

DETERMINACIÓN DEL ESPESOR ÓPTICO DE AEROSOL SOBRE EL MAR MEDITERRÁNEO MEDIANTE EL USO DEL SENSOR SPOT 4-VEGETATION

F. J. EXPÓSITO(*), M. ARBELO(*), J. P. DÍAZ(*), P. A. HERNÁNDEZ-LEAL(*)
y J. VERDEBOUT(**)

fexposit@ull.es

(**)Universidad de La Laguna. Departamento de Física.*

Avda. Astrofísico Fco. Sanchez s/n. 38200 La Laguna. Tenerife.

(***) European Commission. Joint Research Centre. Space Applications Institute.
Via Fermi, TP261, I-21020 Ispra (VA) Italia.*

RESUMEN: Estudios recientes han mostrado la importancia de los aerosoles atmosféricos como agente modificador del clima. Estos constituyentes atmosféricos pueden afectar al clima tanto directamente, mediante la dispersión y absorción de la radiación, como indirectamente produciendo cambios en la distribución en tamaños y concentración de las gotículas que constituyen las nubes. Con objeto de evaluar su efecto en el clima es necesario disponer de un conocimiento completo de sus propiedades ópticas a escala global, para lo que es imprescindible el uso de satélites. Una de las principales propiedades ópticas de los aerosoles que puede ser medida con precisión desde satélite es el espesor óptico de aerosoles. El presente trabajo investiga las posibilidades que posee el programa Spot 4-Vegetation para calcular dicho parámetro sobre el Mar Mediterráneo.

ABSTRACT: Recent works have shown the importance of aerosols as a climate-forcing agent. Aerosols can affect climate both directly, by radiation scattering and absorption, and indirectly, by effecting changes in the cloud droplet concentration and size distribution. In order to assess the impact of aerosols on climate, it is necessary to have a complete knowledge of the aerosol optical properties on a global scale. This requires the use of satellite methods. One of the main aerosol optical properties that can be measured accurately by satellites is the aerosol optical depth. The main goal of this study is to check the availability of the Spot 4-Vegetation program computing the aerosol optical depth over the Mediterranean Sea.

Palabras clave: Espesor óptico de aerosoles, SPOT 4-Vegetation, Mediterráneo.

INTRODUCCIÓN

La Unión Europea, dentro del V Proyecto Marco, ha dado especial importancia al uso de la teledetección como herramienta para el estudio y análisis de parámetros ambientales dentro de su entorno de influencia. Así, junto con Bélgica, Francia, Italia y Suecia cofinancia el programa denominado Vegetation. Mediante este proyecto se pretende, entre otros objetivos, calcular diferentes propiedades ópticas de los aerosoles atmosféricos. En particular, el espesor óptico de aerosoles (AOD) es una de las principales propiedades que podría ser obtenida con este sensor. El presente trabajo muestra las posibilidades que posee este programa para dar con precisión dicho parámetro sobre una determinada área.

INSTRUMENTACIÓN Y METODOLOGÍA

El proyecto Vegetation se basa en un sensor que vuela a bordo del satélite Spot 4. Dispone de 4 canales en las siguientes bandas espectrales: Azul (0.43–0.47 μm), Rojo (0.61–0.68 μm), Infrarrojo próximo NIR (0.78–0.89 μm) e Infrarrojo de onda corta SWIR (1.58–1.75 μm). Dicho instrumento posee un 1 km de resolución espacial, 2250 km de ancho de barrido y completa 14 órbitas por día, por lo que, para aquellas regiones situadas por encima de los 35° N, adquiere datos al menos una vez al día. Por todo ello, dicho sensor parece especialmente apropiado para la obtención del espesor óptico de aerosoles a escala global.

Para poder calcular dicho parámetro es necesario procesar los datos generados por este instrumento y ob-

tener la reflectividad aparente (RA) en la parte superior de la atmósfera, en zonas libres de nubes y sobre la superficie del mar, así como los ángulos de observación, iluminación y de diferencia en acimut, para posteriormente compararlos con los valores de reflectividad previamente tabulados. Estos últimos han sido obtenidos utilizando el código de transferencia radiativa 6S (Vermote *et alii*, 1997). Para estos cálculos se ha supuesto un perfil atmosférico de latitudes medias en verano con un modelo de aerosoles marítimos a 10 espesores ópticos diferentes. Para la reflectividad terrestre se ha supuesto una superficie homogénea con efectos direccionales. La función BRDF empleada consiste en un modelo oceánico con velocidad del viento de 4.5 m/s, dirección del viento de 300°, salinidad del mar de 34.3 ppt y una concentración de pigmentos de 0.1 mg/m³. Estos datos corresponden a un promedio de 11 años (1985-1995) para la zona del Mediterráneo (NOAA 2001; NASA 2001; CNES 2001). La tabla generada o "look-up table" (LUT) posee una resolución de 5° para los ángulos cenitales de observación (VZA) y solar (SZA), 10° para la diferencia de ángulos acimutales (AAD) y 10 espesores ópticos: 0.007, 0.010, 0.018, 0.030, 0.050, 0.070, 0.120, 0.180, 0.300 y 0.500.

Para el cálculo preciso del AOD sólo se considerarán como datos válidos a aquellos que cumplan con el siguiente bloque de condiciones:

- Ángulo cenital de observación del satélite < 50°
- Ángulo cenital solar < 50°
- Ángulo reflexión solar > 50°
- Valor digital del fichero "Status map" de cada pase igual a 240 o 224 (excepto para la banda SWIR, la cual debe ser igual a 240)
- Desviación estándar de una caja móvil 3x3 para la banda 3 = 1 cuenta digital.

Las condiciones a) y b) aseguran una buena geometría de iluminación y observación (Spot, 2001; Frulla *et alii*, 1996). Con c) se evita la reflexión solar; d) elimina píxeles que contengan nubes altas, tierra o datos erróneos. La condición e) permite eliminar datos que incluyan nubes bajas, sombra de nubes (Simpson y Stitt, 1998) o nubes dispersas. Sólo a aquellos píxeles que pasen las condiciones antes indicadas se les calcula el AOD a partir de la comparación de las RA experimentales con las que se deberían obtener según una interpolación de la LUT.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con objeto de comprobar si la resolución con la que se ha implementado la LUT es suficiente se muestra en las figuras 1, 2 y 3 las RA para los 10 AOD implementados en la LUT, simuladas para geometrías típicas sol-satélite. Se observa como la variación en función de los ángulos cenitales tanto de observación como

de iluminación solar es muy suave, por lo que una interpolación no debería presentar ningún tipo de problemas.

Con respecto al AAD (Figura 3) aparece un pico en torno a 180°. Parece claro que para esa zona sería necesaria una resolución mejor de 10°. Sin embargo, un píxel válido no podrá tener valores de AAD en torno a esa zona ya que esto haría posible una visión directa de la reflexión especular del sol sobre la superficie del mar (píxeles no válidos). Fuera de esa zona, las variaciones de AR en función del AAD hasta 90° (o desde 270°) son suficientemente suaves como para considerar válida la resolución utilizada.

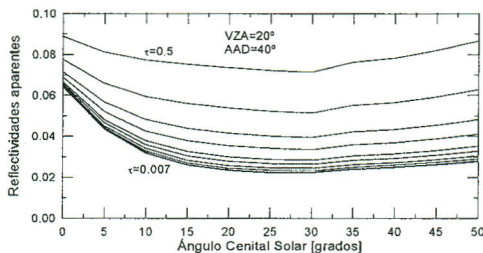


Figura 1. Reflectividades aparentes frente al ángulo cenital solar para una geometría típica sol-satélite.

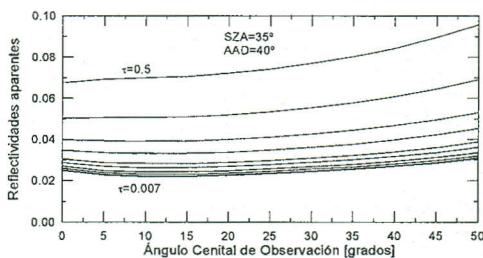


Figura 2. Reflectividades aparentes frente al ángulo cenital de observación para una geometría típica.

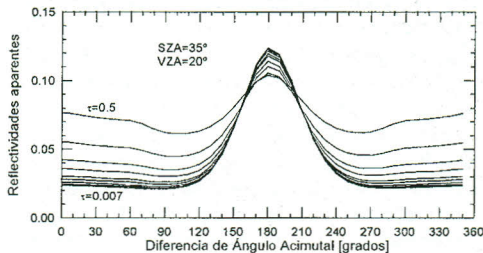


Figura 3. Reflectividades aparentes frente a la diferencia del ángulo acimutal para una geometría típica.

Para validar los datos de AOD calculados es necesario realizar una comparación de los mismos con datos terrestres obtenidos mediante espectrorradiómetros. Se ha utilizado para ello los datos de la red Aeronet (Aeronet 2001), aunque, lamentablemente para la fecha y región utilizados en este estudio sólo se ha podido disponer de datos con nivel 1.5, i.e., limpios de nubes pero sin haber pasado el control de calidad final. Además, dado que es necesario que ambos conjuntos de datos enlacen tanto en el tiempo como en el espacio, sólo unos pocos datos procedentes de la estación Venice Tower (JRC) han podido ser utilizados. Los datos del Vegetation corresponden al promedio de una caja 3x3 en torno a la estación. De estos pocos datos es muy difícil obtener ninguna conclusión válida.

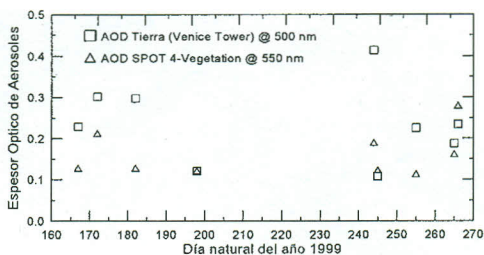


Figura 4. AOD obtenidos en tierra (Venice Tower: 45°18' N, 12°30' E, 10 m snm) y con el Vegetation.

Las figuras 5, 6 y 7 muestran el promedio mensual de AOD a 550 nm sobre el Mediterráneo para Junio, Julio y Septiembre de 1999. La última imagen muestra el promedio de las tres imágenes anteriores.

A partir de este estudio es evidente que el Vegetation posee una resolución apropiada no sólo espacial sino temporal para obtener el AOD en la columna atmosférica. Sin embargo, para determinar la exactitud y precisión de los valores de AOD obtenidos es necesaria una validación más extensiva con datos terrestres perfectamente contrastados.

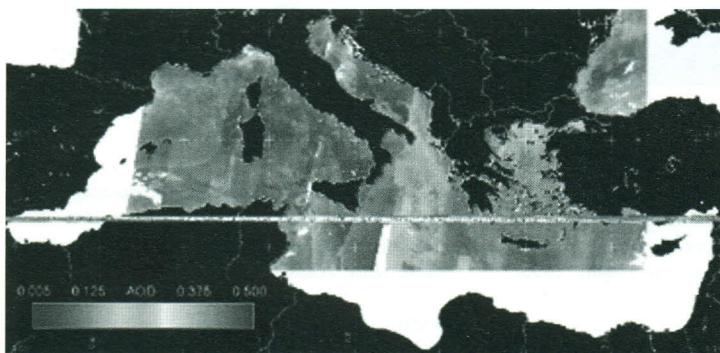


Figura 5. Imagen promedio de espesor óptico de aerosoles a 550 nm sobre el Mediterráneo para el mes de Junio de 1999. Las zonas en blanco indican nubes, datos incorrectos o ausencia de datos.

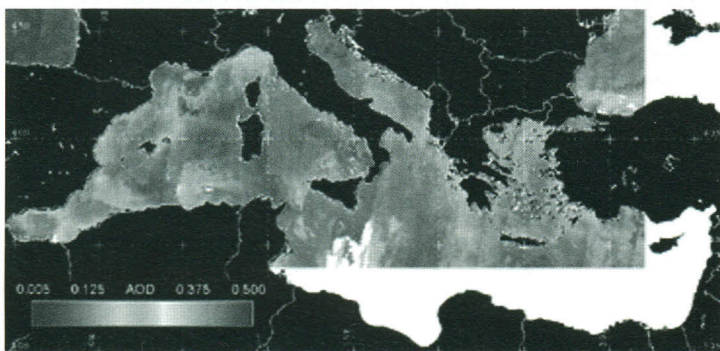


Figura 6. Imagen promedio de espesor óptico de aerosoles a 550 nm sobre el Mediterráneo para el mes de Julio de 1999. Las zonas en blanco indican nubes, datos incorrectos o ausencia de datos.

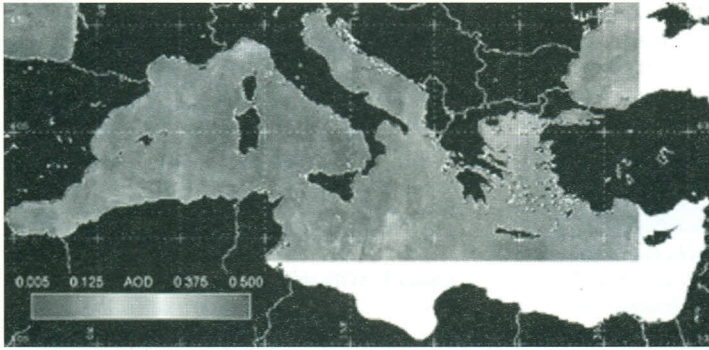


Figura 7. Imagen promedio de espesor óptico de aerosoles a 550 nm sobre el Mediterráneo para el mes de Septiembre de 1999. Las zonas en blanco indican nubes, datos incorrectos o ausencia de datos.

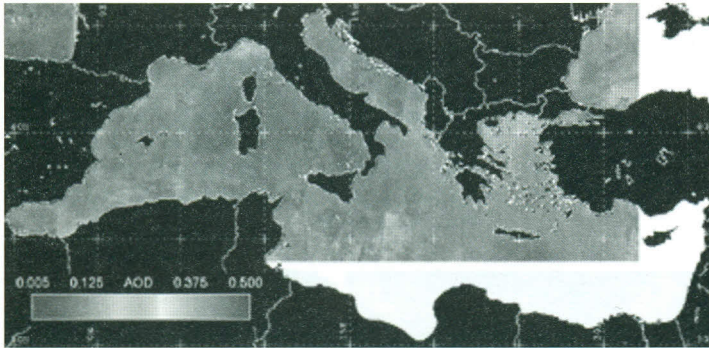


Figura 8. Promedio estacional de espesor óptico de aerosoles a 550 nm sobre el Mediterráneo para los meses de Junio y septiembre de 1999. Las zonas en blanco indican nubes, datos incorrectos o ausencia de datos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aeronet, 2001. <http://aeronet.gsfc.nasa.gov:8080>
 CNES, 2001. <http://sirius-ci.cst.cnes.fr:8090>
 Frulla, L.A., J.A. Milovich, D.A. Gagliardini, 1996. Illumination and observation geometry for NOAA-AVHRR images, *Int. J. Rem. Sens.*, 16, 2233-2253.
 NASA, 2001. <http://podaac.jpl.nasa.gov/topex>
 NOAA, 2001. <http://wesley.wvwb.noaa.gov>
 SIMPSON, J. J., STITT, J. R., 1998. A procedure for the detection and removal of cloud shadow from AVHRR data over land. *IEEE Trans. Geosc. Rem. Sens.*, 36, 3, 880-897.

- Spot, 2001. <http://www.spotimage.fr/data/images>
 VERMOTE, TANRÉ, DEUZÉ, HERMAN, MORCRETTE, 1997. Second Simulation of Satellite Signal Solar Spectrum. *IEEE Trans. Geosc. Rem. Sens.*, 35, 675-686.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado gracias a una beca de estancia en otros centros del Gobierno de Canarias, Dirección General de Universidades e Investigación. Asimismo, hemos recibido una subvención por parte de la Universidad de La Laguna, proyecto precompetitivo nº 1802260003.