

ESTUDIO DEL ÍNDICE DE AEROSOL DEL TOMS PARA LA PREDICCIÓN DE LAS INTRUSIONES DE POLVO SAHARIANO EN LAS ISLAS CANARIAS

Pilar Rípodas (1)
Xavier Calbet (2)
Juan José Bustos (2)
Daniel Cano (1)

(1) CMT en Canarias Oriental INM
(2) CMT en Canarias Occidental INM

RESUMEN

Se realiza una climatología de las invasiones de polvo sobre las Islas Canarias a partir de la serie de imágenes de índice de aerosoles del TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) de NASA's Goddard Space Flight Center a bordo del Nimbus7, pudiendo diferenciar tres periodos diferentes durante el año: Desde enero y hasta finales de mayo las intrusiones de polvo no son muy frecuentes pero pueden llegar a ser intensas, desde finales de mayo hasta mediados de octubre son más frecuentes e intensas y desde mediados de octubre hasta diciembre son poco frecuentes y de menor intensidad. En general las intrusiones de polvo en invierno afectan más a la población porque el polvo entra en niveles más bajos que en verano. Se presenta una nueva herramienta para predecir las invasiones de polvo sobre las islas Canarias que combina información del TOMS/EarthProbe y de las *retrotrayectorias* previstas calculadas con el modelo numérico HIRLAM (<http://pc5gpy-lpa/toms/index.html>), mostrándose su utilidad.

1. Introducción

La distribución espacial y temporal de aerosoles troposféricos tiene un papel muy importante sobre el clima debido al forzamiento radiativo de los mismos. Es por ello que existen numerosos satélites que estiman la carga de aerosoles en la atmósfera (King, Kaufman y otros, 1999). En concreto el instrumento TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) de NASA's Goddard Space Flight Center, proporciona una imagen diaria global de aerosoles troposféricos. Este instrumento ha estado a bordo de diferentes satélites polares desde 1978 hasta el presente (Nimbus-7 octubre 1978-mayo 1993, Meteor-3 agosto 1991-noviembre 1994, ADEOS julio 1996-junio 1997, Earth Probe julio 1996-hasta el presente).

El instrumento TOMS detecta la presencia de aerosoles absorbentes de radiación Ultra Violeta (UV) tales como polvo y cenizas a partir de la diferencia entre el *scattering* hacia atrás de radiación UV observada y la que cabría esperar si fuera *scattering* Rayleigh puro (ausencia de dichos aerosoles). El TOMS proporciona un índice de aerosoles (AI) calculado como el contraste espectral entre los canales de 340 y 380 nm (Herman, Bhartia y otros, 1997; Torres, Bhartia y otros, 1998). El AI depende del espesor óptico de aerosoles (AOT), de la altura de la capa de aerosoles, de las propiedades ópticas de los aerosoles y del ángulo de visión del instrumento. Basándose en medidas de fotómetros solares desde tierra se observa una relación aproximadamente lineal entre las variaciones diarias de AOT y AI, (Hsu, Herman y otros, 1999); habiendo una pequeña variación espacial y estacional del coeficiente de regresión entre AOT y AI atribuida a variaciones en la altura de la capa de aerosoles. La resolución del instrumento es de 50 x 50 km en el nadir (Herman, Bhartia y otros, 1997).

El AI del TOMS es útil en relación a los fenómenos de calima sobre la zona de Canarias porque el polvo sahariano es un aerosol troposférico que absorbe radiación UV. Como aspecto positivo el TOMS detecta aerosoles tanto sobre la tierra como sobre el agua (Herman, Bhartia y otros, 1997). Por el contrario tiene el inconveniente de no distinguir aerosoles por debajo de aproximadamente un kilómetro sobre la superficie y además no distingue entre una situación libre de aerosoles absorbentes y una situación en la que estos aerosoles están oscurecidos por nubes (Herman, Bhartia y otros, 1997).

En este trabajo se realiza una climatología de las intrusiones de polvo sahariano en Canarias a partir de las imágenes del TOMS/Nimbus7 sobre las islas. También se presenta una herramienta que sirve de apoyo para la predicción de las intrusiones de polvo sobre el archipiélago canario que se fundamenta en la idea

de combinar la información que aporta la imagen del TOMS con la de las *retrotrayectorias* isentrópicas previstas para el archipiélago.

2. Climatología de intrusiones de polvo sahariano en Canarias a partir de las imágenes del TOMS

Se ha considerado la serie de imágenes de AI proporcionadas por el TOMS a bordo del satélite Nimbus-7 por ser la serie más larga disponible de AI proporcionada por un mismo instrumento. Se dispone de una imagen global diaria de AI desde noviembre de 1978 hasta mayo de 1993. Los valores de AI están disponibles en una rejilla regular de $1,25^\circ$ en longitud por 1° en latitud en todo el globo. En cada imagen existen zonas en las que no existe dato de AI debido al reflejo en el punto nadir sobre puntos del océano cada seis días (frecuencia de sobrevuelo del satélite).

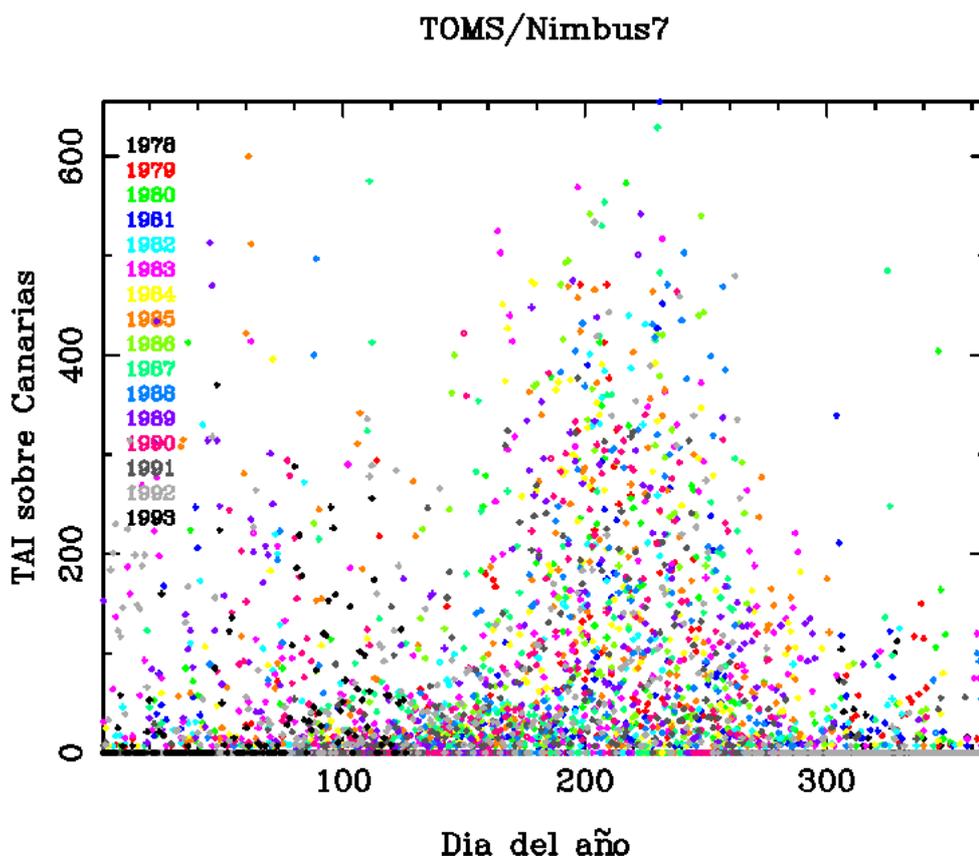


Figura 1: TAI (suma de $AI > 0.7$) en la ventana de Canarias para cada día del año para todos los años disponibles del TOMS/Nimbus7. Los puntos representan los valores de TAI para cada día.

El AI toma valores entre -2 y 4.5 aproximadamente siendo positivos en general en presencia de aerosoles absorbentes en UV (polvo y cenizas) mientras que valores negativos significan ausencia de dichos aerosoles. En cualquier caso se ha tomado como límite inferior un valor de AI de 0.7 para considerar que existen aerosoles en el punto correspondiente.

Se ha escogido una ventana rectangular desde $18,125^\circ$ W hasta $11,875^\circ$ W y desde 27° N hasta 30° N que corresponde a 18 puntos de rejilla de la imagen global y que contiene al archipiélago canario. Se ha calculado una serie temporal en la que para cada día de la serie TOMS/Nimbus-7 se ha calculado la suma del AI para todos los puntos de la ventana en los que $AI > 0.7$. Este valor, que llamamos TAI, nos da información sobre la cantidad total de aerosoles sobre la ventana escogida. El TAI calculado puede estar subestimado debido a que puede haber puntos de rejilla en la ventana en los que falte el dato.

En la figura 1 se representa para cada día en el periodo del 1 de noviembre de 1978 hasta el 6 de mayo de 1993, el valor de TAI (suma de AI>0.7) sobre la ventana escogida en función del día del año (valores de 1 a 365/366). Cada año aparece en un color diferente.

A partir de la figura 1 podemos dividir el año en tres épocas diferentes:

-Los primeros meses del año hasta finales de mayo en los que el TOMS observa pocas intrusiones de polvo pero algunas muy intensas.

-Los meses de verano, desde finales de mayo hasta mediados de octubre en los que se observan numerosas e intensas intrusiones de polvo.

-Los últimos meses del año, desde mediados de octubre hasta diciembre, se observan pocas intrusiones de polvo y de poca intensidad.

En este punto no cabe olvidar el hecho de que el TOMS no distingue adecuadamente el polvo por debajo de 1 km y que la altura del polvo no es la misma en todas las épocas del año. Durante el verano del hemisferio norte, el polvo que se origina en África atraviesa el Océano Atlántico en una capa confinada a unos pocos kilómetros de altura sobre la superficie (Carlson y Prospero, 1972; Bustos, Cuevas y otros, 1998); por el contrario, el transporte en invierno a través del Atlántico tiene lugar adyacente a la superficie (Chiapello, Bergametti y otros, 1995; Bustos, Cuevas y otros, 1998). En los meses de verano hay eventos de intrusión de polvo sahariano en niveles altos sobre las islas Canarias que no afectan directamente a la población, que es más sensible a las intrusiones de polvo en niveles más bajos.

3. Cálculo de trayectorias isentrópicas

El análisis isentrópico tiene gran importancia por el hecho de que, siempre que los procesos de condensación, evaporación, y cualquier otra fuente de calentamientos (o enfriamientos) diabáticos puedan considerarse despreciables, las parcelas de aire conservarán en su movimiento su temperatura potencial. Así las trayectorias isentrópicas son las que más se ajustan con diferencia a las trayectorias reales (Danielssen, 1961).

Se han utilizado los comandos desarrollados por el Servicio de Técnicas de Análisis y Predicción (STAP) del Instituto Nacional de Meteorología (INM) para el cálculo de campos y trayectorias sobre superficies isentrópicas en el entorno SAIDAS (García y Elizaga, 1996). Se ha implementado en el sistema SAIDAS del CMT en Canarias Oriental el cálculo automático de trayectorias isentrópicas retrógradas previstas a +24 y +48 horas en diferentes niveles, 285 K, 288 K, 290 K, 293 K, 295 K, 298 K, 300 K, 303 K, 305 K, 308 K, 310 K, 313 K, 315 K, 318 K, 320 K y 323 K, utilizando los campos del modelo HIRLAM.

Se calculan las *retrotrayectorias* en cinco puntos geográficos diferentes, porque la experiencia nos dice que según la situación sinóptica puede ocurrir que el origen de las masas de aire que llegan al archipiélago canario sea diferente en distintos puntos del mismo. Esto es debido a que la extensión geográfica del archipiélago es grande, especialmente en longitud. Las coordenadas de los cinco puntos son 28,5° N 18° W (al SW de La Palma), 27,5° N 18° W (al S de El Hierro), 28,5° N 16° W (al NE de Tenerife), 27,5° N 16° W (al SW de Gran Canaria) y 28,5° N 14° W (Centro de Fuerteventura).

La relación entre niveles isentrópicos e isobáricos depende de la época del año y del estado de la atmósfera. Con el rango de niveles isentrópicos escogido, de 285 K a 323 K, a intervalos de 2 ó 3 K, nos aseguramos tener *retrotrayectorias* en diferentes niveles verticales desde superficie hasta por lo menos 500 mb, rango vertical en el que tenemos interés. Según la época del año y el estado de la atmósfera algunos de estos niveles isentrópicos corresponderán a niveles irrealmente bajos o excesivamente altos, y sólo se consideran las *retrotrayectorias* para las que el nivel isobárico del punto de destino se encuentra en el rango 1000 – 500 mb.

4. Herramienta para la predicción de las incursiones de polvo sahariano en las Islas Canarias

Se ha desarrollado una herramienta que consiste en representar gráficamente las *retrotrayectorias* previstas a +48 horas para cada uno de los cinco puntos geográficos sobre la imagen del TOMS/EarthProbe en la región rectangular delimitada por los puntos de coordenadas (10° N, 60° W) y (50° N, 20° E). Así mismo se representan los perfiles verticales de las *retrotrayectorias*. Estas gráficas se generan de forma automática y se pueden visualizar desde una página web interna (<http://pc5gpv-lpa/toms/index.html>) y están disponibles cada día para hacer la predicción del día siguiente.

La imagen del TOMS nos da información sobre la presencia de polvo en suspensión en las proximidades de las islas y las *retrotrayectorias* nos dicen de dónde proceden las masas de aire que llegan al archipiélago en diferentes niveles. Cuando algunas trayectorias tienen su origen en una zona geográfica en la que hay polvo, se asume que este polvo se encuentra en el nivel de las trayectorias correspondientes y se predice que entrará polvo sobre las islas en esos niveles. La falta de información sobre la altura a la que se encuentra el polvo en suspensión detectado por el TOMS constituye un punto débil de esta herramienta.

Esta herramienta se ha estado utilizando desde mediados de julio de 2001, dando buenos resultados en general. Durante este tiempo no ha ocurrido ningún evento de intrusión de polvo sahariano especialmente relevante por su intensidad y efectos sobre la población. Se han producido entradas de polvo en niveles altos, funcionando adecuadamente la herramienta en estos casos. Hay que esperar a que se produzcan intrusiones en niveles más bajos, que se dan principalmente en los meses de invierno, para poder evaluar adecuadamente la utilidad de la herramienta.

Como muestra de su utilidad en la figura 2 podemos ver un ejemplo para el punto geográfico 28,5° N 16° W (al NE de Tenerife). La imagen del TOMS corresponde al día 30 de julio de 2001, sobre ella se representan las *retrotrayectorias* dos días hacia atrás previstas para el día 1 de agosto de 2001 a las 12 horas para diferentes niveles isentrópicos. Se ha representado en negro las zonas para las que el TOMS no tiene dato. Se puede apreciar que la masas de aire que llegan a las islas en niveles altos provienen de África, de una zona en la que hay polvo según la imagen del TOMS. Para los niveles más bajos las masas de aire provienen del Atlántico.

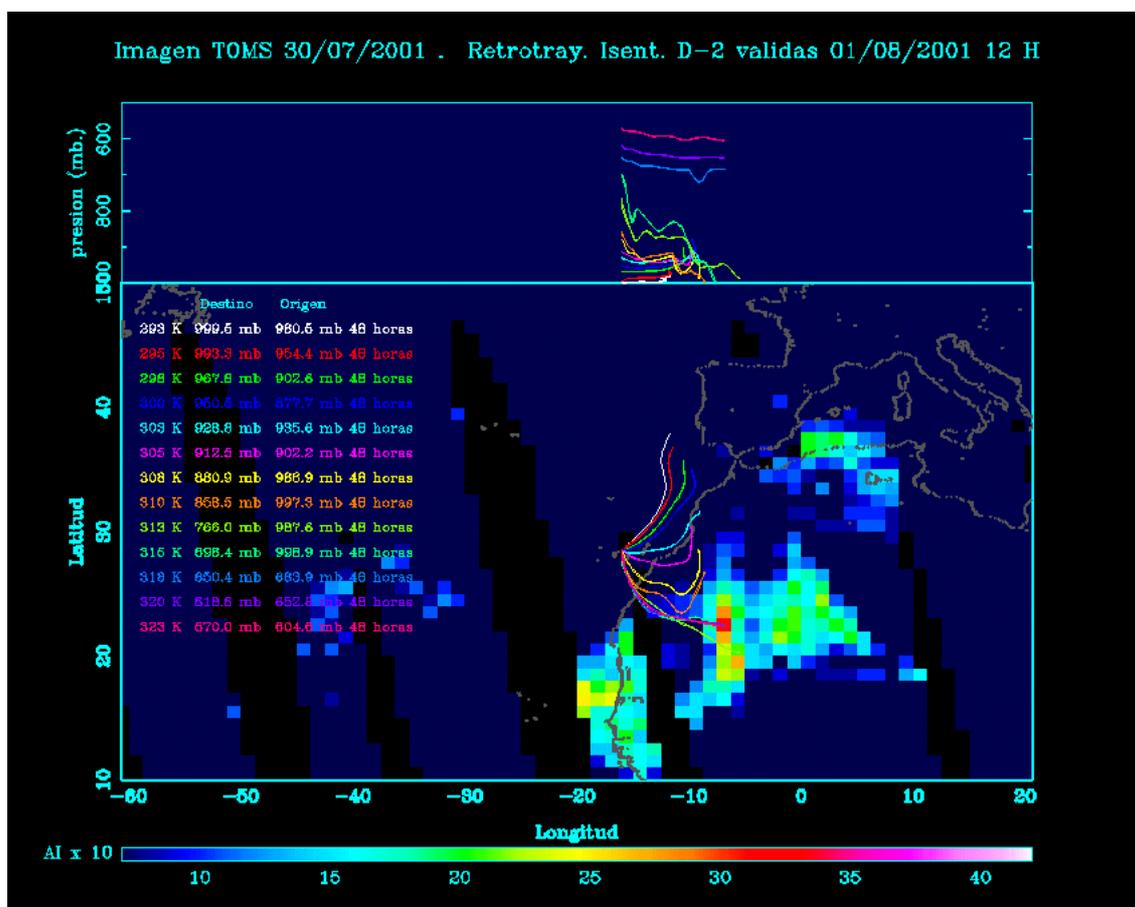


Figura 2: En la figura aparecen las *retrotrayectorias* dos días hacia atrás previstas para el día 1 de agosto de 2001 para el punto geográfico 28,5N 16W para diferentes niveles isentrópicos sobre la imagen del TOMS del día 30 de julio de 2001.

Esta imagen disponible el día 31 de julio a las 6 horas aproximadamente, permite predecir una entrada de polvo sobre las islas en niveles altos para el día 1 de agosto de 2001. Las observaciones de Izaña (Tenerife, 2360 m de altitud) del día 1 de agosto confirman la entrada de polvo en niveles altos, la

visibilidad ha pasado de ser de más de 30 km a las 06 horas, a tan sólo 7 km a las 09 horas. La imagen del TOMS del día 1 de agosto (ver figura 3) muestra la presencia de aerosoles sobre las islas.

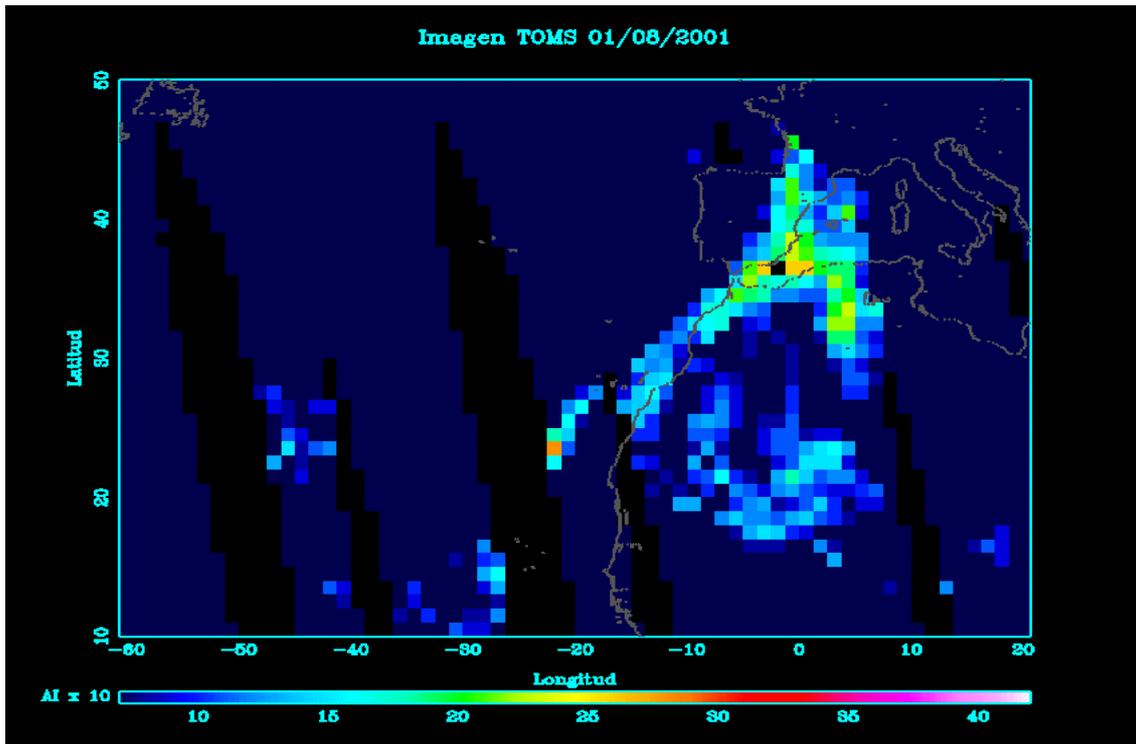


Figura 3: Imagen del TOMS del día 1 de agosto de 2001. Las zonas en negro son aquellas para las que no hay dato del TOMS.

Sin embargo el día 1 de agosto se produjo otra invasión de polvo en niveles más bajos que afectó principalmente a Fuerteventura y Lanzarote y en menor medida a Gran Canaria. Se debió a que el frente de racha de una gran tormenta cerca de la costa africana empujó en unas pocas horas una gran masa de polvo hacia el archipiélago. Esto se puede apreciar claramente en las imágenes de Meteosat de ese día (<http://pc5gpv-lpa/toms/polvo1.html>; figura 4). Lógicamente este tipo de fenómenos no pueden preverse con la herramienta desarrollada debido a su escala temporal, y requieren de tareas de vigilancia.

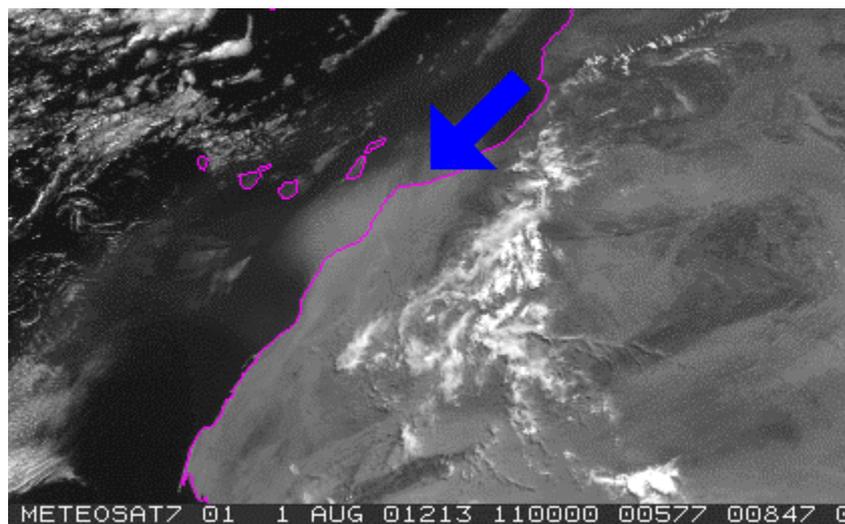


Figura 4: Imagen visible de Meteosat del 1 de agosto de 2001. Se observa una densa nube de polvo acercándose a Fuerteventura en niveles bajos. Se aprecia otra nube de polvo más tenue sobre el archipiélago que se encuentra en niveles más altos.

5. Conclusiones

El índice de aerosoles del TOMS (AI) es de gran utilidad para el estudio de las invasiones de polvo sobre las islas. Proporciona una imagen diaria de todo el globo de aerosoles absorbentes en UV (entre los que se encuentra el polvo sahariano) disponible en *internet*, detecta aerosoles tanto sobre agua como sobre tierra y se dispone de una serie larga de imágenes. Tiene el inconveniente de que no da información sobre la altura de la capa de aerosoles, no detecta aerosoles por debajo de aproximadamente 1 km sobre la superficie y de que los aerosoles pueden quedar enmascarados por nubes.

Se ha realizado una climatología de las invasiones de polvo sobre las Islas Canarias encontrándose que son más abundantes e intensas durante los meses de verano (finales de mayo hasta mediados de octubre). Los primeros meses del año y hasta finales de mayo las intrusiones de polvo se dan en menor medida pero pueden llegar a ser intensas. Los últimos meses del año (desde mediados de octubre) las intrusiones de polvo son en general poco frecuentes y de menor intensidad. Siempre teniendo en cuenta que en general las invasiones de polvo en los meses de verano tienen lugar en niveles más altos que en invierno.

Se ha desarrollado una herramienta (<http://pc5gpv-lpa/toms/index.html>) para la predicción de las entradas de polvo sobre las Islas Canarias representando las *retrotrayectorias* isentrópicas previstas sobre la imagen del TOMS. Se ha mostrado un ejemplo en el que se ve la utilidad de dicha herramienta.

Agradecimientos

Los autores agradecen al grupo de procesamiento de datos del TOMS de NASA/GSFC.

Referencias

- Carlson, T. N., y J. M. Prospero, 1972: The large-scale movement of Saharan air outbreaks over the northern equatorial Atlantic. *J. Appl. Meteorol.*, 11, 283-297.
- Chiapello, I. G., Bergametti, L. Gomes, B. Chatenet, F. Dullac, J. Pimienta, y E. Santos Suárez, 1995: Anlayer transport of Sahelian and Saharan dust over the northeastern tropical Atlantic. *Geophys. Res. Lett.*, 22, 3191-3194.
- Danielssen, E. F., 1961: Trajectories: isobaric, isentropic and actual. *J. Meteor.*, 18, 479-486.
- García, A. y F. Elizaga, 1996: Campos y trayectorias sobre superficies isentrópicas en SAIDAS. IV Simposio Nacional de Predicción del Instituto Nacional de Meteorología, Madrid, Abril 1996.
- Herman, J. R., P. K. Bhartia, O. Torres, C. Hsu, C. Seftor y E. Celarier, 1997: Global distribution of UV-absorbing aerosols from Nimbus-7/TOMS data. *J. Geophys. Res.*, 102, 16911-16922.
- Hsu, N., J. Herman, O. Torres, B. Holben, D. Tanre, T. Eck, A. Smirnov, B. Chatenet, y F. Lavenu, 1999: Comparisons of the TOMS aerosol index with Sunphotometer aerosol optical thickness: results and applications, *J. Geophys. Res.*, 104, 6269-6279.
- Torres, O., J. Bhartia, J. Herman, Z. Ahmad, y J. Gleason, 1998: Derivation of aerosols properties from satellite measurements of backscattered ultraviolet radiation: Theoretical basis. *J. Geophys. Res.*, 103, 17099-17110.