

Caracterización Física De Los Patrones De Aerosol Atmosférico Transatlánticos Desde La Perspectiva De La Teledetección

Alejandro Pérez Montalvo

Departamento de Física Aplicada, Universidad de Granada (España)

Resumen. Los aerosoles atmosféricos tienen un gran impacto sobre el clima de la Tierra. De esta forma, es de gran interés realizar una cuantificación de su influencia desde las zonas de mayor inyección de aerosol mineral a la atmósfera. En este estudio se analizan los patrones de transporte desde el Norte de África hacia las costas de Sudamérica a través del Océano Atlántico mediante diversas técnicas de teledetección. Se realizan mediciones de distintas variables físicas con MODIS con el objetivo de determinar el tipo de aerosol, observando la influencia de los patrones en la llegada de aerosol a zonas por debajo del Ecuador, como la ciudad de Natal en Brasil. Uno de los factores más importantes que determinan el efecto del aerosol en la atmósfera es su distribución vertical, por lo que se ha implementado en el estudio el uso de mediciones de retrodispersión de CALIPSO junto con modelos de trayectorias para un caso concreto del invierno boreal de 2013.

Palabras clave: Aerosol, influencia, patrones, transporte, Atlántico, MODIS, CALIPSO.

INTRODUCCIÓN

Los aerosoles son pequeñas partículas sólidas y/o líquidas en suspensión en la atmósfera. Estos proceden de fuentes naturales como el polvo del desierto, la sal del mar, erupciones volcánicas y humo de los incendios de la quema de biomasa. También se producen a partir de la quema de carbón, petróleo y otros combustibles fósiles. Dependiendo de su morfología, tamaño y composición pueden absorber o reflejar la luz solar y calentar o enfriar la atmósfera. Pueden llegar a cambiar la composición de las nubes o influir en su formación (Giere y Querol, 2010). Las mediciones mediante satélites y estaciones terrestres, muestran que muchos aerosoles permanecen en el ambiente durante largos periodos de tiempo y pueden ser transportados por el viento a cientos de kilómetros de su origen (Gatz y Prospero, 1996).

FUNDAMENTOS

Dentro de los distintos tipos de partículas atmosféricas, se encuentran las de material mineral. Éstas son de origen natural y constituyen la fracción mayoritaria en cuanto a masa del aerosol atmosférico (IPCC, 1996). Según Prospero (2002), la emisión de partículas minerales en regiones como Chad o los desiertos del Sahara y Sahel es

debida a que éstas se ubican en cuencas topográficas en las que se acumula el material particulado resultante de los procesos erosivos y posteriormente, se ven expuestos a la circulaciones de masas de aire que inducen a su inyección en la atmósfera.

El Océano Atlántico es la principal vía de transporte de polvo procedente del Norte de África, siendo la mayor fuente de polvo mineral de la Tierra (Huneus et al., 2011). La depresión de Bodélé, ubicada en el centro Sur del desierto del Sahara, en Chad, se reconoce como la fuente de polvo más intensa en el Norte de África (Koren et al., 2006). El transporte de polvo ha sido estudiado por gran variedad de sensores, modelos y satélites, reconociendo un ciclo anual marcado por un cambio latitudinal en la ruta de transporte. Durante el verano boreal, debido al viento Harmattan, a las altas temperaturas y bajas presiones en superficie y al flujo monzónico del suroeste, proveniente del Atlántico tropical, se crea el Frente Intertropical (ITF) (Lavaysse et al., 2009). El ITF se encuentra a unos cientos de kilómetros por delante de la ZCIT. Esto produce una zona de ráfagas de aire en superficie, creando condiciones favorables para la emisión de polvo (Engelstaedter y Washington, 2007). Por el contrario durante el invierno boreal, los sistemas sinópticos se desplazan hacia el Sur y los vientos del noreste se convierten en un mecanismo para la emisión de polvo a través de la depresión de Bodélé (Washington y Todd, 2005).

Las partículas de aerosol presentan multitud de formas y su concentración varía fuertemente a lo largo de su transporte, por lo que tienen un fuerte impacto en el balance radiativo de la Tierra. La interacción con la radiación solar incidente hace que ésta llegue a la superficie tras una atenuación considerable.

Esta atenuación de la radiación es lo que se denomina extinción, resultado de la combinación de los procesos de absorción y de dispersión.

A raíz de la ecuación de radiancia se obtiene la Ley de Beer-Bouguer-Lambert a partir de la cual conseguimos la profundidad óptica a lo largo del camino vertical, dada por el exponente de la ley cambiado de signo (ecuación 1):

$$AOD_{\lambda}(z, z_1) = \int_z^{z_1} \sigma_{ext}(\lambda) dz \quad (1)$$

El AOD es una variable que evalúa el grado en que los aerosoles impiden la transmisión de radiancia a lo largo de la columna vertical, ya sea por absorción o dispersión de ésta. A partir de la ecuación 1, la dependencia espectral del AOD puede expresarse a través de la ley de Ångström:

$$AOD_{\lambda} = \beta \cdot \lambda^{-\alpha} \quad (2)$$

El coeficiente de Ångström es un exponente que expresa la dependencia espectral de la profundidad óptica (*AOD*) con la longitud de onda de la luz incidente (λ) en μm .

DATOS

La gran mayoría de datos empleados en este estudio han sido recopilados a través de la plataforma GIOVANNI mediante el satélite MODIS a bordo de la plataforma Terra,

lanzada en 1999. Este instrumento es capaz de medir en 36 bandas espectrales desde 0.14 hasta 14.39 μm , con una incertidumbre para océano de $\Delta\tau = \pm 0.05 \pm 0.15 \cdot \tau$. De forma adicional y con menor carga de datos, se ha empleado CALIPSO, lanzado en 2006 en colaboración entre LARC¹ y CNES², con el objetivo de obtener perfiles lidar mediante su instrumento CALIOP, un Lidar de Nubes-Aerosoles con Polarización Ortogonal a 532 y 1064 nm. También se ha empleado el modelo de predicción HYSPLIT con el que se han observado los movimientos de las masas de aerosol a distintas alturas en la atmósfera.

METODOLOGÍA

El trabajo abarca un periodo de análisis de 14 años (2000-2014) y de tres zonas distintas. Se ha escogido un área centrada en el Atlántico Central, entre las costas africanas y las sudamericanas. Posteriormente se han analizado dos áreas más pequeñas tanto en la costa de Natal como en la costa de Ghana.

Por otro lado, se han empleado diversos productos de variables de aerosol para llevar a cabo los objetivos. Inicialmente se ha empleado el AOD para realizar un seguimiento del transporte de aerosol a lo largo del Atlántico. De igual forma, para distinguir entre el tipo de aerosol, se ha empleado el coeficiente de Ångström, un coeficiente inversamente relacionado con el tamaño de las partículas de aerosol

RESULTADOS

A. Transporte Espacio-Temporal del Aerosol Atmosférico

En los resultados del análisis espacial de la carga de aerosol mediante la variable de AOD a 550nm (promediado para el periodo de 14 años), se reconocen dos periodos y tres zonas distintas de alta carga de aerosol.

Ambos periodos, de 4 y 6 meses de duración aproximada, son periodos en los que difieren las rutas de localización. El primero representado por la ruta Sur, iniciándose sobre el Golfo de Guinea y el segundo por la ruta Norte, iniciándose en las costas más occidentales de África, juntos al desierto sahariano. Encontramos a finales del periodo de ruta Norte, que las diferentes zonas mostradas presentan una carga de aerosol mucho más reducida.

B. Caracterización del Aerosol Atmosférico Aerotransportado

Una vez analizada la carga espacial de aerosol, se ha tipificado el tipo de aerosol que se transporta mediante mapas de distribución espacial, diferenciando entre partículas de tipo grueso y fino. Para ello, se han realizado análisis tanto del coeficiente de Ångström como de correlación entre AE/AOD para una longitud de onda de 550 nm.

Tras su análisis, queda demostrado que durante los meses estivales, se origina una pluma de transporte de alta carga de aerosol de tipo fino en latitudes por debajo del

¹ LARC. Centro de Investigación Langley de la NASA

² CENES. Centro Nacional de Estudios Espaciales Francés

Ecuador, debido a la quema de biomasa producida en el continente africano. El transporte de aerosol grueso se produce en latitudes al Norte del Ecuador, en las cuales, debido a los patrones de viento, el desplazamiento de la ZCIT y las situaciones sinópticas predominantes, se puede identificar que la procedencia es del desierto del Sahara y Sahel, por lo que el aerosol lo caracterizamos como polvo mineral.

De igual forma, durante los meses invernales es cuando se puede encontrar una mayor presencia de transporte de aerosol de tipo mineral hacia latitudes entorno a 5°N, pudiendo dar paso a la llegada de éste a zonas de Brasil situadas por debajo del Ecuador.

C. Llegada de Polvo Sahariano a Latitudes por debajo del Ecuador

Establecida la variabilidad temporal del aerosol y cuantificado el impacto de transporte desde África se pretende evaluar las estaciones y meses del año en que se pueden establecer relaciones de transporte de aerosol de tipo mineral procedente de África hacia zonas al Sur del Ecuador en las costas de Sudamérica.

Este análisis se ha realizado para la ubicación de la costa de Natal. Esta región al encontrarse al Sur del Ecuador, según los patrones de viento y las situaciones sinópticas del Atlántico, la carga de aerosol que encontramos es mucho menor en comparación con los valores medios de AOD (~0.25) obtenidos en las zonas próximas a África. Hay que tener en cuenta que existe una gran fluctuación de los valores diarios de ambas variables al pasar de un día a otro, al contrario que pasa en las costas más cercanas a África.

Por otro lado, con el objetivo de comparar los valores en el inicio del transporte del aerosol en las costas de África, se ha escogido una segunda localización ubicada en el Golfo de Guinea, frente a la costa de Ghana. En esta zona los valores se mantienen constantes en el transcurso de los días y muestran una carga de aerosol significativamente más elevada. Esta zona se corresponde con el transporte de la ruta Sur, por lo que únicamente se distingue como aerosol de material mineral el periodo de diciembre a mitad de abril.

Para demostrar que distintos periodos de transporte de polvo han llegado hasta las costas de Natal y no son debidos a fenómenos locales de resuspensión, se ha estudiado a modo de ejemplo el periodo del 20 al 26 de febrero de 2013, del que se han representado las retrotrayectorias a diversas alturas iniciadas desde la ciudad de Natal y en las que se observa como las masas de aire proceden del Golfo de Guinea. Para ampliar la información se han utilizado los registros proporcionados por CALIOP, mapas de retrodispersión a 532 nm. Los altos valores de retrodispersión indican la llegada del penacho de polvo junto con quema de biomasa.

CONCLUSIONES

Este trabajo muestra un análisis espacial detallado de los transportes de aerosol sobre el Océano Atlántico, desde las zonas desérticas de África hasta su llegada a Sudamérica, en los que se observa un ritmo anual de transporte diferenciado por dos periodos y tres zonas distintas de alta carga de aerosol. Ambos periodos, de 4 y 6 meses de duración aproximada, son periodos en los que difieren las rutas de localización.

También se ha tipificado el tipo de aerosol que se transportaba, que en su mayor parte coincide con el transporte de la ruta Sur, para la cual, los análisis de ambas variables muestran grandes anticorrelaciones. Para los periodos de paso en la ruta Norte, no se muestran anticorrelaciones en la zona del Golfo de Guinea y mediante los análisis de correlación queda demostrado que se trata de un aerosol compuesto por partículas finas.

Por último se ha realizado un análisis en mayor profundidad sobre una zona más reducida en las costas de la ciudad de Natal, Brasil, determinando distintas ocasiones de llegadas de aerosol grueso correspondientes con las salidas desde el Golfo de Guinea. Mediante retrotrayectorias desde Natal y análisis LIDAR para una fecha concreta de febrero de 2013, se evidencia la llegada de polvo a localizaciones situadas entre 3° y 7° por debajo del Ecuador.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer a Dr. Lucas Alados Arboledas por aceptar desde el principio la supervisión de esta tesina, por inducirme a un campo diferente, como es la teledetección y por su gran paciencia a la hora de la búsqueda de los datos. De igual forma agradecer a Hassan Lyamani su apoyo informativo y al Dr. Juan Luis Guerrero Rascado por su aporte con ciertos datos este proyecto.

Este trabajo también fue posible gracias a todos los miembros del equipo GFAT (Grupo de Física de la Atmósfera), especialmente por la gran acogida.

Por último, gracias a NOAA por el modelo de dispersión y transporte HYSPLIT, a los científicos implicados en las misiones CALIPSO y MODIS y al personal de la NASA por todos los datos proporcionados y empleados en este estudio.

REFERENCIAS

- Engelstaedter, S. a. (2007). Atmospheric controls on the annual cycle of North African dust. *J. Geophys. Res.*, 112, D03103, doi:10.1029/2006jd007195.
- Huneus, N. S., Liu, X., Mahowald, N., Miller, R., Morcrette, J. -J., & Zender, C. S. (2011). Global dust model intercomparison in AeroCom phase I. *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 7781–7816, doi:10.5194/acp-11-7781-2011.
- IPCC. (1996). Climate change. The science of climate change. En H. J. Meira Filho LG. Cambridge University Press.
- Koren, I. K. (2005). The Bodélé depression: a single spot in the Sahara that provides most of the mineral dust to the Amazon forest. *Environ. Res. Lett.*, 1, 1-5.
- Lavaysse, C. F. (2009). Seasonal evolution of the West African heat low: A climatological perspective. *Clim. Dynam.*, 33, 313–330, doi:10.1007/s00382-009-0553-4.
- Gatz, D., & Prospero, J. (1996). A large silicon-aluminum aerosol plume in central Illinois: north African desert dust? *Atmospheric Environmet* 30(22), 3789-3799.
- Prospero, J. G. (2002). Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust derived from the NIMBUS7 TOMS absorbing aerosol product. *Reviews of Geophysics* 40(1), 2-1:2-27.
- Washington, R. a. (2005). Atmospheric controls on mineral dust emission from the Bodélé Depression, Chad: The role of the low level jet. *J. Geophys. Res.*, 32, L17701, doi:10.1029/2005GL023597.