

CARTOGRAFIA DE LUCES ESTABLES EN LA PENÍNSULA IBERICA CON IMÁGENES DMSP-OLS

D. Cocero (*), M.P. Martín (*), C. D. Elvidge (**) y K.E. Baugh (**)

(*) Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá. C/ Colegios 2, 28801 Alcalá de Henares, Madrid, España.

(**) Solar-Terrestrial Physics, NOAA National Geophysical Data Center, 325 Broadway, Boulder, CO 80303, Estados Unidos.

RESUMEN: El sensor OLS (*Operational Linescan System*), a bordo de los satélites de la serie DMSP (*Defense Meteorological Satellite Program*) posee la capacidad de detectar, durante la noche, bajos niveles de radiancia en la regiones espectrales del visible e infrarrojo cercano, por lo que, utilizando las imágenes nocturnas procedentes de este sensor, es posible observar nubes iluminadas por la luz de la luna, luces de ciudades, pueblos, industrias y plataformas petrolíferas, además de otros eventos efímeros como incendios forestales o rayos. Este trabajo presenta el resultado del análisis multitemporal de una serie de imágenes OLS obtenidas sobre la Península Ibérica para la detección y cartografía de las luces estables. En el mapa que se presenta, se pueden observar con claridad los patrones urbanos de nuestro país y la relación existente entre área iluminada y densidad de población a nivel provincial.

INTRODUCCIÓN

Los mapas se han utilizado desde tiempos inmemoriales para representar la distribución de la población sobre la superficie terrestre. Estos mapas se han basado, hasta el momento, en las estadísticas recogidas por los censos de población, que proporcionan información sobre el número de habitantes basándose en unidades administrativas de distinta entidad espacial (provincias, municipios, etc.), pero no proporcionan detalles explícitos sobre la localización precisa de los asentamientos en los que se concentra esa población. Por otra parte, en algunas regiones del planeta estos datos de población son escasos, imprecisos o inexistentes. En este sentido, las imágenes obtenidas por satélites que proporcionan una cobertura global y frecuente de la superficie terrestre, parecen adecuadas para producir, o en su caso actualizar, mapas de localización de ciudades y pueblos a escala regional y/o global.

EL Departamento de Defensa de los Estados Unidos ha mantenido, en las últimas décadas, un programa de observación de la Tierra mediante satélites meteorológicos. Se trata del llamado *Defense Meteorological Satellite Program* (DMSP) que, desde los años 70, ha puesto en órbita una serie de satélites diseñados inicialmente con el propósito de facilitar información global y diaria sobre la cobertura de nubes y su temperatura con fines militares. Recientes estudios han demostrado el uso potencial de las imágenes procedentes de estos satélites para la cartografía de luces estables a escala regional y/o global. Estos trabajos se basan en las especiales características de uno de los sensores instalados a bordo de los DMSP, el OLS (*Operational Linescan System*). Dotado con un mecanismo de intensificación de la señal captada por la noche en la banda correspondiente al visible e infrarrojo cercano, este sensor es capaz de detectar focos de luz como los procedentes de ciudades y pueblos, complejos industriales y otros fenómenos efímeros como los incendios forestales.

CARACTERÍSTICAS DEL SATELITE Y EL SENSOR

El DMSP mantiene en funcionamiento de forma simultánea dos satélites de órbita polar y heliosíncrona que operan a una altitud nominal de unos 830 Km. Esto le permite cubrir, en cada imagen, una franja de terreno de unos 3.000 Km de ancho. Cada satélite pasa sobre el mismo punto de la Tierra dos veces al día, lo que proporciona una cobertura global cada seis horas.

Los satélites de la serie DMSP cuentan con varios sensores orientados, básicamente, a la observación de fenómenos atmosféricos. Entre ellos destaca el OLS (*Operational Linescan System*), un sensor cuyas características le hacen especialmente indicado para aplicaciones no atmosféricas. Se trata de un equipo de barrido diseñado para facilitar información sobre la

cobertura de nubes. Este sensor adquiere imágenes diurnas y nocturnas de la Tierra en dos bandas espectrales: visible-infrarrojo cercano (0,58-0,91 μm) e infrarrojo térmico (10,3-12,9 μm). La señal de la banda visible se intensifica durante la noche mediante un tubo fotomultiplicador, que permite detectar valores de radiancia hasta cuatro veces inferiores a los medibles con bandas similares de otros sensores como Landsat-TM o NOAA-AVHRR.

El OLS puede adquirir imágenes con dos tipos de resolución espacial: plena, con un tamaño de píxel de 0,56 Km, y "suavizada", mediante el remuestreo a bordo de los datos originales, dando lugar a un tamaño de píxel de 2,8 Km.

APLICACIONES DE LAS IMÁGENES DMSP-OLS

Ya en los años 70 se puso de manifiesto el empleo potencial de las imágenes nocturnas procedentes del sensor OLS para la detección y cartografía de las luces procedentes de ciudades y otras fuentes de emisión como pozos petrolíferos e incendios (Croft, 1973, 1977, 1978). Estas imágenes resultaron ser igualmente útiles para la observación de la cobertura de nieve (Foster, 1983), de los asentamientos humanos y los patrones de consumo de energía (Welch, 1980; Sullivan, 1989). Todos estos estudios se llevaron a cabo con datos OLS en película fotográfica, lo que limitaba el alcance de las investigaciones, sobre todo en lo que se refiere a la resolución espacial y la precisión en la referenciación geográfica de los distintos eventos a analizar. Los datos digitales procedentes de los sensores a bordo de los satélites DMSP no estuvieron disponibles hasta el año 1992, por lo que sólo recientemente se han desarrollado aplicaciones basadas en la utilización de datos OLS en formato digital. La posibilidad de disponer de este tipo de datos ha hecho que, en los últimos años, se haya intensificado el empleo de las imágenes OLS en diversas aplicaciones. Así, las imágenes nocturnas del sensor OLS se han utilizado fundamentalmente para la cartografía de luces de ciudades a escala regional en áreas como Estados Unidos (Elvidge et al., 1996a) y América del Sur (Elvidge et al., 1996b). Los mapas de luces resultantes de los trabajos mencionados se han empleado para estimar la población, actividad económica y consumo de energía eléctrica de las áreas analizadas (Elvidge et al., 1996c). Por último, este tipo de imágenes se han utilizado igualmente para la detección de incendios a escala

regional en zonas de difícil acceso (Elvidge et al., 1995).

METODOLOGÍA

El método desarrollado para obtener un mapa de las luces de las ciudades se basa en el uso de series temporales de datos, con el fin de obtener el número suficiente de observaciones libres de nubes y poder distinguir espacialmente las luces estables de eventos efímeros como los incendios o los rayos (Elvidge et al., 1996b).

Para la realización del trabajo que aquí se presenta se han utilizado un total de 231 imágenes obtenidas en 1995 por el sensor OLS a bordo del satélite F-10. Estas imágenes fueron adquiridas en la fase lunar comprendida entre el cuarto menguante y el cuarto creciente (menos del 50% de iluminación lunar), por dos razones: 1) durante estas noches la ganancia en la banda visible presenta los más altos niveles mensuales, permitiendo la detección de pequeñas fuentes lumínicas presentes en la superficie terrestre; y 2) con bajos niveles de iluminación lunar es posible evitar confusiones debidas al reflejo de la luz de la luna sobre las nubes y el agua.

Tras la selección de las imágenes fue preciso abordar su corrección geométrica con objeto de facilitar el análisis multitemporal. Esta corrección se llevó a cabo utilizando un algoritmo de georeferenciación que proyecta el centro de cada píxel de la imagen a la superficie de la Tierra, basándose en parámetros orbitales del satélite y otras informaciones como el modelo digital del terreno.

Con objeto de conseguir una mayor coherencia espacial de la serie temporal de imágenes utilizada, se empleó una malla de referencia con una mayor resolución espacial que la imagen de entrada. Esta malla, con una cuadrícula de un kilómetro de lado, se georeferenció utilizando la proyección *Interrupted Goode Homolosine* (Steinwand, 1994). Esta proyección está optimizada para conseguir un tamaño de celda uniforme en todas las latitudes por lo que resulta muy apropiada para estudios a escala regional y/o global realizados con datos en formato raster. Las imágenes georeferenciadas se fijaron a esta malla localizando la celda más próxima a las coordenadas del píxel en cuestión y otorgando el valor de ese píxel a una ventana de 3x3 celdas de la malla.

Una vez ensamblada la serie temporal que pretendíamos analizar se procedió a la eliminación de todas las posibles fuentes de

confusión, que en este tipo de imágenes son fundamentalmente dos: el reflejo del sol y la nubes. El reflejo del sol, que se produce bajo determinadas condiciones de geometría de la observación, produce una saturación en la banda del visible que impide la utilización de estos datos para obtener información de otras fuentes de emisión. Para eliminar este efecto, se ha desarrollado un algoritmo automático que analiza los niveles digitales de la banda visible de la imagen en una ventana móvil de 40 x 40 píxeles. En el caso que todos los píxeles de la ventana alcancen el valor de saturación (nivel digital = 63), se consideran afectados por el reflejo solar y son excluidos de posteriores análisis.

La eliminación de nubes se realizó utilizando umbrales en el infrarrojo térmico, establecidos mediante observación visual de la imagen. Esta corrección, aunque tediosa, resulta imprescindible, pues una capa densa de nubes impediría la detección de las fuentes de emisión, mientras que las nubes poco densas tienden a difuminar las fuentes de emisión detectadas en la imagen, haciéndolas aparecer más grandes de lo que son en realidad.

Una vez corregidos y depurados los datos se procedió a identificar las fuentes de emisión en el canal visible-infrarrojo cercano. Para ello se utilizó un algoritmo de detección automática que está basado en el contraste entre la fuente de emisión y las superficies no iluminadas que forman el fondo de la imagen. Este algoritmo se aplica a una ventana móvil de 50 x 50 píxeles. Se considera que un píxel contiene una fuente de emisión cuando su valor es superior a la media de los píxeles de fondo que forman la ventana más cuatro desviaciones típicas.

Tras localizar las fuentes de emisión en todas las imágenes, es preciso identificar las estables, aquellas que aparecen de forma más o menos constante en todas las imágenes analizadas y que, por tanto, podemos catalogar como luces de ciudades. Para ello es preciso aislarlas respecto a las fuentes de emisión que aparecen sólo en una o varias imágenes y que podemos considerar correspondientes a otros fenómenos efímeros como pueden ser incendios forestales. Para poder establecer esta diferenciación, es preciso calcular el porcentaje de ocurrencias de aquellos píxeles que han sido catalogados como fuente de emisión. Para ello dividimos el número de veces que fue identificado el píxel en cuestión, entre el número de observaciones libres de nubes, multiplicando a continuación por 100. Finalmente fijamos un umbral de frecuencia del 10 %, aceptándose como luces estables sólo aquellas que

aparecen en, al menos, el 10 % de las observaciones libres de nubes.

RESULTADOS

El resultado final es una imagen raster que muestra, para cada píxel, la frecuencia (en %) con que las luces fueron detectadas en observaciones libres de nubes (figura 1).



Figura 1. Mapa de luces estables

La mayor parte de las ciudades fueron detectadas en más del 90% de los casos. Las luces de los núcleos de población de menor entidad espacial, en cambio, fueron detectadas con menor frecuencia debido a la resolución espacial del sensor que hace que bajo determinadas condiciones de observación y dependiendo del momento lunar algunas fuentes de emisión débiles no puedan ser detectadas.

La imagen nos ofrece una visión global de los núcleos urbanos del territorio peninsular español (figura 1), en la que resultan evidentes las grandes concentraciones de población en torno a la capital y en las zonas costeras, así como los vacíos demográficos, especialmente claros en el centro de España, con la lógica excepción del entorno urbano de Madrid.

A nivel provincial, se observa que la red urbana española aparece, desde el punto de vista de su localización espacial, profundamente desequilibrada. Así, algunas provincias como Guipúzcoa, Vizcaya, Alicante se caracterizan por una fuerte densidad de ciudades. En cambio otras como Soria y Zamora destacan por su escasa densidad de núcleos urbanos de cierta entidad. En

algunos casos estos se limitan, casi exclusivamente, a la capital provincial y áreas circundantes.

Estos patrones morfológicos pueden también analizarse numéricamente ofreciendo una forma original de estudiar la densidad de población urbana. Un simple estudio de correlación entre la densidad de luces por provincias y la densidad de población obtenida a partir de datos censales, arroja un coeficiente de correlación de Pearson de 0,797 y un ajuste logarítmico de 0,889 (fig. 2). Los ajustes más adecuados se encuentran en las provincias de interior, mientras que las costeras, de mayor presión turística, y las de poblamiento disperso (como Alava, Guipúzcoa, Pontevedra y Orense), ofrecen los peores ajustes.

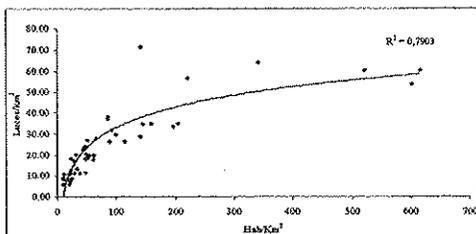


Figura 2. Correlación entre densidad de luces y densidad de población por provincias.

CONCLUSIONES

Conocer exactamente la distribución de la población en nuestro país nos puede ayudar a entender mejor los impactos humanos sobre los recursos naturales, así como mejorar los modelos sobre las consecuencias medioambientales que pueden tener los diferentes tipos de crecimiento económico. Los resultados presentados aquí indican que los datos del sensor OLS pueden ser usados para definir la distribución espacial de la población a escala regional y global.

REFERENCIAS

CAHOON, D.R.; STOCKS, B.J.; LEVINE, J.S. COFER, W.C. y O'NEILL K.P. (1992): *Seasonal distribution of African savanna fires*, Nature, vol. 359, pp. 812-815.

CROFT, T.A. (1973): *Burning waste gas in oil fields*, Nature, vol. 245, pp. 375-376.

CROFT, T.A. (1977): *Nocturnal images of the Earth from space*, Stanford Research Institute, Final Report prepared for the U.S. Geological Survey.

CROFT, T.A. (1978): *Nighttime images of the Earth from space*, Scientific American, vol. 239, pp. 86-98.

EIDENSHINK, J.C. y FAUNDEEN, J.L. (1994): *The 1 km AVHRR global land data set: first stages in implementation*, International Journal of Remote Sensing, vol. 15, n° 17, pp. 3343-3462.

ELVIDGE, C.D.; KROEHL, H.W.; KIHN, E.A.; BAUGH, K.E.; DAVIS, E.R. y HAO, W.M. (1995): *Algorithm for the retrieval of fire pixels from DMSP Operational Linescan System data*, en "Global Biomass Burning" (Levine, J.S. ed.), en prensa.

ELVIDGE, C.D.; BAUGH, K.E.; KIHN, E.A.; KROEHL, H.W. y DAVIS, E.R. (1996a): *Mapping city lights with nighttime data from the DMSP Operational Linescan System*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, en prensa.

ELVIDGE, C.D.; BAUGH, K.E.; KIHN, E.A.; KROEHL, H.W. y DAVIS, E.R. (1996b): *Nighttime lights of South America*, Global Change Biology, en prensa.

ELVIDGE, C.D.; BAUGH, K.E.; KIHN, E.A.; KROEHL, H.W.; DAVIS, E.R. y DAVIS C.W. (1996c): *Relationship between satellite observed visible-near infrared emissions, population, economic activity and electric power consumption*, International Journal of Remote Sensing, en prensa.

FOSTER, J.L. (1983): *Night-time observations of snow using visible imagery*, International Journal of Remote Sensing, vol. 4, n° 4, pp. 785-791.

STEINWAND, D.R. (1994): *Mapping raster imagery to the Interrupted Goode Homolosine projection*, International Journal of Remote Sensing, vol. 15, n° 17, pp. 3463-3471.

SULLIVAN, W.T. (1989): *A 10 km resolution image of the entire night-time Earth based on cloud-free satellite photographs in the 400-1100 nm band*, International Journal of Remote Sensing, vol. 10, n° 1, pp. 1-5.

WELCH, R. (1980): *Monitoring urban population and energy utilization patterns from satellite data*, Remote Sensing of Environment, vol. 9, pp. 1-9.