) presentan crecimientos mucho más modestos que, aun cuando pueden significar expansiones relevantes en cada una de las respectivas áreas urbanas, se mantienen hasta cierto punto como *islas* de intensidad urbana en entornos de luminosidad mucho menor. Fuera del alcance de la presente investigación han quedado los territorios que presentan una baja intensidad lumínica. Establecer una tipología de estas *áreas de oscuridad* (superficies forestales, suelos agrícolas, áreas protegidas, etc.) resultaría de gran interés y utilidad tanto para el análisis como para la gestión del territorio.

8. El contraste de la expansión de la luminosidad nocturna de las 48 áreas urbanas españolas con el de las mayores metrópolis europeas permite confirmar, asimismo, el acentuado desarrollo del proceso de urbanización en España a lo largo del período estudiado. Así, a grandes rasgos, el crecimiento del 133%

de la extensión de la luminosidad urbana en los entornos de las 48 capitales de provincia españolas estudiadas contrasta con el incremento de del 58% acontecido en 20 de las mayores metrópolis europeas. El contraste es aún más significativo si se tiene en cuenta que los términos de comparación no son exactamente los más adecuados, ya que las mayores áreas metropolitanas constituyen en principio los ámbitos de más alto dinamismo urbano. Las principales ciudades españolas parecen alinearse así con el comportamiento de las principales metrópolis meridionales de Europa, que tienden a expandir su luminosidad urbana en mayor proporción que las del norte continental. Barcelona, que como se ha dicho presenta una expansión lumínica relativamente modesta, sería en esto una notable excepción.

9. Desde el punto de vista metodológico, se ha podido constatar que las imágenes satelitales nocturnas ofrecen destacadas ventajas para el análisis urbano: el elevado nivel de detalle a partir de unidades territoriales mínimas de referencia de 750 por 750 metros, la cobertura de prácticamente todo el planeta habitado o la comparabilidad territorial y temporal que se deriva de la existencia de una serie anual de dos décadas son características difícilmente asequibles a partir de cualquier otra de las fuentes sobre usos o coberturas del suelo existentes en la actualidad. Pese a sus ventajas, el uso de la imagen satelital nocturna presenta algunas limitaciones importantes. Entre estas destacan la falta de información acerca de los procesos de sintetización de las imágenes, las dificultades acerca de la calibración de las mismas cuando proceden de diversos satélites y su escala relativamente reducida. Este conjunto de limitaciones hace que, pese a su interés, la fuente deba ser utilizada con toda prevención y rigor

10. Por lo que se refiere a su comparación con otras fuentes, la falta de correspondencia estricta entre luminosidad y artificialización del suelo, que podría ser considerada uno de los

principales inconvenientes para el uso de la imagen satelital nocturna, se revela como una de sus principales virtudes. El uso de esta fuente para el estudio del proceso de urbanización, permite no solo seguir la evolución de la expansión física de los tejidos urbanos, sino sobre todo la expansión de los usos urbanos del territorio. Así, las imágenes de luminosidad nocturna podrían resultar a la postre más explicativas del fenómeno urbano que aquellas fuentes que consideran únicamente la ocupación directa de suelo: permiten identificar la extensión y la intensidad cotidiana de los usos urbanos del territorio, tanto por lo que a las áreas cubiertas por las edificaciones y las infraestructuras se refiere, como a los espacios intersticiales que, condicionados por los usos y las cubiertas que los rodean, no pueden ser considerados ya otra cosa que parte integrante de las áreas urbanas.

11. Siguiendo en el ámbito metodológico, la utilización de la imagen satelital nocturna presenta otra ventaja. Mientras el estudio la artificialización del suelo permite solo clasificaciones de carácter binario (urbanizado/no urbanizado) o, en algunos casos, referentes al carácter del uso de los tejidos urbanos (residencial/industrial/comercial/etc.), la imagen lumínica permite aproximarse –con las limitaciones que son del caso– a la intensidad de los usos urbanos del territorio. Así, su gradación entre 0 y 63 hace posible discriminar entre intensidades de uso de forma escasamente parangonable al de ninguna otra fuente.

12. Finalmente, aunque no ha sido objeto específico de estudio en la presente investigación, los datos aportados permiten constatar que el estudio de la luminosidad urbana nocturna ofrece un campo fértil para la investigación acerca del uso de la energía, los recursos, la contaminación, la fragmentación de los espacios naturales y el proceso de cambio climático. En particular, parece especialmente recomendable como objeto de investigación inmediata el contraste de los resultados obtenidos en relación

a la extensión y a la intensidad de la luminosidad con otras variables: de las tipologías urbanas a la distribución espacial de la renta, de los espacios protegidos a los conectores ambientales, de las unidades del paisaje al estado de salud de la población.

Más allá de las conclusiones estrictas de la investigación, el estudio del proceso de urbanización a través de la luminosidad sugiere algunas reflexiones que, por sus implicaciones en las políticas públicas, los autores consideran necesario señalar.

La primera, y más evidente, se refiere al uso de la luz y de los recursos necesarios para su producción. Si se concibe la iluminación como un medio y en modo alguno como un fin en sí mismo, en un planeta que cuenta con recursos limitados y que experimenta un proceso de cambio climático, el ahorro de energía en la iluminación debería constituir una prioridad de primer orden. La expansión desmesurada e innecesaria de la superficie y la intensidad de los espacios iluminados comporta costes económicos elevados, tiene importantes repercusiones ambientales y supone riesgos para la salud de la población. Desde el punto de vista de las políticas públicas, parece pues en todo punto recomendable introducir las medidas adecuadas para reconducir este proceso de expansión acelerada de la luminosidad urbana. Avanzar en este sentido supondría una contribución tanto al ahorro de las finanzas públicas, como a la preservación de la biodiversidad, a la mitigación del proceso de cambio climático, al buen uso de los recursos energéticos y al bienestar de la población. Cabe recordar, asimismo, que mientras la artificialización del suelo constituye un proceso difícilmente reversible a corto y a medio plazo, la contención y reducción espacial de la luminosidad (y del consumo energético a ella destinado) parece una empresa que puede dar resultados positivos de forma inmediata.

La segunda reflexión se refiere al modelo de urbanización del territorio. La expansión de la luminosidad denota la tendencia de los usos urbanos a dispersarse sobre el espacio. Lo hacen, como hemos visto, en una proporción mucho más

elevada que la misma artificialización del suelo. Los datos aportados confirman así el avance hacia formas de asentamiento y usos del territorio dispersas y de baja densidad, crecientemente alejadas de la concentración y la compacidad que, de forma mayoritaria, había caracterizado hasta las últimas décadas los asentamientos urbanos en España. La expansión de la luminosidad viene de este modo a corroborar que hoy es posible gozar de condiciones de vida urbanas (y de los niveles de iluminación correspondientes) fuera de aquello que había sido considerado la forma urbana tradicional. Ahora bien, que esto sea posible no significa necesariamente que resulte deseable –por sus costes económicos, ambientales y sociales– para la sociedad en su conjunto. Por ello, parece recomendable contener la dispersión de la urbanización y promover –también por razones energéticas– asentamientos urbanos caracterizados por la compacidad física, la complejidad funcional y la cohesión social.

La observación de la imagen nocturna de la Tierra permite constatar la potencia que ha alcanzado el proceso de urbanización en los países ibéricos. Muestra las concentraciones, las conexiones, las líneas de fuerza y los aparentes vacíos. Conduce al asombro al evidenciar nuestra capacidad de generar transformaciones espaciales tan perceptibles incluso desde el espacio e induce a la reflexión acerca de las tensiones sociales y las problemáticas ambientales que bajo estas transformaciones subyacen. En todo caso, las imágenes nocturnas de la Tierra confirman plenamente que el proceso de urbanización, con sus oportunidades y sus amenazas, constituye hoy uno de los principales vectores de cambio en nuestras sociedades. Que las primeras prevalgan sobre las segundas depende, en buena medida, de nuestra capacidad de gobernar las transformaciones en beneficio de las generaciones presentes y futuras.

GLOSARIO

Con el objetivo de facilitar la comprensión del texto se ofrece un conciso sumario de los términos técnicos más utilizados relacionados con la temática analizada.

Al remitir algunos de estos términos a conceptos incluidos en la definición de otros, no se han ordenado alfabéticamente sino a partir de un criterio secuencial que permite avanzar cómodamente en la complejidad de las definiciones.

Imagen satelital nocturna: Productos de teledetección obtenidos por sensores satelitales que permiten conocer el nivel de luminosidad de un ámbito determinado en función del tamaño del píxel. En el presente trabajo las imágenes satelitales utilizadas proceden de la National Geographic Data Center (NGDC) de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) de los Estados Unidos de América.

Píxeles de luz: Punto mínimo de luz que forma parte de una imagen. En el caso de las imágenes satelitales de la tierra utilizadas en el presente trabajo, los píxeles corresponden a extensiones de 30 segundos de arco terrestre de lado, lo que equivale a ámbitos de entre 750 y 1.000 metros de lado, dependiendo de la latitud.

Luminosidad: Valor de la luz emitida por un ámbito y recogida en cada uno de los píxeles. En el caso de los datos utilizados en este trabajo, la luminosidad se valora en una escala que va desde 0 hasta 63, correspondiendo el primer valor a la oscuridad absoluta y el segundo a la máxima luminosidad.

Áreas luminiscentes: Área que emite un determinado nivel de luminosidad. En el estudio se utilizan los términos *extensión* para referirse a las superficies de las áreas luminiscentes en cada año y *expansión* para denotar la evolución de dicha superficie en el tiempo.

Luminosidad media ponderada: Nivel de luminosidad de un área determinada, teniendo en cuenta los diferentes niveles de valores que comprende. Así, en el caso de un ámbito de 50 kilómetros de radio alrededor de una capital, la luminosidad media ponderada equivaldría a la suma de los productos de todos los píxeles que lo componen multiplicados por su superficie dividida por el total de la superficie del ámbito. En este cálculo cabe tener en cuenta que los píxeles (rectangulares) más externos son “recortados” para adaptarlos a la forma circular del ámbito. Igualmente, en los ámbitos fronterizos o litorales, los píxeles se han recortado en función de la línea administrativa o de costa correspondiente.

Luminosidad urbana: Nivel de luminosidad con intensidad igual o superior a 53, en una escala que va de 0 (máxima oscuridad) a 63 (máxima luminosidad). A partir de este umbral se delimitan las “áreas de luminosidad urbana” uniendo todos los píxeles de luz que cubren un determinado territorio.

Suelo artificializado: Suelo que, con independencia de su régimen jurídico, ha sido transformado físicamente a partir de la construcción de edificaciones e infraestructuras.

Áreas con usos urbanos: Suelo sobre el que, con independencia de su régimen jurídico, sus cubiertas, se desarrollan habitualmente actividades urbanas. Comprende el suelo artificializado así como otros espacios no transformados físicamente mediante construcciones pero que forman parte del entorno

urbano, como por ejemplo parques, playas urbanas o espacios intersticiales. En el presente estudio los usos urbanos se asocian a las áreas que emiten niveles de luminosidad de 53 o superiores.

Cubiertas urbanas: Suelo asociado a usos urbanos. Pueden comprender tanto suelo artificializado por las edificaciones y las infraestructuras como espacios verdes, litoral urbano, suelos en proceso de transformación para la urbanización, espacios intersticiales, actividades periurbanas y otros usos urbanos.

Eficiencia lumínica: Relación de la expansión y la intensidad de la luminosidad emitida en un área en relación al desarrollo de otras variables (crecimiento de población, superficie de las cubiertas urbanas, etc.).

BIBLIOGRAFÍA

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

MARTÍN, Jordi (2016): "Observing changes in urban form through night satellite images in Buenos Aires and Lima", en NEL·LO, Oriol & MELE, Renata, eds.: *Cities in the 21st century*. New York: Routledge.

NEL·LO, Oriol, Joan LÓPEZ & Jordi MARTÍN (2016): *City lights. The urbanisation process in Spain as shown by night-time images of the Earth (1992-2012)*, in International Geographical Union, Spanish Committee, *Crisis, Globalization and Social and Regional Imbalances*, Spanish Contribution to the UGI Congress, Beijing.

NEL·LO, Oriol (2016): "El cielo sobre Madrid", en ROMERO, Joan (ed.): *Geografía de España*. Valencia: Tirant lo Blanch.

NEL·LO, Oriol, Joan LÓPEZ, Jordi MARTÍN & Joan CHECA (2017): "Energy and urban form. The growth of European cities on the basis of night-time brightness", *Land Use Policy*, 61 (2017).

NEL·LO, Oriol, Joan LÓPEZ & Jordi MARTÍN (2017): "Environment, energy and land uses in Spain. Studying the urbanization process through night-time images of the Earth", in MUÑOZ, Francesc & Francesco MUSCO, *Redefining urban resilience: towards climate-proof cities*, Milan: FrancoAngeli [forthcoming].

REFERENCIAS CITADAS

AGUADO, María Dolores (ed.) (2013): *Áreas urbanas +50. Información estadística de las Grandes Áreas urbanas españolas*. Madrid: Ministerio de Fomento.

ALBERTOS, Juan Miguel & José Luis SÁNCHEZ (coords.) (2014): *Geografía de la crisis económica*

en *España*. Valencia: Publicaciones de la Universidad de Valencia.

AMARAL, S; A. M. V. MONTEIRO, G. CAMARA & J. A. QUINTANILHA (2006): "DMSP/OLS night-time light imagery for urban population estimates in the Brazilian Amazon", *International Journal of Remote Sensing*, Volume 27, Issue 5, 2006.

BURGUEÑO, Jesús (1996): *Geografía política de la España constitucional. La división provincial*. Madrid: Centro de Estudios Constitucionales.

BUSQUETS, Joan (1992): *Barcelona: evolución urbanística de una capital compacta*, Madrid, MAPFRE.

BURNS, Malcolm C. & Yraida ROMANO (2012): "La medición y previsión del consumo de suelo en las Costas Ibéricas", *ACE. Arquitectura, Ciudad y Entorno*, 20.

BURRIEL, Eugenio L (2008): "La 'década prodigiosa' del urbanismo español (1997-2006)". *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*. Barcelona: Universidad de Barcelona, 1 de agosto de 2008, XII, 270 (64).

CARRERO DE ROA, Manuel (2011): "La sostenibilidad del crecimiento residencial en baja densidad. El caso del Área Central de Asturias". Tesis doctoral. Universidad de Oviedo.

CARRERO de ROA, Manuel (2013): "Ciudad Astur, una singularidad metropolitana". *Ciudad y Territorio - Estudios Territoriales*, XLV, 176.

CENTRE DE RECERCA ECOLÒGICA I APLICACIONS FORESTALS (CREAF) (2009): *Mapa de cobertes del sòl de Catalunya, 4ª edició*. <http://www.creaf.uab.es/mcsc/>

CHEN, Xi & William D. NORDHAUS (2010): "The value of luminosity data as a proxy for economic statistics", *NBER Working paper series*, Working Paper 16317.

CHOWDHURY, Pranab Kanti Roy, Sandeep MAITHANI & Vinay Kumar DADHWAL (2011): "Estimation of urban population in Indo-Gangetic

- Plains using night-time OLS data”, *International Journal of Remote Sensing*, XXXIII, 8, 2012.
- DE MIGUEL, Rafa & José M. EZQUIAGA (2011): “La gestió de la baixa densitat a Espanya des del planejament territorial”, in MUÑOZ, Francesc, ed.: *Estrategias para la ciudad de baja densidad: de la contención a la gestión*. Barcelona: Diputació de Barcelona.
- DÍEZ NICOLÁS, Juan (1972); *Especialización funcional y dominación en la España urbana*, Madrid, Fundación Juan March.
- ELVIDGE, C. D; K. E. BAUGH, S. J. ANDERSON, P. C. SUTTON & T. GHOSH (2012): “The Night Light Development Index (NLDI): a spatially explicit measure of human development from satellite data”, *Social Geography*, 7.
- ELVIDGE, Christopher D., Feng-Chi HSU, Kimberly E. BAUGH & Tilottama GHOSH (2014): “National Trends in Satellite Observed Lighting: 1992-2012”, in Qihao WENG (ed.): *Global Urban Monitoring and Assessment through Earth Observation*. CRC Press.
- FERIA, José María (2011): “La ordenación del territorio en las áreas metropolitanas españolas”, en José Manuel Jurado Almonte, coord., *Ordenación del Territorio y Urbanismo: conflictos y oportunidades*, Sevilla, Universidad Internacional de Andalucía.
- FERIA, José María & Luís MARTÍNEZ (2016): “La definición y delimitación del sistema metropolitano español: permanencias y cambios entre 2001 y 2011”, *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*, XLVIII, 187.
- FONT, Antonio, Carles LLOP & Josep Maria VILANOVA (1999); *La construcció del territori metropolità. Morfogènesi de la regió urbana de Barcelona*, Barcelona, Mancomunitat de Municipis de l’Àrea Metropolitana de Barcelona.
- FONT, Antonio, Francesco INDOVINA & Nuno PORTAS (2011): *La explosión de la Ciudad. Transformaciones territoriales en las regiones urbanas de la Europa Meridional*, Barcelona: Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación.
- FOUQUET, Roger & Peter PEARSON (2006): “Seven Centuries of Energy Services: The Price and Use of Light in the United Kingdom (1300-2000)”, *The Energy Journal*, 27, I.
- GAMBI, Lucio (1990): “Ragionando di confine della città”, in PABA, Giancarlo (ed.): *La città e il limite*, Firenze: La Casa Usher, 1990.
- GÁRATE, M. Montserrat (2010): “La cornisa cantábrica. ¿convergencia de modelos en el largo plazo?”, *Historia Contemporánea*, 42.
- GARCÍA BELLIDO, Antonio, Leopoldo TORRES BARBAS, Luís CERVERA, Fernando CHUECA GOITIA & Pedro BIDAGOR (1987): *Resumen histórico del urbanismo en España*. Madrid: Instituto de Estudios de Administración Local.
- GOERLICH, Francisco J & Isidro CANTARINO (2013): *Zonas de morfología urbana. Coberturas de suelo y demografía*. Bilbao: Fundación BBVA.
- HARVEY, David (1996): “Cities or Urbanization?”, in *City. Critical analysis of urban trends, culture, theory, policy, action*. 1-2.
- HENDERSON, M., E. T. YEH, P. GONG, C. D. ELVIDGE & K. BAUGH (2003): “Validation of urban boundaries derived from global night-time satellite imagery”, *International Journal of Remote Sensing*, XXIV, 3.
- HERCE, Manuel (2013): *El negocio del territorio. Evolución y perspectivas de la ciudad moderna*. Madrid: Alianza Editorial.
- INDOVINA, Francesco (coord.) (2007): *La ciudad de baja densidad. Lógicas, gestión y contención*. Barcelona: Diputació de Barcelona.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL: *Atlas Nacional de España*, “Población, coordenadas y altura de las capitales de provincia”. <https://www.ign.es/ign/layout/ignane.do>
- LI, Xi & Deren LI (2014): “Can night-time light images play a role in evaluating the Syrian Crisis?”,

International Journal of Remote Sensing, XXXV, 18.

LI, Xi; Rui ZHANG, Chengquan HUANG & Deren LI (2015): “Detecting 2014 Northern Iraq Insurgency using night-time light imagery”, *International Journal of Remote Sensing*, XXXVI, 13.

LIU, Lu & Yee LEUNG (2015): “A study of urban expansion of prefectural-level cities in South China using night-time light images”, *International Journal of Remote Sensing*, XXXVI, 22.

LOIS, Rubén & Daniel PINO, cords. (2015): *A Galicia urbana*, Vigo, Edicions Xerais.

LÓPEZ, Joan (2016): “The city in the net: infrastructural networks, economic development and urban form”, in Oriol NEL·LO & Renata MELE, eds.: *Cities in the 21st Century*. London – New York. Routledge.

LÓPEZ TRIGAL, Lorenzo (2014): “Identificación y caracterización estratégica de las ciudades y aglomeraciones medias ibéricas”, *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*, XLVI, 182.

MAGRINYÀ, Francesc & Manuel HERCE (2007): “Los costes ambientales de la ciudad de baja densidad”, in INDOVINA, Francesco, eds.: *La ciudad de baja densidad. Lógicas, gestión y contención*. Barcelona: Diputació de Barcelona

MÉNDEZ, Ricardo, Luis ABAD, & Carlos ECHAVES (2015): *Atlas de la crisis. Impactos socioeconómicos y territorios vulnerables en España*. Valencia, Tirant lo Blanch.

MESTRE, Margalida (2013): “La delimitació de l'àrea urbana de Palma. Una reconsideració a partir de l'aplicació del criteri NUREC”, *Treballs de la Societat Catalana de Geografia*, 76.

MIN, Brian, Kwawu Mensan GABA, Ousmane Fall SARR & Alassane AGALASSOU (2013): “Detection of rural electrification in Africa using DMSP-OLS night lights imagery”, *International Journal of Remote Sensing*, XXXIV, 22.

MUÑIZ, Iván, Daniel CALATAYUD & Miguel Ángel GARCÍA (2007): “SPRAWL. Causas y efectos de la dispersión urbana”, en Francesco INDOVINA (coord.) (2007): *La ciudad de baja densidad. Lógicas, gestión y contención*. Barcelona: Diputació de Barcelona.

MUÑOZ, Francesc (2007): “La producción residencial de baja densidad en la provincia de Barcelona (1985-2001)”, en Francesco INDOVINA, ed., *La ciudad de baja intensidad. Lógicas, gestión y contención*, Barcelona, Diputació de Barcelona.

MUÑOZ, Francesc (ed). (2011): *Estrategias para la ciudad de baja densidad: de la contención a la gestión*. Barcelona: Diputació de Barcelona.

MUR, Sara & Joaquim CLUSA (2011): “El balanç fiscal municipal insostenible de la ciutat de baixa densitat”, in MUÑOZ, Francesc, ed.: *Estrategias para la ciudad de baja densidad: de la contención a la gestión*. Barcelona: Diputació de Barcelona.

MUXÍ, Zaida (2013): *Postsuburbia. Rehabilitación de urbanizaciones residenciales monofuncionales de baja densidad*, Barcelona, Comanegra.

NAREDO, José Manuel & José FRÍAS (2007): “El metabolismo económico de la conurbación madrileña (1984-2001)”, en Francesco INDOVINA, *La ciudad de baja intensidad. Lógicas, gestión y contención*, Barcelona, Diputació de Barcelona.

NAREDO, José Manuel & Ricardo GARCÍA (coords.) (2008): *Estudio para la ocupación de suelo por usos urbano-industriales, aplicado a la Comunidad de Madrid*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid y Ministerio de Medio Ambiente.

NEL·LO, Oriol (1997): “Las grandes ciudades españolas: dinámicas urbanas e incidencia de las políticas estatales”. *Papers. Regió metropolitana de Barcelona*, 27.

- NEL·LO, Oriol (1998): "Los confines de la ciudad sin confines. Estructura urbana y límites administrativos en la ciudad difusa", in, Francisco Javier MONCLÚS (ed.): *La ciudad dispersa. Suburbanización y nuevas periferias*. Barcelona: Centre de Cultura Contemporània de Barcelona.
- NEL·LO, Oriol (2001): *Ciutats de ciutats. Reflexions sobre el procés d'urbanització a Catalunya*, Barcelona, Empúries.
- NEL·LO, Oriol (2004): "¿Cambio de siglo, cambio de ciclo? Las grandes ciudades españolas en el umbral del siglo XXI". *Ciudad y territorio. Estudios territoriales*, XXXVI, 141-142.
- NEL·LO, Oriol (2011): "Estrategias para la contención y gestión de las urbanizaciones de baja densidad en Cataluña", *Ciudad y territorio. Estudios territoriales*, XLIII, 167.
- NEL·LO, Oriol (2016): "El proceso de urbanización", en ROMERO, Joan (ed.): *Geografía de España*. Valencia: Tirant lo Blanch.
- NEL·LO, Oriol (2016b): "The irresistible rise of urbanization", in Oriol NEL·LO & Renata MELE, eds.: *Cities in the 21st Century*. London – New York. Routledge.
- OBSERVATORIO DE LA SOSTENIBILIDAD (2016): "Urb16. 25 años urbanizando España". http://www.observatoriosostenibilidad.com/documentos/URB16_v08.pdf
- PERPIÑÁ GRAU, Romà (1954): *Corología: teoría estructural y estructurante de la población de España, 1900/1950*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Instituto de Economía "Sancho de Moncada".
- PINKOVSKIY, Maxim & Xavier SALA-i-MARTIN (2014): "Lights, camera... income!: Estimating poverty using national accounts, survey means, and lights". <http://www.voxeu.org/article/gdp-measurement-accounts-surveys-and-lights>
- PIPIA, Luca, Ramon ALAMÚS, Anna TARDÀ, Fernando PÉREZ, Vicenç PALÀ & Jordi CORBERA (2014): "A methodology for luminance map retrieval using airborne hyperspectral and photogrammetric data", *SPIE Proceedings*, Volume 9245.
- PONS, Antoni (2016): *Turisme, illeïtat i urbanització a les Illes Balears (1950-2006)*. Tesis doctoral. Universitat de les Illes Balears.
- POTERE, David, Annemarie SCHNEIDER, Shlomo ANGEL & Daniel L. CIVCO (2009): "Mapping urban areas on a global scale: which of the eight maps now available is more accurate?", *International Journal of Remote Sensing*, XXX, 24.
- PRECEDO, Andrés (1988); *La red urbana*, Madrid, Síntesis.
- PRIETO, Fernando, Mónica CAMPILLO & José Manuel DÍAZ (2011): "Tendencias recientes de evolución del territorio en España (1987-2005): causas y efectos sobre la sostenibilidad", *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*. XLIII, 168.
- RACIONERO, Luis (1986): *Sistemas de ciudades y ordenación del territorio*. Madrid: Alianza.
- REHER, David S (1994): "Ciudades, procesos de urbanización y sistemas urbanos en la Península Ibérica", en *Atlas Histórico de las ciudades europeas. I. Península Ibérica*, Centre de Cultura Contemporània de Barcelona: Ed. Salvat.
- RODRÍGUEZ, Fermín, Rafael MENÉNDEZ & Jacobo BLANCO (2009): *El área metropolitana de Asturias. Ciudad astur: el nacimiento de una estrella urbana en Europa*. Gijón: Trea.
- ROMANO, Yraida (2011): *Aglomeraciones morfológicas. Madrid - Barcelona - Roma - Milán - Nápoles - Amsterdam - Rotterdam - París - Barcelona*: Centre de Política de Sòl i Valoracions.
- ROMANO, Yraida & Josep ROCA (2010): "La delimitación del suelo urbanizado: el caso de la costa alicantina, España", *ACE. Arquitectura, Ciudad y Entorno*, 12.
- ROMERO, Joan et al. (2001): *La periferia emergente: la Comunidad Valenciana en la Europa de las regiones*, Barcelona, Ariel.

- RULLÁN, ONOFRE (2011): “La regulación del crecimiento urbanístico en el litoral mediterráneo”, *Ciudad y territorio. Estudios territoriales*, XLIII, 168.
- SÁNCHEZ, Alejandro, Jaime ZAMORANO, José GÓMEZ & Sergio PASCUAL (2014): “Evolution of the energy consumed by street lighting in Spain estimated with DMSP-OLS data”. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer* 139.
- SOLÍS, Eloy (2011): *Del área metropolitana hacia la región urbana policéntrica madrileña: cambio de escala, estructura y articulación territorial*, Tesis doctoral: Universidad Complutense de Madrid,
- SUTTON, Paul C. & Christopher D. ELVIDGE (2015): “Night Lights: An Indicator of the Good Life?”, in Josiane MEIER et al. (ed.): *Urban Lighting, Light Pollution and Society*. New York and London: Routledge.
- SUTTON, Paul C., Christopher D. ELVIDGE & Tilottama GHOSH (2007): “Estimation of Gross Domestic Product at Sub-National Scales using Nighttime Satellite Imagery”, *International Journal of Ecological Economics & Statistics* (IJEES), Summer 2007, Vol. 8, No. S07; Int. J. Ecol. Econ. Stat.; 5-21.
- TERÁN, Fernando (1999): *Historia del urbanismo en España. Siglos XIX y XX*, Madrid, Cátedra.
- TOWNSEND, Alexander C. & David A. BRUCE (2009): “The use of night-time lights satellite imagery as a measure of Australia's regional electricity consumption and population distribution”, *International Journal of Remote Sensing*, XXXI, 16.
- VILÀ VALENTÍ, Joan & Horacio CAPEL (1970): *Campo y ciudad en la geografía española*. Barcelona: Salvat.
- ZORNOZA, Carmen (2013): *Crecimiento urbanístico en la zona costera de la Comunidad Valenciana (1987-2009). Análisis y perspectivas de futuro*. Valencia: Universitat de València.
- ZUBERO, Luís Germán (2010): “El Eje del Ebro, protagonista del polarizado crecimiento económico moderno del valle medio del Ebro”, *Historia contemporánea*, 42.

WEBSITES

INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL
<http://www.ign.es>

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA
<http://www.ine.es>

WORLD GEODATASETS
<http://www.worldgeodatasets.com/basemaps>

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA)
http://ngdc.noaa.gov/eog/dmsp/downloadV4compo_sites.html

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY
<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/urban-morphological-zones-2006>

EUROPEAN COMISSION. JOINT RESEARCH CENTRE
<https://ec.europa.eu/jrc/en/scientific-tool/global-human-settlement-layer?search>

CENTRE DE RECERCA ECOLÒGICA I APLICACIONS FORESTALS (CREAF)
<http://www.creaf.uab.es/mcsc/>

ABSTRACT

The objective of the research is to study the process of urbanization in Spain in the period 1992-2012 through the use of night-time satellite images, using as the main source the series of images provided by the National Oceanic and Atmospheric Administration of the United States of America. The study shows that in 2012 the area of urban brightness around the 48 main Spanish cities located on the Iberian Peninsula and the Balearic Islands covered 16,098 km². This area represents a territorial span 2.4 times greater than that of urban land and expands at a much higher rate than such land (133% compared to 39%, respectively, in the period studied). The regions with the highest intensity and surface area of urban brightness are found on the Mediterranean coast of the Iberian Peninsula and in the agglomeration of Madrid, and they present a wide variety of different patterns and morphologies. The application of the same research methodology to 20 European metropolises shows that the expansion rate of urban brightness in the main Spanish cities tends to be much higher than the average. From the methodological point of view, the research reveals that, despite some significant limitations and drawbacks, the night-time satellite image is an instrument of considerable interest for studying the urbanization process. Its main virtue is precisely that it permits an approach to the study of urban land uses which combines urban morphology and intensity of use. Finally, it should be noted that the implications of the research could be relevant to public policies, especially as regards the use of energy resources and spatial planning.

RESUMEN

La investigación tiene por objeto el estudio del proceso de urbanización en España en el período 1992-2012 a través de la utilización de imágenes satelitales nocturnas, utilizando como fuente principal las series de imágenes provistas por la National Oceanic and Atmospheric Administation de los Estados Unidos de América. El estudio permite constatar que el año 2012 la luminosidad urbana alrededor de las 48 principales ciudades españolas situadas en la península y las Islas Baleares cubre una superficie de 16.098 km². Esta superficie representa un ámbito territorial 2,4 veces superior al del suelo ocupado por cubiertas urbanas y se expande a un ritmo muy superior al de éstas (133% frente al 39% respectivamente en el período estudiado). Las áreas de mayor intensidad y superficie de luminosidad se encuentran en la costa mediterránea peninsular y en la aglomeración madrileña, y permiten distinguir la existencia de diversos comportamientos y morfologías entre las diferentes ciudades. La aplicación de la misma metodología de estudio a 20 metrópolis europeas lleva a constatar asimismo que el ritmo de expansión de la luminosidad en los entornos de las grandes ciudades españolas tiende a ser muy superior a la media de las mayores ciudades europeas. Desde el punto de vista metodológico la investigación indica que, pese a presentar algunas importantes limitaciones e inconvenientes, el uso de la imagen satelital nocturna resulta un instrumento de notable interés para el estudio del proceso de urbanización. Su principal virtud consiste precisamente en permitir una aproximación al estudio de los usos urbanos del suelo en la que se combinan la morfología urbana y la intensidad de los usos. Finalmente, cabe hacer notar que de las conclusiones de la investigación pueden derivarse relevantes implicaciones para las políticas públicas, en especial por lo que a uso de los recursos energéticos y a la ordenación del territorio se refiere.

RESUM

La investigació té per objecte l'estudi del procés d'urbanització a Espanya en el període 1992-2012 a través de la utilització d'imatges satel·litàries nocturnes, tot partint com a font principal les sèries d'imatges proveïdes per la National Oceanic and Atmospheric Administration dels Estats Units d' Amèrica. L'estudi permet constatar que l'any 2012 la lluminositat urbana al voltant de les 48 principals ciutats espanyoles situades a la península i les Illes Balearsobreix una superfície de 16.098 km². Aquesta superfície representa un àmbit territorial 2,4 vegades superior al del sòl ocupat per cobertes urbanes i s'expandeix a un ritme molt superior al d'aquestes (133% davant del 39% respectivament en el període estudiat). Les àrees de major intensitat i superfície de lluminositat es troben a la costa mediterrània peninsular i a l'aglomeració madrilenya, i s'hi poden distingir de diversos comportaments i morfologies entre les diferents ciutats. L'aplicació de la mateixa metodologia d'estudi a 20 metròpolis europees porta a constatar així mateix que el ritme d'expansió de la lluminositat en els entorns de les grans ciutats espanyoles tendeix a ser molt superior a la mitjana de les majors ciutats europees. Des del punt de vista metodològic la investigació indica que, tot i presentar algunes importants limitacions i inconvenients, l'ús de la imatge satel·litària nocturna resulta un instrument de notable interès per l'estudi del procés d'urbanització. La seva principal virtut consisteix precisament en permetre una aproximació a l'estudi dels usos urbans del sòl en què es combinen la morfologia urbana i la intensitat dels usos. Finalment, cal fer notar que de les conclusions de la investigació es poden derivar rellevants implicacions per a les polítiques públiques, especialment pel que fa a ús dels recursos energètics i a l'ordenació del territori.

Este volumen que contiene
las conclusiones de la investigación
La Luz de la Ciudad
acabó de imprimirse en Barcelona
el día 27 de Diciembre del año
2016

En las últimas décadas el proceso de urbanización en España ha conocido transformaciones decisivas y aceleradas. Sus rasgos principales han sido el crecimiento de los asentamientos, la integración del territorio y la generalización de las formas de vida urbanas. De este proceso se han derivado algunas ventajas importantes, pero también destacadas tensiones sociales y problemas ambientales que resulta necesario conocer y gestionar.

La investigación *La luz de la ciudad* constituye una aportación al conocimiento y la necesaria gestión de las dinámicas urbanas. Para ello analiza las transformaciones acaecidas a través de una metodología novedosa: el análisis de las imágenes satelitales nocturnas de la tierra. Estas permiten constatar como la extensión y la intensidad de la luminosidad emitida por las principales áreas urbanas españolas se ha incrementado de forma muy destacada en los últimos años, superando incluso las magnitudes ya conocidas en relación a la artificialización del suelo. Asimismo, el estudio ofrece una tipología de la evolución de las principales ciudades españolas y una comparación con las transformaciones de 20 metrópolis europeas.

Los autores del estudio –Oriol Nel·lo, Joan López, Jordi Martín y Joan Checa- son geógrafos y miembros del Grup d'Estudis sobre Energia, Territori i Societat (GURB), del Departamento de Geografía de la Universitat Autònoma de Barcelona (SGR 473, reconocido por la Generalitat de Catalunya). Las investigaciones del grupo, fundado el año 2014, versan fundamentalmente sobre la relación entre las dinámicas territoriales, las transformaciones sociales y uso de la energía.