

ENERGÍA Y PROCESO DE URBANIZACIÓN EN ESPAÑA. NUEVAS PERSPECTIVAS DE INVESTIGACIÓN A PARTIR DE LA IMAGEN SATELITAL NOCTURNA DE LA TIERRA

Joan Checa

Aina Gomà

Joan López

Jordi Martín

Oriol Nel·lo

Grup de Recerca sobre Energia, Territori i Societat de la Universitat Autònoma de Barcelona

Habitualmente, la relación entre el proceso de urbanización y electrificación ha sido estudiado desde dos perspectivas: por una parte, se ha analizado la forma como el desarrollo de las tecnologías y las redes energéticas habrían contribuido a la urbanización del territorio; por otra, se han investigado las relaciones que los centros urbanos han establecido con los espacios donde se genera o a través de los cuales se transporta la electricidad. La presente aportación propone otra aproximación: el estudio de una de las principales expresiones del usos de energía, la iluminación artificial, como instrumento para el análisis de los usos del suelo y, en particular, de aquellos que puedan considerarse usos urbanos del territorio (residencia, industria, servicios, infraestructuras, sistemas generales y locales, etc.).

Para ello, resulta de particular utilidad una fuente relativamente novedosa que está generando en los últimos años una nutrida serie de estudios e investigaciones: la imagen satelital nocturna de la Tierra. Así, el presente trabajo presenta, en primer lugar, los objetivos, metodología y resultados de la investigación llevada a cabo por el *Grup d'Estudis sobre Energia, Territori i Societat* de la UAB, para analizar el proceso de urbanización en España entre 1992 y 2012 a partir de las Imágenes Satelitales de la NOAA estadounidense^{1,2}. En segundo lugar, se expondrán las potencialidades que ofrecen los más

¹ Se trata de la investigación *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)* desarrollada ente 2014 y 2016 por el Grupo de investigación sobre *Energia, Territori i Societat* del Departamento de Geografía de la Universitat Autònoma de Barcelona, bajo la dirección del Dr. Oriol Nel·lo Colom, en el marco del programa Retos del Ministerio de Economía y Competitividad.

² El trabajo se basa en el empleo de las imágenes satelitales de la National Oceanic and Atmospheric Administration, <http://www.noaa.gov/>.

recientes avances tecnológicos y fuentes en este campo, posibilidades que el grupo de investigación está estudiando en el marco de un nuevo proyecto competitivo³.

El proceso de urbanización en España a través de les imágenes nocturnas de la Tierra

En la década final del s.XX y en la primera del XXI el proceso de urbanización ha conocido en España algunas de las transformaciones más profundas y radicales de su historia. Los cambios en los usos del suelo que estas transformaciones han comportado han sido estudiadas desde diversas perspectivas, en las que destacan los análisis basados en la imagen satelital diurna, en particular las basadas en las imágenes Corine Land Cover⁴.

En los últimos años se ha podido contar con una nueva fuente: las series anuales de imágenes satelitales nocturnas de la Tierra procedentes del National Geographical Data Centre (NGDC) de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) de los Estados Unidos de América. El estudio *La luz de la ciudad* ha consistido precisamente en medir y analizar la extensión del proceso de urbanización de las principales urbes españolas a partir de la luminosidad nocturna durante el periodo 1992-2012. Veamos con algún detalle cuales han sido las características y los resultados obtenidos en esta investigación⁵.

Fuentes de datos

Las imágenes NOAA forman parte de los productos de teledetección 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. El Earth Observation Group (EOG) produce y pone a disposición imágenes satelitales cuyos píxeles contienen valores relativos a la iluminación nocturna de la superficie de la Tierra. Los archivos, georeferenciados, están compuestos por bandas de información raster, con una resolución de píxel de 30 segundos de arco, es decir, entre 750 x 750 metros y 1.000 x 1.000 metros dependiendo de la latitud. Las imágenes utilizadas comprenden la práctica totalidad del orbe habitado y presentan una cobertura temporal de 1992 a 2013. 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 cada uno de los ámbitos representados, la fuente permite distinguir diferentes grados de intensidad lumínica. Estos valores oscilan desde 0 a 63, siendo 0 el valor de oscuridad absoluta y 63 el de luminosidad máxima. El tratamiento a que han sido sometidas el

³ *In lumine Sapientia. El procés d'urbanització als Països Catalans a la llum de la imatge satel·litària nocturna de la terra*. Proyecto que el GURB ha iniciado el año 2017 con la financiación del Institut d'Estudis Catalans.

⁴ Véanse en este sentido las aportaciones de Carrero de Roa, 2011; Carrero de Roa, 2013; Fera, 2011; Fera & Martínez, 2016; Font, Llop & Vilanova, 1999; Font, Indovina & Portas, 2011; Prieto, Campillo & Díaz, 2011; Zornoza, 2013.

⁵ Para un mayor detalle acerca de los resultados de dicha investigación puede verse, en primer lugar, la monografía de Nel·lo, López, Martín & Checa. *La luz de la ciudad. El proceso de urbanización en España a partir de las imágenes nocturnas de la Tierra*. Bellaterra: Grup d'Estudis sobre Energia, Territori i Societat, Universitat Autònoma de Barcelona, 2016 (98 p.). Para una ampliación de la misma metodología a veinte metrópolis europeas, véase Nel·lo, López, Martín & Checa. Energy and urban form. The growth of European cities on the basis of night-time brightness. *Land Use Policy*, 2017, nº 61, p. 103-112.

conjunto de imágenes satélite por parte de la NOAA hace que se excluyan incidencias relativamente efímeras como incendios forestales, pero se incluyen otras casuísticas alejadas del objeto de la investigación como por ejemplo zonas de quema de gas.

Se trata de una fuente de información cuyo desarrollo tecnológico futuro puede proporcionar nuevos y relevantes avances en el conocimiento de las dinámicas espaciales. Sin embargo, las características de las imágenes satelitales nocturnas obligan a prestar particular atención a las cuestiones metodológicas. Por este motivo, más allá del estudio del proceso de urbanización, la investigación ha tenido también por objetivo analizar las potencialidades y las limitaciones del uso de la fuente. En cualquier caso, y a pesar de las posibles limitaciones, esta, como se verá, presenta para el estudio de las dinámicas urbanas una serie de ventajas respecto a otras fuentes.

Ámbito territorial del estudio y tratamiento previo de las imágenes

Una aproximación plausible al estudio de la expansión de los usos urbanos del territorio consiste en partir de los centros sobre los que se articula la red urbana. Esta investigación ha seguido esta estrategia y para analizar la extensión de los usos urbanos del suelo a lo largo de las últimas dos décadas en el territorio peninsular español se ha partido de las capitales de provincia peninsulares y Palma de Mallorca⁶. Se han seleccionado pues, los cuarenta y ocho centroides de las capitales provinciales a partir de las coordenadas del *Atlas Nacional de España*⁷ y alrededor de cada uno de dichos centroides se ha delimitado un ámbito de 50 kilómetros de radio (Figura 1).

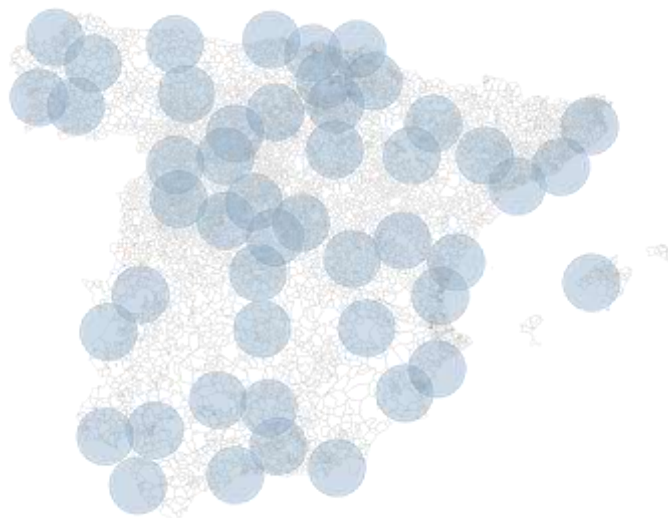


Figura 1. Radio de 50 km alrededor de las 48 capitales seccionadas.

Fuente: Elaboración propia.

Este método permite cubrir la práctica totalidad de las zonas más habitadas del Estado, ya que como es bien sabido, una de las características de la división provincial consiste,

⁶ Se han obviado, por razón de sus especificidades, las capitales canarias, Ceuta y Melilla.

⁷ 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/anetabladosdatos poblacion poblacion.do?tipoBusqueda=capitales>> Para facilitar la integración de esta información con el resto de datos utilizados, los pares de coordenadas se han utilizado en un sistema de referencia ETRS89 en una proyección acorde UTM en su huso 30 norte.

precisamente, en dotar el territorio del Estado de una malla administrativa relativamente homogénea. De esta forma, pese a que algunas ciudades medias pueden haber quedado fuera del ámbito de análisis, las mayores ciudades y todas las aglomeraciones y conurbaciones españolas quedan incluidas en alguno de los anillos así definidos.

Delimitando el ámbito de estudio, para la observación y tratamiento de las imágenes nocturnas se han seguido los pasos siguientes:

- a) En primer lugar, en el espacio de descargas del NOAA⁸ se ha procedido a la obtención de las imágenes. Para simplificar el estudio, las imágenes han sido analizadas con intervalos temporales de cinco años: 1992, 1997, 2002, 2007 y 2012.
- b) En segundo lugar, se ha procedido a la extracción (recorte) de las imágenes correspondientes al ámbito de estudio.
- c) En tercer y último 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 estadísticas relativas a las capitales de provincia españolas.

Para poder trabajar con otras fuentes de información, se han unificado todas las bases cartográficas en un mismo espacio cartográfico, con la misma proyección y sistema de referencia. Todo ello en un entorno de trabajo SIG.

Método de análisis: estimación del umbral nivel de luminosidad urbana 53 y limitaciones encontradas

Definida la fuente, delimitado el ámbito de estudio y seleccionadas las imágenes con una determinada cadencia temporal se podía proceder a la fase central de la investigación: analizar el avance de los usos urbanos del suelo a partir de la evolución de la luminosidad nocturna.

Para ello, el primer paso a realizar consiste, obviamente, en determinar el valor de luminosidad de referencia, es decir, el valor mínimo de luminosidad que pudiera considerarse “luminosidad urbana”. Para determinar este valor se han contrastado los datos referentes a los valores de luminosidad (que como se recordará oscilan entre un mínimo de 0 y un máximo de 63) con las informaciones disponibles a través de otras fuentes sobre la extensión física de los asentamientos urbanos. Concretamente, se han contrastado los píxeles de luz con los elementos urbanos de la *Base Topográfica Nacional 100* del Instituto Geográfico Nacional (IGN); las *Urban Morphological Zones* de la *European Environment Agency*; y finalmente con *Mapa de Cobertes del Sòl* del *CREAF* para el caso específico de la región metropolitana de Barcelona.

En concreto, se han realizado intersecciones entre las capas de información citadas y las imágenes satelitales nocturnas a partir de la superposición de las áreas correspondientes a los diversos niveles de intensidad lumínica 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 minimice las áreas no coincidentes (unión menos intersección) será el que mejor represente las áreas de luz sujetas a usos urbanos.

⁸ National Centers for Environmental Information, National Oceanic and Atmospheric Administration, Earth Observation Group. <<https://ngdc.noaa.gov/eog/dmsp/downloadV4composites.html>>

A partir del contraste entre las imágenes satelitales nocturnas y las tres fuentes complementarias mencionadas, se ha determinado que el valor de luminosidad 53 es el que presenta una más alta coincidencia con las áreas efectivamente artificializadas para usos urbanos. Este ha sido, en consecuencia, el valor que se ha aplicado de manera indicativa al conjunto de los territorios analizados para identificar los usos urbanos del suelo y calcular la extensión de la urbanización.

Los resultados obtenidos, de los que se dará cuenta a continuación, permiten reafirmar que las imágenes satelitales utilizadas son un recurso de gran valor para el análisis comparativo de las áreas urbanas, sobre todo por lo que respecta a la extensión del ámbito territorial cubierto, la gama de luminosidad, la secuencia temporal anual y el largo período para el que se encuentran disponibles. Su uso, como se verá, permite obtener resultados muy interesantes para el análisis de la extensión, forma y evolución de las tramas urbanas. Sin embargo, al mismo tiempo, algunas de sus características pueden limitar su capacidad explicativa⁹.

Resultados: la evolución de la luminosidad y de los usos urbanos del suelo

La evolución de los usos urbanos en el territorio peninsular y las Baleares ha sido analizada desde tres perspectivas diversas. En primer lugar, se han podido identificar las características morfológicas de las urbes españolas mediante el estudio de la superficie de las áreas de luminosidad urbana. En segundo lugar, se han podido observar las pautas de crecimiento de los usos urbanos del suelo en las áreas urbanas españolas. Finalmente, la comparación de la superficie de la luminosidad con el suelo artificializado para usos urbanos, ha permitido obtener interesantes conclusiones en relación a las características y repercusión del proceso de urbanización en España.

La superficialización del suelo que presente 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 estudio. El hecho de disponer de imágenes para un periodo de veinte años permite realizar una aproximación a la evolución de la luminosidad urbana en las décadas de cambio de siglo. Los resultados muestran un avance muy decidido de la luminosidad. Así, 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 cuadrados.

⁹ En primer lugar, las imágenes no mantienen una misma referencia diaria para cada año, es decir, se trata de una colección de imágenes de diversa procedencia y, al mismo tiempo, haber sido sometidas a diversos procesos de tratamiento. En segundo lugar, es importante recordar que a lo largo de los 21 años de los que se pueden descargar imágenes satélite nocturnas se han puesto en órbita un total de 6 satélites. El cambio de satélites, comporta una complicación añadida, ya que el hecho de que ninguno de los satélites ha dispuesto de un sistema de calibración a bordo ha provocado diferencias en los valores de luminosidad ofrecidos para un mismo lugar en el mismo año y con satélites distintos. Diversos autores han propuesto fórmulas de corrección de esta carencia. Sin embargo, la aplicación de dichas fórmulas no proporciona una mejora para los objetivos de esta investigación. Así mismo, las medidas implantadas en muchos lugares para reducir la contaminación lumínica y mejorar la eficiencia energética, pueden haber provocado reducciones de luminosidad. Finalmente, el nivel máximo de luminosidad (63) cubre extensas áreas urbanas en el interior de las cuales existen diferencias notables de intensidad de los usos urbanos y, al mismo tiempo, de luminosidad. De este modo podría decirse que las imágenes satelitales disponibles constituyen un instrumento adecuado para observar la luz *de* la ciudad más que la luz *en* la ciudad. Para un mayor detalle sobre las mencionadas limitaciones metodológicas, véase el volumen ya mencionado *La luz de la ciudad*.

Todas las áreas urbanas estudiadas ven aumentar decididamente la superficie de suelo con niveles de luminosidad urbana. Ahora bien, como se puede observar en las Figuras 2 y 3, el avance de la luminosidad presenta superficies absolutas y proporciones muy diversas en las diversas áreas urbanas. El mayor incremento de superficie de la luminosidad urbana se da en el área urbana de Madrid, que entre 1992 y 2012 aumenta en 1.259 km². En las áreas urbanas del litoral mediterráneo también se observa un gran crecimiento, de tal modo que las capitales de las siete provincias litorales mediterráneas de Girona a Murcia, ven aumentar su superficie de luminosidad en 4.534 km² a lo largo del periodo. Por otro lado, en términos absolutos los incrementos más reducidos de superficie de luminosidad se hallan en capitales castellanas, aragonesas y extremeñas.

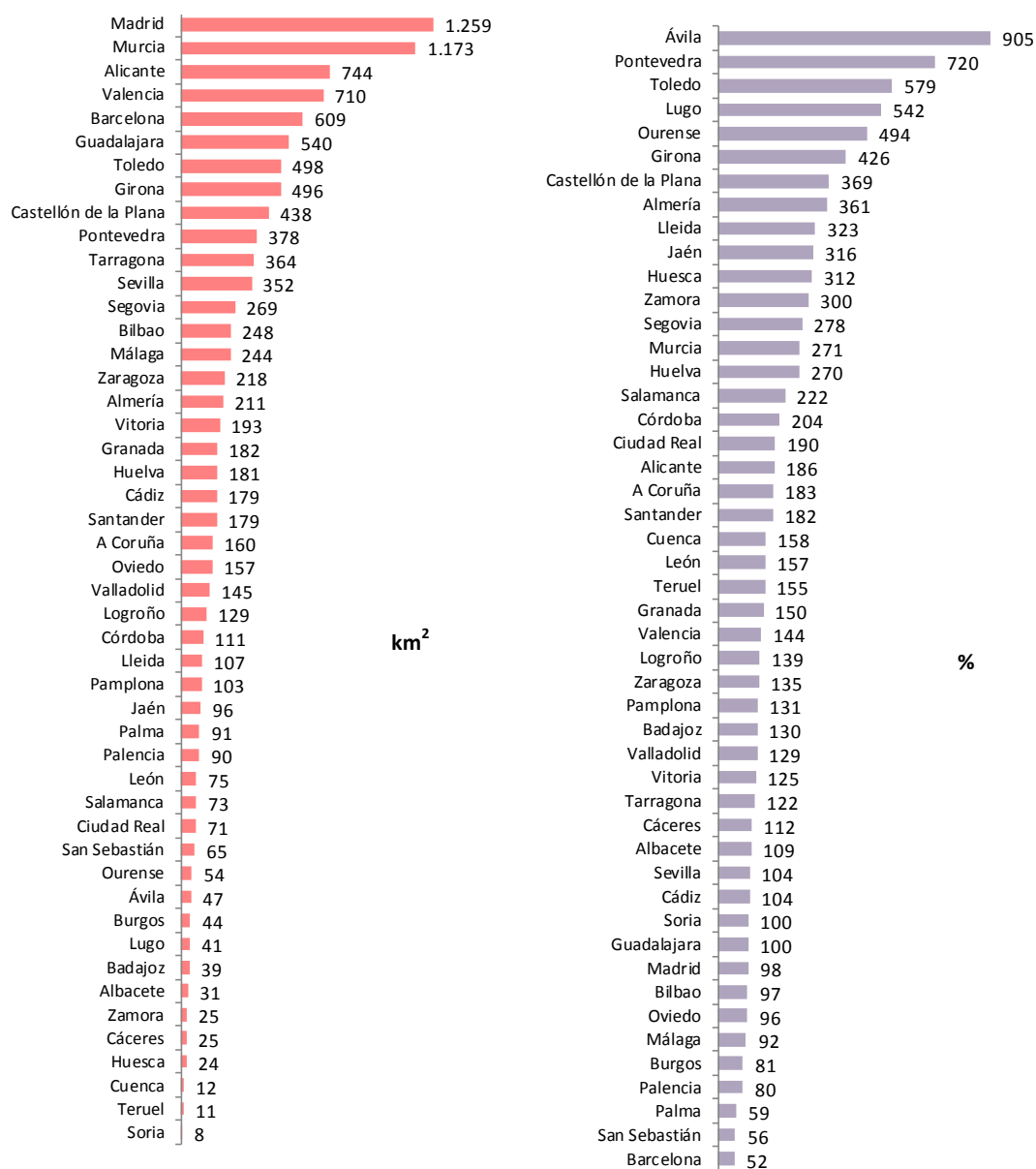


Figura 2. Incremento de las áreas con luminosidad urbana (gridcode ≥ 53) entre 1992 y 2012. Km2 y %.
Fuente: Elaboración propia.

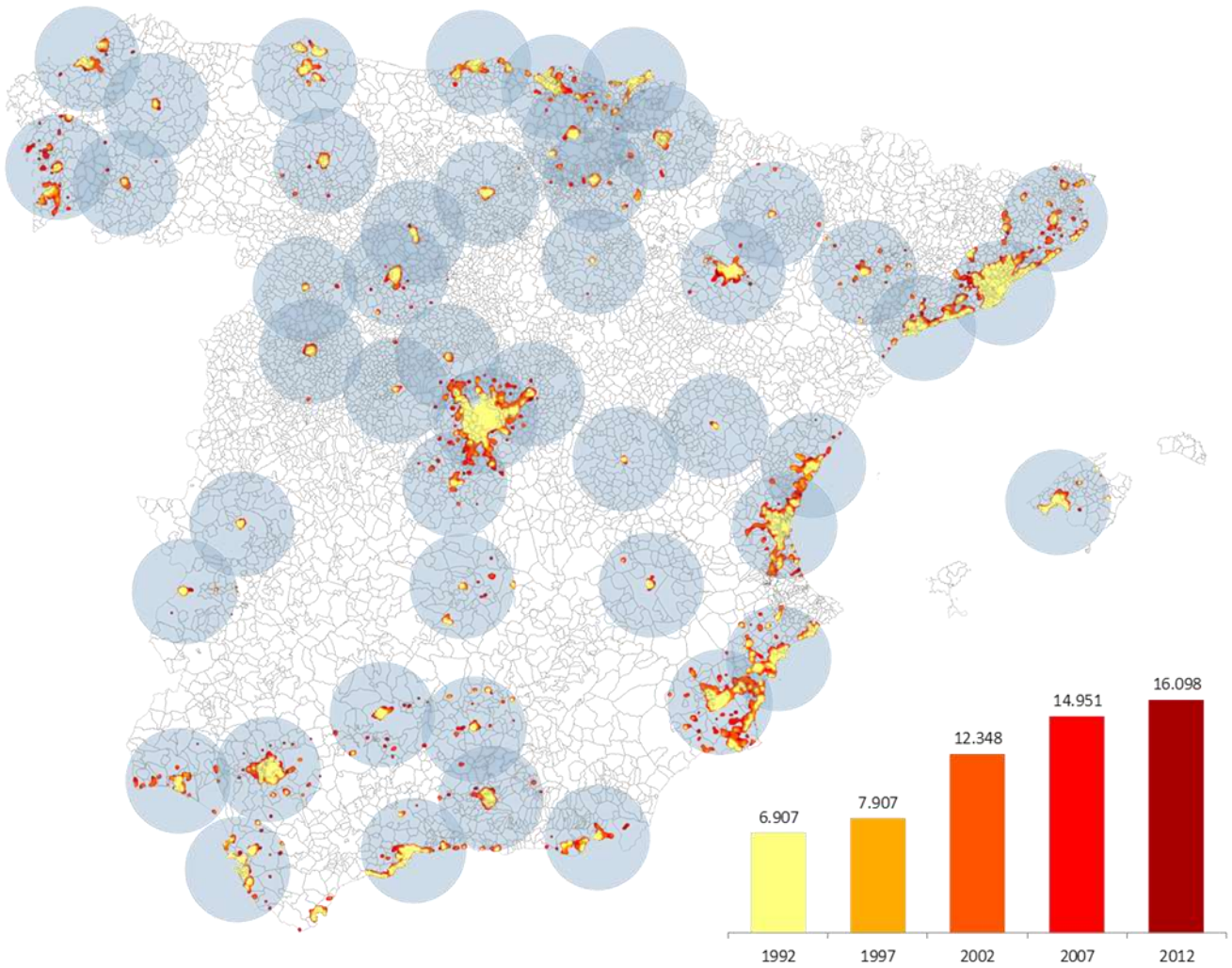


Figura 3. Incremento de las áreas con luminosidad urbana en las coronas de 50 km de las capitales de provincia españolas, Km².

Fuente: Elaboración propia.

Además del cálculo de la superficie, el estudio de la luminosidad permite observar las formas adoptadas por las áreas urbanas con su crecimiento. Así, a pesar de las dificultades que supone tratar de compendiar la diversidad de situaciones para el caso español, los resultados han permitido diferenciar al menos cinco grandes pautas de desarrollo urbano:

- La explosión y la extensión de las grandes metrópolis (que correspondería a los casos de Madrid de forma tentacular y Barcelona de forma más compacta)
- El crecimiento por extensión de las grandes ciudades (cornisa cantábrica, Zaragoza, Sevilla, Valladolid, Granada y Palma)
- La urbanización lineal del litoral (costa levantina y andaluza)
- El surgimiento de "archipiélagos" urbanos (Murcia, Pontevedra, Córdoba, Jaén, Girona y Logroño)
- La contención de las ciudades del interior, que forman islas urbanas en territorios relativamente desprovistos de luminosidad.

Más allá de la identificación de la expansión y la forma de las áreas urbanas, el análisis permite asimismo abordar una cuestión de alcance más general: la capacidad de la luminosidad urbana para explicar los patrones de ocupación del suelo. Así el estudio ha mostrado que existe una cierta 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 bastante significativo con un $r^2 = 0,7407$ (figura 4).

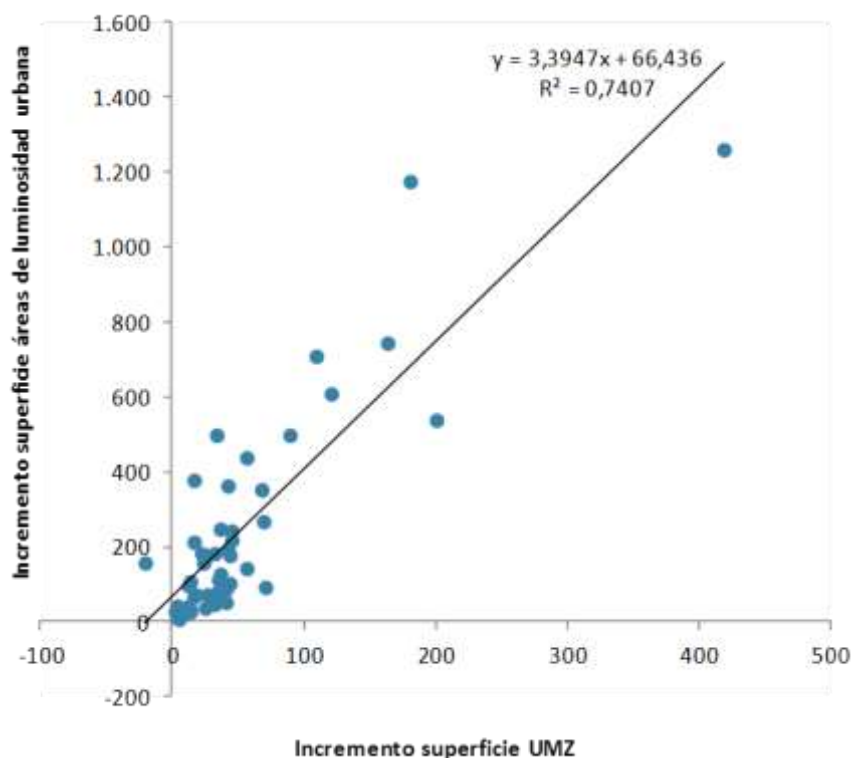


Figura 4. Correlación entre el crecimiento de las Urban Morphological Zones y de las áreas de luminosidad urbana (1992-2012).

Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, las magnitudes de la expansión del suelo artificializado son mucho más reducidas, pese a su magnitud, que el crecimiento de las superficies de luminosidad urbana. Así, para el conjunto del territorio en estudio, la superficie de las *Urban Morphological Zones* (UMZ)¹⁰ 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). Las áreas de luminosidad urbana tienden pues a crecer, aproximadamente, a un ritmo más de tres veces superior a la artificialización del suelo (Figura 5). Esta diferencia podría explicarse por la diversa naturaleza de ambos fenómenos. Así, 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. En consecuencia, los asentamientos compactos tienden, por razón de su forma, a iluminar superficies relativamente reducidas de sus respectivos entornos ya que los halos de luz emitidos tenderán a solaparse. Por su parte, los asentamientos de carácter

¹⁰ Las Urban Morphological Zone (UMZ) son definidas como “un conjunto de áreas urbanas no separadas por una distancia superior a los 200 metros”.

disperso, tentacular o lineal tienden a generar áreas con niveles de luminosidad urbana mucho más extensas, ya que cada foco emisor de luz, cada pieza de suelo transformado, multiplica de manera más que proporcional la superficie de luminosidad (Figura 6).

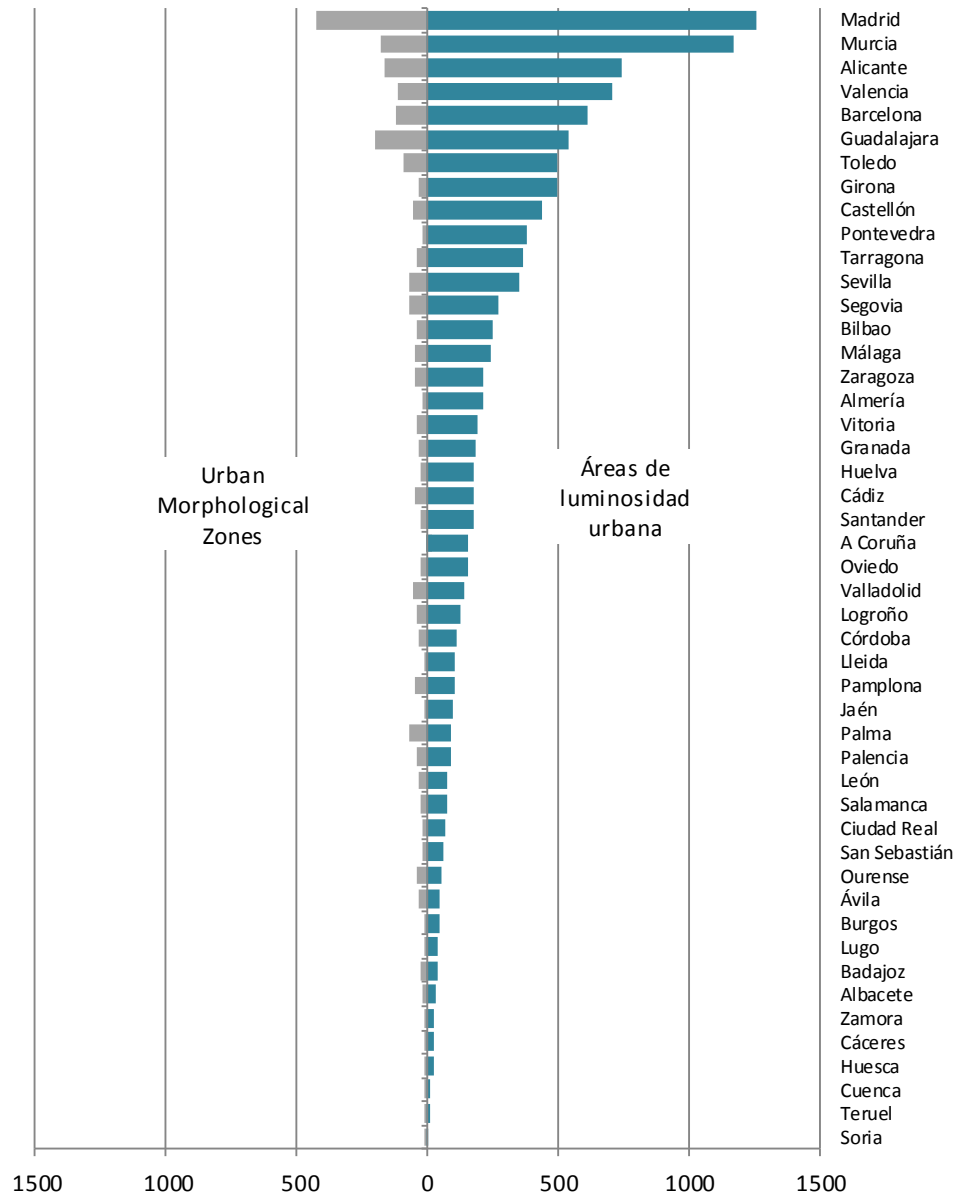


Figura 5. Comparación entre el crecimiento de las áreas de luminosidad urbana y las Urban Morphological Zones.

Fuente: Elaboración propia

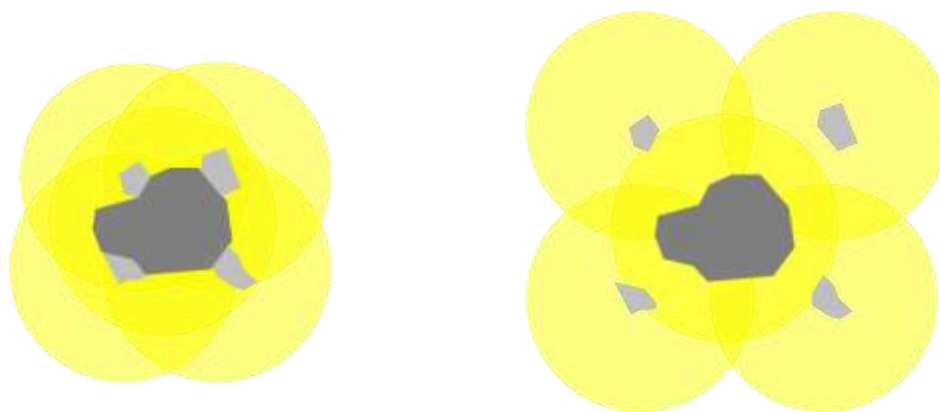


Figura 6. Dispersión de la luz en función del tipo de urbanización.

Fuente: Elaboración propia

Esto lleva a concluir que aun cuando la luminosidad urbana resulta un indicador no del todo exacto de la superficie urbanizada, refleja de forma ajustada la extensión de los ámbitos territoriales que el proceso de urbanización actual dota de características urbanas. 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 urbanístico, pero constituyen, sin duda, entornos urbanos y metropolitanos. De esta manera, su superficialización a partir de las imágenes nocturnas de la Tierra constituye 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. Resulta por ello particularmente interesante y útil para la comprensión de las transformaciones urbanas.

Las potencialidades de las nuevas imágenes de luz nocturna

Los resultados expuestos hasta aquí, correspondientes al estudio *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)* se basan, como se ha indicado, en las imágenes nocturnas *Versión 4 DMSP-OLS Nighttime Lights Time Series* correspondientes al satélite DMSP-OLS. Sin embargo, en octubre de 2011, la NASA y la NOAA lanzaron un nuevo satélite, el Suomi National Polar-orbital Partnership (SNPP) dotado del instrumento VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) a bordo¹¹. La reciente publicación de las imágenes procedentes de esta fuente abre nuevas perspectivas para el análisis.

En efecto, la información capturada por este satélite nos sitúa en un nuevo escenario de la teledetección nocturna debido a su más alta calidad y resolución respecto a las recogidas por el DMSP-OLS. Además, esta nueva y mejorada información se ofrece a través de composiciones mensuales y anuales 2012-2017. Tanto el Earth Observation Group (EOG) como autores que han empezado a trabajar con las imágenes han afirmado que se abre un abanico de posibilidades sin precedentes¹².

¹¹ Elvidge et al., 2013, p.62

¹² Jing et al., 2015; Lee & Cao, 2016; Shi et al., 2014; Small et al., 2013

Características del satélite SNPP-VIIRS

El satélite SNPP-VIIRS dispone del sensor DNB (Day/Night Band) que mejora la información capturada por el satélite anterior (DMS-OLS) por lo que respecta a la cuantificación radiométrica (que pasa de 6 a 14 bits), la precisión radiométrica, la resolución espacial y la calidad geométrica¹³. Además, incluye un sistema de calibración a bordo y dispone de nuevas bandas espectrales. Las principales diferencias técnicas entre ambas fuentes se pueden observar en el Cuadro 1.

La gama de detección radiométrica (grados de intensidad lumínica) del sensor se amplía y con ello la precisión para medir el nivel de intensidad lumínica. En el nuevo satélite, esta gama es aproximadamente de siete órdenes de magnitud¹⁴, lo que evita una sobresaturación en las zonas de más iluminación (zonas urbanas) y permite distinguir diferentes valores de iluminación en éstas. Por otro lado, el sistema de calibración a bordo es una novedad respecto al DMS-OLS que no disponía de calibración. Esto hace que los datos sean más precisos y permite una comparación temporal de la iluminación nocturna más fiable que el DMSP-OLS¹⁵.

El sensor DNB en el VIIRS es mucho más completo, ya que cuenta con 11 bandas espectrales de noche y 21 de día. Estas bandas permiten la mejor distinción de niveles bajos de luminosidad y la detección y discriminación de fuentes térmicas de emisión de luz como los incendios o la quema de biomasa¹⁶. Otra característica de la nueva información es que el sensor DNB está diseñado para minimizar la luz difusa (*stray light*) procedente de la contaminación de la luz solar crepuscular y que depende de la posición del sol respecto al satélite. Cabe señalar igualmente que, a pesar de estas notables mejoras, se siguen produciendo algunas afectaciones de la luz difusa¹⁷.

Cuadro 1.
Comparación de características entre el satélite DMSP-OLS y el VIIRS-DNB

	DMSP/OLS	VIIRS/DNB
Cuantificación radiométrica	6 bits	14 bits
Precisión radiométrica	Gama de detección radiométrica menor	Gama de detección radiométrica amplia (7-8 órdenes de magnitud)
Saturación	En zonas urbanas	Sin saturación
Calibración radiométrica	Sin calibración	Calibrador a bordo
Bandas espectrales acompañantes	1 (Infrarrojos térmicos 10-12um)	11 de noche/ 21 de día
Sensible a la radiación	500-900 nm	500-900nm
Hora nocturna de paso	19:30h UTC	01:30h UTC

Fuente: Elvidge *et al.*, 2013

¹³ Elvidge *et al.*, 2013, p. 69.

¹⁴ Liao *et al.*, 2013, p. 12705.

¹⁵ Baugh *et al.*, 2013, p.85; Jing *et al.*, 2015, p. 20.

¹⁶ Elvidge *et al.*, 2013, p. 66.

¹⁷ Liao *et al.*, 2013, p. 12717.

Características e información de las composiciones mensuales disponibles

A partir del nuevo satélite y sensor VIIRS-DNB, el EOG está produciendo composiciones anuales y mensuales de luz nocturna con mejoras de calidad, precisión, resolución y calibración. Las composiciones anuales y/o mensuales son generadas a partir de la media de iluminación nocturna de cada uno de los píxeles con información de radiación después de corregir y procesar los datos. El resultado que se ha puesto a disposición de los usuarios es un fichero ráster georeferenciado (formato geotiff) que puede ser explotado con herramientas de GIS¹⁸.

La nueva serie disponible, realizada con los datos del VIIRS-DNB, supone una gran mejora respecto a las imágenes anuales 1992-2012 por lo que respecta a la resolución espacial y recurrencia temporal. Como se ha explicado anteriormente, las imágenes utilizadas en los estudios precedentes (1992-2012) tienen una resolución de píxel de 30 segundos de arco, lo que permite trabajar, para la zona de la Península, con unos píxeles de aproximadamente 750 x 750 metros. Las nuevas composiciones con el VIIRS-DNB a partir de 2012 son mensuales y tiene una resolución de 15 segundos de arco, cubriendo también toda la longitud del planeta en las latitudes comprendidas entre los 65°S y los 75°N. Una vez que las nuevas imágenes son proyectadas, se dispone de píxeles de aproximadamente 350 x 350 metros en nuestra zona de estudio (Península Ibérica). Se trata, por lo tanto, de una resolución espacial muy superior a la de las imágenes disponibles para el periodo anterior.

Por lo que respecta a la información de la luz nocturna emitida, el valor medio de radiación se encuentra entre 1 y $300 \times 10^{-9} \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ ($\text{Watts/cm}^2/\text{sr}$)¹⁹. En los píxeles, se encuentran los valores de radiación emitidos por la superficie de la Tierra (registro *Gridcode*) multiplicados por 10^9 , por lo tanto en unidades de $\text{nanoWatts} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$, siendo por debajo de 1 oscuridad y alrededor de 300 luminosidad máxima. Cabe señalar que fuera de este rango, se encuentran algunos valores extremos. Por cada píxel de información utilizado en DMSP/OLS, en VIIRS/DNB existen cuatro píxeles.

Para calcular la media mensual de estos valores de radiación, el EOG solo usa las observaciones del satélite de más calidad. Por este motivo antes de obtener la media quedan descartados los datos afectados por determinadas condiciones atmosféricas, observaciones con nubosidad, auroras boreales y relámpagos. Además, se procesan las imágenes y se excluye la iluminación solar y lunar basada en los ángulos de incidencia respectivos y los impactos de la luz difusa²⁰. Debido a estos criterios, hay áreas del planeta sobre las cuales no se dispone de información de calidad en determinados meses; por ejemplo en las zonas tropicales con alta nubosidad en los meses de verano o en latitudes altas con alta iluminación solar en dicha estación²¹. En la versión 1 de estas nuevas composiciones mensuales (la actualmente disponible) no se ha filtrado la luz de las auroras, incendios, desiertos, volcanes, barcos y otras luces temporales²².

La gama de valores almacenados en las composiciones es mucho más amplia que la disponible en la serie anual 1992-2012, donde los valores se cuantificaban en números digitales (*Digital Numbers*, DN) en una escala de 6 bits con valores *Gridcode* del 0 al 63 y

¹⁸ NOAA, Earth Observation Group. *Version 1 VIIRS Day/Night Band Nighttime Lights*

¹⁹ Cao & Bai, 2014, p.11921

²⁰ Baugh, 2015: <https://apan.net/meetings/apan39/Sessions/1/Baugh_DNB_composites_20150303.pdf>

²¹ NOAA, Earth Observation Group. *Version 1 VIIRS Day/Night Band Nighttime Lights*.

²² Shi et al., 2014, p. 6

las áreas de más iluminación quedaban sobre-saturadas²³. Los nuevos valores entre 1 y 300 con 6 decimales, junto a la mejor resolución espacial pueden mostrar patrones mucho más precisos de áreas urbanas, variaciones intra-urbanas (en el OLS saturadas), asentamientos pequeños, redes de transporte, conexiones, límites de zonas de montaña, ríos y lagos²⁴. La Figura 7 muestra la comparación entre ambos tipos de imágenes.

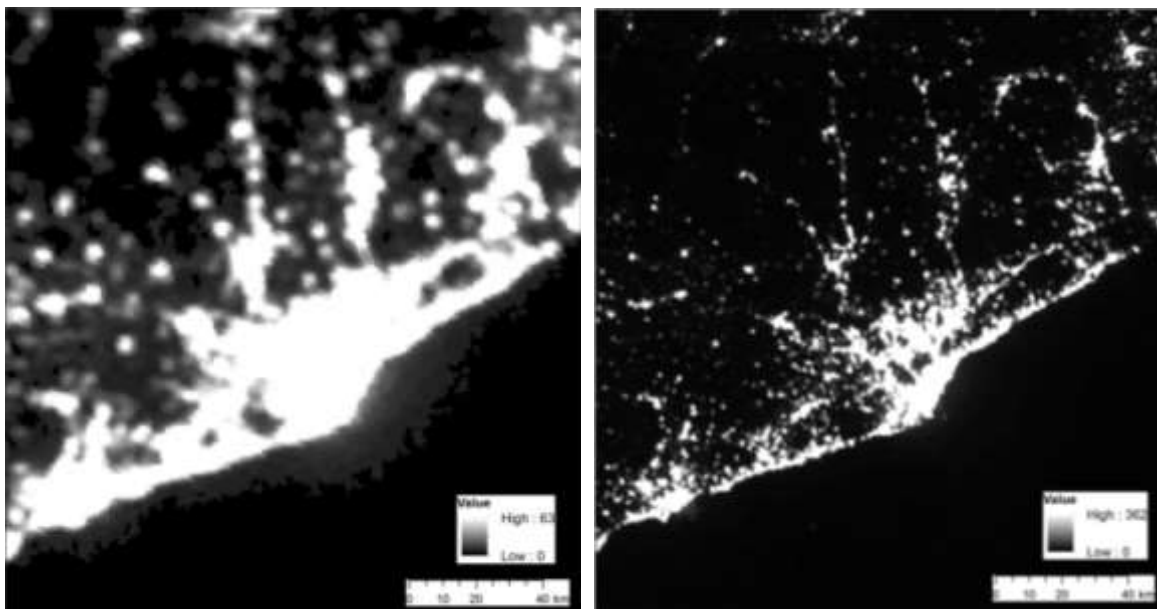


Figura 7. Comparación imágenes DMSP-OLS y VIIRS-DNB en la Región Metropolitana de Barcelona, 2013.

Nuevas posibilidades de investigación

Como se ha visto, las imágenes satelitales nocturnas del VIIRS-DNB mejoran notablemente las procedentes del DMSP-OLS y con ello el detalle, la precisión y las posibilidades de investigación. Muchas de las limitaciones que presentaban los datos anteriores (1992-2012), como una baja resolución espacial o la falta de calibración, quedan en buena medida superadas. Las imágenes actuales permiten un análisis espacial y comparativa temporal más precisa. Sin embargo, esta nueva fuente no está exenta de problemas. En primer lugar, la nueva serie aun es corta y por lo tanto las tendencias en el tiempo observadas no serán tan significativas. Por otro lado, los nuevos datos no son comparables con la serie anterior, ya que los valores y unidades de iluminación nocturna almacenados en los píxeles no se corresponden.

Por lo que respecta a las posibilidades de investigación a partir de las imágenes procedentes del VIIRS-DNB, diversos autores han apuntado ya algunas de las posibilidades que presentan la mejorada resolución espacial, la ampliada gama de detección radiométrica y otros avances en la recogida de datos. Estudios con dichas imágenes han permitido (1) detectar elementos y actividades antropogénicas concretas y sus límites (áreas urbanas, vías de comunicación y puentes, rastros de barcos de pesca y transporte marítimo, etc.)²⁵ y (2)

²³ Bennett & Smith, 2017, p. 177.

²⁴ Small et al., 2013, p. 230, 231.

²⁵ Aubrecht & Leon Torres, 2016; Miller, 2015.

mostrar correlaciones entre iluminación nocturna y variables socioeconómicas y demográficas a escala urbana así como hacer estimaciones y predicciones de éstas²⁶.

Siguiendo la línea de estudio establecida en *La luz de la ciudad*, el grupo de investigación sobre Energía, Territorio y Sociedad de la Universitat Autònoma de Barcelona está en este momento llevando a cabo diversos análisis a partir de las imágenes satelitales del VIIRS-DNB²⁷. Estos tratan de incorporar una mejor precisión relativa a los aspectos siguientes: (a) la relación entre forma urbana y luminosidad, (b) la estacionalidad de los usos urbanos del suelo, (c) la relación entre dinámicas socioeconómicas y luminosidad y (d) el análisis de los espacios de oscuridad.

En relación al tema de la **morfología urbana**, las imágenes satelitales del VIIRS-DNB permiten definir con más precisión y a una escala más detallada la forma y extensión de los usos urbanos del suelo. Así mismo, el umbral de detección más bajo y la resolución espacial más fina permiten identificar asentamientos pequeños que en las imágenes 1992-2012 quedaban sin valores de iluminación significativos y redes viales a través de las cuales se aprecia la interconectividad²⁸. Otro campo de análisis puede ser el de las variaciones intra-urbanas en los valores de iluminación, los cuales en la serie del satélite DMSP-OLS quedaban saturados con el valor *Gridcode* 63²⁹. En este sentido, con la nueva fuente de información se podrá valorar el análisis cruzado de las variaciones de iluminación intra-urbanas con información, por ejemplo, de diferentes tejidos residenciales o densidades urbanas.

Por otro lado, la posibilidad de disponer de datos mensuales permite por primera vez efectuar un estudio de la **estacionalidad** de la iluminación nocturna, es decir la variación de intensidad y/o extensión de la iluminación en una misma zona según la época del año. Se pueden analizar así, fenómenos sociales de carácter estacional, por ejemplo las diferencias de actividad según el periodo del año de los destinos vacacionales. Hasta el momento no se ha localizado ningún estudio que utilice las nuevas imágenes con esta finalidad, por lo que consideramos que es una vía de investigación con potencialidades a explorar y que puede proporcionar información y avances en el conocimiento de ciertas dinámicas espaciales.

Los avances disponibles hasta la fecha resultan ciertamente prometedores: un estudio de la NASA sobre iluminación en días y periodos concretos (Navidad y Noche Vieja en los Estados Unidos y Ramadán en Oriente Medio³⁰) afirma que la calidad de la nueva fuente permite trabajar a escalas temporales breves con resultados de investigación significativos^{31,32}. En concreto, el estudio llevado a cabo por investigadores de la NASA se concentra, a partir de aumentos puntuales de la iluminación nocturna, en la relación e influencia de factores culturales, económicos y sociales (no solo individuales) en la

²⁶ Shi et al., 2014, p. 1718; Jing et al., 2015, p. 20-21; Bennett & Smith, 2017, p. 193.

²⁷ Una primera concreción de esta línea de estudio es la investigación ya mencionada *In Lumine Sapientia* que el grupo de investigación está desarrollando durante el año 2017 con la financiación del Institut d'Estudis Catalans.

²⁸ Small et al., 2013, p. 230-232

²⁹ Small et al., 2013, p.230

³⁰ En la NASA disponen de las imágenes satelitales diarias procedentes del VIIRS. Sin embargo, estas no están disponibles en la web, donde las composiciones de iluminación nocturna son de carácter mensual.

³¹ Román & Stokes, 2015, p. 183

³² NOAA/NASA Satellite Sees Holiday Lights Brighten Cities

<<https://www.nasa.gov/content/goddard/satellite-sees-holiday-lights-brighten-cities>>

demanda y consumo de energía, con la vista puesta en medidas de mitigación del cambio climático.

Respecto los cambios estacionales, también se ha estudiado el efecto de la nieve, la vegetación y el albedo en la luz nocturna emitida por la superficie del planeta³³. Así, se ha comprobado que los cambios estacionales relacionados con dichas coberturas del suelo afectan el nivel de iluminación nocturna capturado por el satélite y por lo tanto son factores a tener en cuenta cuando sean estudiados los cambios estacionales de la iluminación nocturna.

Otro campo de estudio es el de la relación existente entre iluminación y **dinámicas socioeconómicas**. Son varios los autores que, a partir de análisis estadísticos y correlaciones, afirman que los datos procedentes del nuevo satélite son más indicativos de la economía y demografía a escala de ciudad y provincia que los procedentes del satélite anterior³⁴. La explotación de las nuevas imágenes en este sentido, permitirá analizar diferentes dinámicas y realidades socioeconómicas que se dan en nuestro ámbito de estudio. Se podrá investigar, por ejemplo, si se observa una recuperación y actividad económica con diferencias territoriales.

Por último, otro espacio de estudio a indagar es el de las **zonas oscuras**. En este sentido Brenner³⁵ ha afirmado que incluso las zonas que aparentemente no presentan actividad urbana, están altamente influidas por el proceso de urbanización y por lo tanto, toda la superficie del planeta se puede considerar urbanizada, eliminando así la concepción dual que distingue espacios urbanos y rurales. Para debatir dicha hipótesis resulta de particular interés estudiar las zonas de oscuridad y analizar los usos del suelo que efectivamente se desarrollan en ellas.

Finalmente, aunque quede lejos de la actual línea de investigación del grupo, cabe mencionar otro posible campo de investigación al cual apunta el Observatorio de la Tierra de la NASA. En la web se muestran imágenes donde se compara la iluminación nocturna de 2012 y 2016 en zonas de conflicto bélico de Oriente Medio³⁶. Se aprecia claramente como algunas zonas se han oscurecido debido a los estragos de la guerra, observación que podría ser replicada para otras zonas del planeta.

Conclusiones

La presente investigación sobre la evolución de la urbanización en España a partir de las imágenes satelitales nocturnas de la Tierra para el período 1992-2012 ha permitido obtener resultados en dos líneas. Por una parte se ha podido estudiar, cuantificar y analizar a partir de una nueva fuente de información la evolución de la urbanización en las principales ciudades españolas. Por otro lado, pese a algunas limitaciones, se ha podido comprobar la idoneidad de la fuente y metodología empleada, así como ventajas respecto a otras fuentes. Algunas de las limitaciones de las imágenes nocturnas de la serie 1992-2012 quedan salvadas con las nuevas y mejoradas imágenes mensuales disponibles para el periodo posterior al año 2012, las cuales podrán ser utilizadas para investigaciones futuras.

³³ Levin, 2017, p.159

³⁴ Cao & Bai, 2014; Jing et al., 2015; Shi et al., 2014

³⁵ Brenner, 2014

³⁶ Night Lights Change in the Middle East

<<https://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=90100&src=eoaiotd#>>

El primer resultado a destacar del estudio es que 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 cubría una superficie de 16.098 km², lo que significa un aumento del 133% respecto al año 1992. Se confirman así, los datos conocidos a través de otras fuentes (en particular la utilización de imágenes satelitales diurnas) acerca de la acelerada expansión del proceso de urbanización en España en el periodo considerado.

La falta de correspondencia estricta entre la evolución de las áreas de luminosidad y el suelo físicamente transformado, lejos de ser un inconveniente o problema en la investigación, puede ser considerado una de las principales virtudes ya que permite explicar algunas características destacadas del proceso de urbanización. Las diferencias son debidas, a la difusión de la luz más allá de los focos de emisión. En este marco, lógicamente, los crecimientos acaecidos en baja densidad y de forma dispersa tenderán a incrementar mucho más la superficie iluminada que los crecimientos compactos. Los numerosos y variados espacios intersticiales detectados a través de la iluminación nocturna son difícilmente cuantificables a partir del análisis de las cubiertas de suelo y del régimen o el uso urbanístico, pero constituyen, sin duda, entornos urbanos y metropolitanos. En consecuencia, la luminosidad urbana puede considerarse un indicador combinado de la extensión y la forma de los crecimientos urbanos, es decir, de la ocupación física de suelo y, al mismo tiempo, de la intensidad de relaciones que se producen entre cada una de sus partes, una representación compleja y seguramente más ajustada a la realidad de los usos urbanos del espacio que la que es posible realizar a partir de otras fuentes.

Del estudio se deriva así mismo la posibilidad de establecer diversas tipologías en el desarrollo morfológico de las principales áreas urbanas españolas: la explosión y la extensión de las grandes metrópolis, el crecimiento por extensión de las grandes ciudades, la urbanización lineal del litoral de la costa levantina y andaluza, el surgimiento de "archipiélagos" urbanos y por último la contención de las ciudades del interior en forma de islas urbanas.

Con el lanzamiento del nuevo satélite SNPP con el instrumento VIIRS y el sensor DNB el 2011 y la disponibilidad de sus imágenes a partir de 2012, las fuentes de información para el estudio de la iluminación nocturna presentan claras mejoras y ofrece nuevas posibilidades de estudio. Las imágenes e información sobre luz nocturna capturada por este satélite nos sitúan en un nuevo escenario debido a su mejorada cuantificación, detección y precisión radiométrica, calidad geométrica, resolución espacial y sistema de calibración a bordo entre otras.

Entre estos aspectos, destaca la calibración a bordo que permite comparaciones temporales más precisas, la información en píxeles de 350 metros x 350 metros que permite trabajar mejor a escalas urbanas y la ampliada gama de detección radiométrica que posibilita emplear una gradación de la intensidad de los usos urbanos del territorio de más de 300 valores en unidades de radiación (valores absolutos) en comparación a los 0-63 valores relativos (no absolutos) sin unidades de radiación presentados en las anteriores imágenes.

La nueva información abre muchas posibilidades de estudio para las cuales hará falta diseñar metodologías que permitan analizar los datos. En todo caso, parece claro que se pueden obtener avances muy destacados, entre otros campos, en el estudio de la relación entre la morfología urbana y los usos del suelo, la estacionalidad en el uso del territorio, la

relación de la luminosidad con determinadas variables socioeconómicas y el análisis de las áreas con nula o escasa emisión lumínica.

Bibliografía

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

AUBRECHT, Chritoph; LEÓN TORRES, José Antonio. Evaluating Multi-Sensor Nighttime Earth Observation Data for Identification of Mixed vs. Residential Use in Urban Areas. *Remote Sensing*, 2016, vol. 8, nº 2, 114, p. 1-19.

BAUGH, Kimberly. *VIIRS Day-Night Band Cloud-free Composites*. ELVIDGE, Chris; ZHIZHIN, Mikhail; HSU, Feng Chi. [En línea]. National Geophysical Data Center (NGDC). NOAA Satellite and Information Service, 3 de marzo de 2015. <https://apan.net/meetings/apan39/Sessions/1/Baugh_DNB_composites_20150303.pdf>. [2 de junio de 2017]

BAUGH, Kimberly; HSU, Feng-Chi; ELVIDGE, Christopher D.; ZHIZHIN, Mikhail. Nighttime Lights Compositing Using The VIIRS Day-Night Band: Preliminary Results. *Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network*, 2013, vol. 35, p. 70-86.

BENNETT, Mia M.; SMITH, Laurence C. Advances in using multitemporal night-time lights satellite imagery to detect, estimate, and monitor socioeconomic dynamics. *Remote Sensing of Environment*, 2017, vol.192, p. 176-197.

BRENNER, Neil. *Implosions/Explosions: Towards a Study of Planetary Urbanization*. Berlin: Jovis, 2014.

CAO, Changyong; BAI, Yan. Quantitative Analysis of VIIRS DNB Nightlight Point Source for Light Power Estimation and Stability Monitoring. *Remote Sensing*, 2014, vol. 6, p. 11915-11935.

CARLOWICZ, Michael. Night Lights Change in the Middle East. [en línea]. NASA Earth Observatory, 6 de mayo de 2017. <<https://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=90100&src=eoai-iotd>>. [16 de junio de 2017]

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

CARRERO de ROA, Manuel. Ciudad Astur, una singularidad metropolitana. *Ciudad y Territorio - Estudios Territoriales*, 2013, nº 176, p. 333-350.

ELVIDGE, Christopher D.; BAUGH, Kimberly; ZHIZHIN, Mikhail; HSU, Feng-Chi. Why VIIRS data are superior to DMSP for mapping nighttime lights. *Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network*, 2013, vol. 35, p. 62-69.

ELVIDGE, Christopher D; HSU, Feng-Chi; E. BAUGH, Kimberly; & GHOSH, Tilottama. National Trends in Satellite Observed Lighting: 1992-2012, in Qihao WENG (ed.): *Global Urban Monitoring and Assessment through Earth Observation*. CRC Press. 2014, 97-120.

FERIA, José Maria & MARTÍNEZ, Luís. La definición y delimitación del sistema metropolitano espanyol: permanencias y cambios entre 2001 y 2011. *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*, 2016, nº 187, p.9-24.

FERIA, José Maria. La ordenación del territorio en las áreas metropolitanas españolas. In JURADO, José Manuel (coord.) *Ordenación del Territorio y Urbanismo: conflictos y oportunidades*. Sevilla, Universidad Internacional de Andalucía, 2011.

FONT, Antonio, INDOVINA, Francesco; PORTAS, Nuno. *La explosión de la Ciudad. Transformaciones territoriales en las regiones urbanas de la Europa Meridional*. Barcelona: Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación, 2011.

FONT, Antonio; LLOP, Carles; VILANOVA, Josep Maria. *La construcció del territori metropolità. Morfogènesi de la regió urbana de Barcelona*. Barcelona: Mancomunitat de Municipis de l'Àrea Metropolitana de Barcelona, 1999.

JING, Xin; Shao; CAO, Changyong; FU, Xiaodong and YAN, Lei. Comparison between the Suomi-NPP Day-Night Band and DMSP-OLS for Correlating Socio-Economic Variables at the Provincial Level in China. *Remote Sensing*, 2016, vol. 8, nº 17, p. 1-24.

LEE, Shihyan; CAO, Changyong. Soumi NPP VIIRS Day/Night Band Stray Light Characterization and Correction Using Calibration View Data Sh. *Remote Sensing*, 2016, vol. 8, Nº 138, p. 2-15.

LEVIN, Noam. The impact of seasonal changes on observed nighttime brightness from 2014 to 2015 monthly VIIRS DNB composites. *Remote Sensing of Environment*, 2015, vol.193, p. 150-164.

LIAO, L. B.; WEISS, Stephanie; MILLS, Steve; HAUSS, Bruce. Suomi NPP VIIRS day-night band on-orbit performance. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, vol. 118, nº12, p. 12705-12718.

MARTÍN, Jordi. Energy and urban form: The growth of European cities on the basis of night-time brightness. Conferencia impartida en el 2016 IGU Urban Commission Annual Meeting: *Governing Globalizing Cities*. East China Normal University, Shanghai. August 15th-20th, 2016.

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

NEL·LO, Oriol (Dir.); LÓPEZ, Joan; MARTÍN, Jordi; CHECA, Joan. *La luz de la ciudad. El proceso de urbanización en España a partir de las imágenes nocturnas de la Tierra*. Bellaterra: Grup d'Estudis sobre Energia, Territori i Societat, Universitat Autònoma de Barcelona, 2016.

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

NEL·LO, Oriol; LÓPEZ, Joan; MARTÍN, Jordi. 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, 2016.

NEL·LO, Oriol; LÓPEZ, Joan; MARTÍN, Jordi; CHECA, Joan. Energy and urban form. The growth of European cities on the basis of night-time brightness. *Land Use Policy*, 2017, nº 61, p. 103-112.

NOAA, Earth Observation Group. *Version 1 VIIRS Day/Night Band Nighttime Lights*. [En línea]. <https://ngdc.noaa.gov/eog/viirs/download_dnb_composites.html>. [1 de junio de 2017].

NOAA, National Calibration Center. *VIIRS FQA*. [En línea]. <<https://ncc.nesdis.noaa.gov/VIIRS/VIIRSFAQ.php>>. [6 de junio de 2017].

PRIETO, Fernando; CAMPILLO, Mónica; DÍAZ, José Manuel DÍAZ. Tendencias recientes de evolución del territorio en España (1987-2005): causas y efectos sobre la sostenibilidad. *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*, 2011, vol. XLIII, nº 168, p. 261-278.

RAMSAYER, Kate. NOAA/NASA Satellite Sees Holiday Lights Brighten Cities. [en línea]. NASA's Goddard Space Flight Center, Greenbelt (Maryland), 31 de julio de 2015. <<https://www.nasa.gov/content/goddard/satellite-sees-holiday-lights-brighten-cities>>. [15 de junio de 2017].

ROMÁN, Miguel O.; STOKES, Eleonor C. Holidays in lights: Tracking cultural patterns in demand for energy services. *Earth's Future*, 2015, vol. 3, p.182–205.

SHI, Kaifang; YU, Bailang; HUANG, Yixiu; HU, Yingjie; YIN, Bing; CHEN, Zuoqi; CHEN, Liujia; JIANPING, Wu. Evaluating the Ability of NPP-VIIRS Nighttime Light Data to Estimate the Gross Domestic Product and the Electric Power Consumption of China at Multiple Scales: A Comparison with DMSP-OLS Data. *Remote Sensing*, 2014, vol. 6, p. 1705-1724.

SMALL, Christopher; ELVIDGE, Christopher D.; BAUGH, Kimberly. Mapping urban structure and spatial connectivity with VIIRS and OLS night light imagery. *Proceedings of the JURIS Sao Paulo (Brazil)*, 2013, p. 230-233.

STEVEN, Miller. Satellite Sensor Reveals Earth's Nocturnal Secrets. *Scientific American*. [en línea]. 1 de mayo de 2015. <<https://www.scientificamerican.com/article/miller-satellite-sensor-reveals-earth-s-nocturnal-secrets/>>. [8 de junio de 2017].

ZORNOZA, Carmen. *Crecimiento urbanístico en la zona costera de la Comunidad Valenciana (1987-2009). Análisis y perspectivas de futuro*. Valencia: Universitat de València, 2013.