TELEDETECCIÓN - Hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional Ed. Martin, 2007, ISBN: 978-987-543-126-3

Variación de parámetros de aerosoles MODIS en función del tipo de masas de aire en Canarias.

Díaz, Ana M. a,1; García, O. E. a; Expósito, F. J. a; Díaz, J. P. b

^(a) Departamento de Física Experimental Electrónica y Sistemas, Facultad de Física, Universidad de La Laguna. A/Astrofísico Fco. Sánchez s/n 38205 La Laguna, Tenerife, España.
 ^(b) Departamento de Física Básica, Facultad de Física, Universidad de La Laguna. A/Astrofísico Fco. Sánchez s/n 38205 La Laguna, Tenerife, España.

RESUMEN

Para evaluar la influencia de los aerosoles atmosféricos en el balance radiativo del sistema Tierra-Atmósfera es necesario determinar sus propiedades físico-químicas. En este trabajo se han evaluado las principales propiedades radiativas de estos componentes atmosféricos según el tipo de masas de aire que llega a una estación situada en Tenerife, Islas Canarias, durante el periodo 2000-2005. Los parámetros de aerosoles evaluados (radio efectivo, espesor óptico de aerosoles y fracción fina) han sido proporcionados por el sensor MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer).

Palabras clave: aerosoles, propiedades radiativas

ABSTRACT

In order to evaluate the influence of the atmospheric aerosols in the radiative budget of the Earth-Atmosphere system it is necessary to determine the physic-chemical properties. In this work the main radiative properties have been evaluated according to the air masses that arrive at one station located in Tenerife, Canary Islands, during the period 2000-2005. The evaluated aerosol parameters (effective radius, aerosol optical depth and fine fraction) have been provided by the sensor MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer).

Keywords: aerosols, radiative properties

Introducción

Los aerosoles atmosféricos intervienen y modifican el balance de energía del sistema Tierra-Atmósfera, siendo el forzamiento radiativo de estos componentes atmosféricos el que presenta una de las mayores incertidumbres (IPCC 2007 4AR http://www.ipcc.ch). La determinación de esta magnitud lleva aparejada además importantes problemas, dada la gran variabilidad temporal y espacial que presentan los aerosoles. Así, las medidas desde tierra no son suficientes para describir las inhomogeneidades de sus características, siendo necesarias las medidas de sensores remotos. En este sentido el sensor MODIS (MODerate resolution Imaging Spectrometer) que vuela a bordo de los satélites Terra y Aqua, pertenecientes a NASA, EE.UU., permite realizar una amplia caracterización radiativa de estos componentes atmosféricos (Kaufman y Tanré, 1998). Para derivar sus propiedades cuenta con siete canales espectrales en el rango 0.41–2.13 mm. El espesor óptico y el radio efectivo sobre el océano han sido validados con datos de 132 estaciones pertenecientes a la red de aerosoles AE-RONET (Aerosol Robotic Network, Holben et al., 1998). Las incertidumbres obtenidas son:

¹ Contacto autor: Te: +34 922 318227 Fax: +34 922 318228

Correo electrónico: adiazr@ull.es

Copyright: Universidad Nacional del Centro de la provincia de Buenos Aires, Argentina.

 \pm 0.03 \pm 0.05 EOA para el espesor óptico de aerosoles (EOA) sobre océano (Tanré et al., 1999) y Dr_{eff} = \pm 0.11 mm para el radio efectivo (Remer et al., 2002).

Las Islas Canarias (28.5°N 16.3°W), dada su situación geográfica, se ven afectadas principalmente por aerosol marítimo y frecuentemente por polvo mineral procedente del continente africano, lo que les confiere unas condiciones excelentes para el seguimiento e investigación de las propiedades radiativas de estos componentes atmosféricos.

Metodología

Las propiedades radiativas de los aerosoles atmosféricos dependen en gran medida de la fuente de origen, lo que hace necesario la caracterización de las masas de aire que llegan a esta región. En este sentido se ha tenido en cuenta que el transporte de polvo mineral desde el continente africano tiene una estacionalidad marcada, siendo este transporte en capas bajas durante la estación fría (octubre a marzo) v en capas altas en la estación cálida (abril a septiembre) (Díaz et al., 2006). Así, en este trabajo se han calculado retrotrayectorias isentrópicas diarias para una estación localizada en Santa Cruz de Tenerife, SCT, (28.5°N 16.3°W) a dos niveles de altitud: superficie y 2300 m.s.n.m. La altitud del segundo nivel se establece encima de la altitud promedio de la base de la inversión de temperatura presente durante todo el año en esta región (Torres et al., 2002). Las retrotrayectorias se han calculado con el modelo HYSPLIT4 (Draxler y Hess, 1997) a las 12 UTC durante el periodo 2000-2005. La clasificación de éstas se ha realizado aplicando análisis de conglomerados en las que las variables que describen cada retrotrayectoria corresponden a los tiempos de residencia en los distintos sectores geográficos por los que se desarrollan, así como la altura en cada uno de ellos (Díaz et al., 2006). En cada nivel se obtienen cuatro tipos de masas de aire que se describen a continuación: africanas, aquellas que transportan polvo mineral desde el continente africano; masas de aire que se desarrollan en la troposfera libre; masas de aire marítimas y finalmente un cuarto grupo en el que se tiene una mezcla de diferentes tipos de aerosoles: antropogénico, marítimo y polvo mineral. En este trabajo nos hemos centrado en evaluar los casos «puros» de polvo mineral y de aerosol marítimo. Para una completa caracterización de los mismos se ha introducido en el análisis el índice de aero

soles, AI, proporcionado por el sensor TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) a bordo del satélite Earth Probe. Este sensor mide radiancias retrodispersadas en la región ultravioleta del espectro solar, lo que le permite identificar aerosoles absorbentes en este rango espectral como el polvo mineral (Torres et al., 1998). En este trabajo se han tomando los valores del overpass (versión 8) de este sensor sobre Tenerife. En base a lo anterior, se han seleccionado los días de transporte de polvo mineral (AA) como aquellos en los que las masas de aire que llegan a cualquiera de los dos niveles están clasificadas como africanas con valores de Al>1; y masas de aire marítimas (MM) aquellas masas que se han desarrollado sobe el Océano Atlántico en los dos niveles, en las que además el AI <1.

Para evaluar las propiedades radiativas de estos componentes atmosféricos se han evaluado las siguientes variables MODIS: espesor óptico sobre mar a 550 nm (EOA), los correspondientes espesores ópticos en los modos grueso (EOA_L) y fino (EOA_S) a la misma longitud de onda, radio efectivo (r_{eff}) y la fracción que el EOA del modo fino representa sobre el total (F). En este estudio se han tomado los valores que proporciona el sensor MODIS a bordo del satélite Terra cuyo pase sobre la región de estudio oscila entre las 11:00 y las 12:00 hora local. Estos valores se han promediado tomando los píxeles en una caja de ± 0.5° centrada en la estación de SCT.

En la siguiente figura (Fig. 1), se muestra como ejemplo retrotrayectorias tipo AA para ambos niveles sobre la imagen de EOA MODIS a 550 nm durante un evento de polvo mineral sobre las islas.



Fig. 1. EOA MODIS a 550 nm el 5 de octubre de 2002, en la que se han superpuesto las retrotrayectorias a diferentes alturas sobre la estación SCT.

Resultados y discusión

Con la metodología descrita anteriormente se han identificado 286 casos de transporte directo de polvo mineral sobre el archipiélago y 170 casos caracterizados por aerosol marítimo. En las figuras 2 y 3 se representan los diagramas de cajas de las distribuciones de los valores de espesor óptico, radio efectivo y fracción fina respectivamente, para cada masa de aire. En ellas, cada caja representa el 50% de los datos, siendo la línea central la mediana y sus extremos el primer y tercer cuartil de la distribución. Los extremos de los segmentos que salen de la caja son los valores que delimitan el 95% de los datos y finalmente los círculos representan los valores extremos.

Para determinar si las distribuciones de las variables analizadas son similares para los dos tipos de masas de aire se ha evaluado en primer lugar la forma de la distribución y homogeneidad de la varianza, con el objetivo de aplicar la prueba ANOVA a los valores promedios obtenidos. Dado que las distribuciones de estas variables no se ajustan a una distribución normal y tampoco se verifica una igualdad de la varianza ha sido necesario aplicar las pruebas no paramétricas análogas: U de Mann-Whitney y Z de Kolmogorov-Smirnov. En la Tabla 1 se presentan la significación estadística de las dos pruebas, de forma que cuando este parámetro toma valores inferiores a 0.05 se rechaza la hipótesis nula que establece que no existen diferencias significativas entre grupos con un 95% de confidencia. En negrita se han resaltado los casos en los que se cumple la hipótesis.

 Tabla 1. Significación estadística de las pruebas no paramétricas.

test	EOA	EOAL	EOAs	r _{eff}	F
U	0,00	0,00	0,00	0,29	0,04
Z	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Estos resultados muestran que ambos tipos de aerosoles son diferentes en los valores de espesor óptico total y por modos (grueso y fino), así como en la fracción fina con un 95% de confidencia. Por otro lado, las pruebas muestran resultados diferentes en el caso del radio efectivo, mientras la prueba U de Mann-Whitney implica que no existe diferencia en el radio efectivo, la Z de Kolmogorov-Smirnov muestra lo contrario. Esto se debe a que esta última no solo comprueba las diferencias en la localización sino además en la forma de la función de distribución.



Fig 2. Diagrama de cajas de los espesores ópticos a 550 nm para los dos tipos de aerosoles durante el periodo 2000-2005.



Fig 3. Diagrama de cajas del radio efectivo (a) y fracción fina (b) para los dos tipos de aerosoles durante el periodo 2000-2005.

Los valores de espesor óptico obtenidos caracterizan los diferentes tipos de masas de aire y por tanto el aerosol que transportan como indican las pruebas no paramétricas. Así, el espesor óptico promedio encontrado para el aerosol marítimo es 0.09 ± 0.03 , 3.5 veces más pequeño que el asociado al polvo mineral cuyo promedio es 0.33 ± 0.28 . Esta diferencia también se mantiene en el valor promedio del EOA en modos grueso y fino. Los valores obtenidos para el polvo mineral son:

 $EOA_{L} = 0.15 \pm 0.14$ y $EOA_{s} = 0.17 \pm 0.14$, mientras que en el caso de aerosol marítimo el espesor óptico promedio para los modos grue so y fino es el mismo: $EOA_L = EOA_S = 0.04 \pm 0.02$. En cuanto a la fracción fina los valores promedios obtenidos son 0.52 ± 0.14 y

0.48 ± 0.20 para polvo mineral y aerosol marítimo respectivamente. Estos valores de fracción fina concuerdan con los resultados proporcionados por Kaufman et al., (2005) en el caso de polvo mineral, 0.5 ± 0.05 , si bien, en el caso del aerosol marítimo el promedio dado en este último estudio es ligeramente inferior, 0.3 ± 0.1 . Las diferencias entre ambos valores pueden deberse a las distintas regiones evaluadas en este último trabajo (0-30ºS) y la región costera de SCT (28.3ºN, 16.5ºW) en nuestro caso. Por otra parte, es de resaltar que los valores de F encontrados entorno a 0.5, indican que los modos de la distribución tienen el mismo efecto radiativo para los dos tipos de aerosol estudiados

Finalmente, no hemos encontrado diferencias apreciables entre los valores promedio del radio efectivo (r_{eff}), 0.64 ± 0.19 y 0.72 ± 0.34 para el polvo mineral y aerosol marítimo respectivamente.

Podemos concluir que para estimar el tipo de transporte en la región es necesario combinar con los valores de EOA la información de la fracción fina, así como el análisis de retrotrayectorias, dado que los valores de radio efectivo encontrados no nos permiten distinguir el distinto tipo de aerosol presente.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos REN2001-0609-C02/CLI, CGL2004-05984-C07-05, CGL2005-03428-C04-02 y PI042005/033. También agradecer los datos proporcionados por los grupos MODIS y TOMS

Referencias

- Díaz, A.M., Díaz, J.P., Expósito, F.J., Hernández-Leal, P.A., Savoie, D. y Querol, X. 2006. Air mases and aerosol chemical components in the free troposhere at the Subtropical Northeast Atlantic Region, Journal of Atmospheric Chemistry. 53:63-90, doi: 10.1007/ s10874-006-2644-5..
- Draxler, R.R., Hess, G.D., 1997: Description of the Hysplit4 modeling system. NOAA Tech Memo ERL ARL–224, U.S.A., 24p.
- Holben, B.N., Eck T.F., Slutsker I., Buis J.P., Setzer A., Vermote E., Reagan J.A., Kaufman Y., Nakajima T., Lavenu F., Jankowiak I. and A. Smirnov, 1998. AERONET – a federated instrument network and data archi-

ve for aerosol characterization, Remote Sensing Environment., 66:1-16.

Intergovernmental Panel on Climate Change 2007 Fourth Assessment Report Summary. Paris, February 2007. (http:// www.ipcc.ch)

- Kaufman, Y.J. and D. Tanré, 1998. Algorithm for remote sensing of troposheric aerosol from MODIS. [http://modis.gsfc.nasa.gov/].
- Kaufman, Y.J., Koresn, I., Remer, L.A., Tanré, D., Ginoux, P. y Fan, S. 2005. Dust transport and deposition observed from the Terra-Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) spacecraft over the Atlantic Ocean, Journal of Geophysical Research, 110, doi:10.1029/2003JD004436.
- Remer, L.A., Tanré, D., Kaufman, Y.J., Ichoku, C., Mattoo, S., Levy, R.C., Chu, D.A., Holben, B.N., Dubovik, O., Smirnov, A., Martins, J.V., Li, R.R. y Ahmad, Z. 2002. Validation of MODIS aerosol retrieval over ocean, Geophysical. Research Letters, 29 (12):1-4.
- Tanré, D., Remer, L.A., Kaufman, Y.J., Mattoo, S., Hobbs, P.V., Livingston, J.M., Russell, P.B. y Smirnov, A. 1999. Retrieval of aerosol optical thickness and size distribution over ocean from the MODIS Airborne Simulator during TARFOX, Journal of Geophysical Research, 104:2261-2278.
- Torres, O., Bhartia P.K., Herman J.R., Ahmad Z. and J. Gleason, 1998. Derivation of aerosol properties from satellite measurements of backscattered ultraviolet radiation: Theoretical basis. Journal of Geophysical Research, 103, 17099-17110.
- Torres C., Cuevas E. and J. C. Guerra, 2002: Characterization of the marine boundary layer and the free troposphere in the subtropical region over Canary Islands, 3th Spanish-Portuguese Assembly of Geodesy and Geophysics, Valencia, Spain.