

Estudio de Condiciones Atmosféricas para Mejorar la Evaluación del Modelo BSC-DREAM8b

Vicente Soriano Reyes

Trabajo de Fin de Máster. Máster en Meteorología y Geofísica. Universidad de Granada

Resumen: El aerosol atmosférico tiene un importante impacto sobre el clima regional y global, debido a sus efectos directos e indirectos. Las partículas de polvo mineral son muy importantes en las zonas desérticas y áridas pero también en regiones más alejadas, tanto a media como a larga distancia. Recientemente se ha dado mucha atención al estudio del transporte, a pequeña y gran escala, de las partículas de aerosol, en especial del polvo mineral sahariano, y a su modelización. En particular se ha evaluado el modelo BSC-DREAM8b mediante medidas experimentales basadas en fotometría solar y técnicas lidar. El presente trabajo se concibe como un intento de mejora en los trabajos de evaluación de dicho modelo, que el grupo de Física de la Atmósfera de la Universidad de Granada ha realizado en los últimos meses en el marco del proyecto europeo ACTRIS. En particular este trabajo presenta el estudio y análisis de las condiciones atmosféricas que tuvieron lugar durante el verano de 2012 con el fin de mejorar la evaluación del modelo BSC-DREAM8b frente a datos experimentales y comprobar bajo qué circunstancias la diferencia entre modelo y datos experimentales se minimizan.

Palabras clave: ACTRIS, aerosol atmosférico, fotómetro solar, lidar, LIRIC, modelo BSC-DREAM8b, polvo mineral sahariano.

I. INTRODUCCIÓN

El aerosol atmosférico tiene un importante impacto sobre el clima regional y global, debido a sus efectos directos e indirectos. El tamaño de las partículas de aerosol varía ampliamente desde unos pocos nanómetros hasta unos cientos de micrómetros (en diámetro). Las partículas de polvo mineral son muy importantes en las zonas desérticas y áridas (donde se producen) pero también en regiones más alejadas, tanto a media como a larga distancia. En la Península Ibérica se detectan con mucha frecuencia las partículas de aerosol mineral desértico procedente del desierto del Sáhara. Recientemente se ha dado mucha atención al estudio de transporte a pequeña y gran distancia de partículas de aerosol a causa de los efectos que éste tiene. La gravedad del problema inspiró al desarrollo del sistema de alerta llamado Sistema de Aviso y Evaluación de la Arena y Tormentas de Polvo (SDS-WAS) del inglés Sand and Dust Storm Warning Advisory and Assessment System (SDS-WAS), programa dentro del marco de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) que tiene la intención de combinar las capacidades de observación y modelización de tormentas de

polvo de forma coordinada. Hasta la fecha, el modelo se ha evaluado con medidas reales obtenidas mediante técnicas de teledetección basadas en fotometría solar y técnica lidar usando diferentes aproximaciones, a saber: (i) evaluación integrada en la columna atmosférica exclusivamente mediante fotometría solar [1]; (ii) evaluación de perfiles comparables mediante conversión, comparando los perfiles del modelo BSC-DREAM con medidas reales de perfiles de coeficiente de extinción obtenidas mediante sistema lidar [2,3] aplicando un factor de conversión obtenido a partir de fotometría solar; y (iii) evaluación de perfiles no comparables sin conversión, comparando perfiles de concentración másica ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) proporcionados por el modelo BSC-DREAM8b con perfiles experimentales de coeficiente de retrodispersión de partícula ($\text{m}^{-1} \text{sr}^{-1}$) obtenidos mediante sistemas lidar [4,5]. En este trabajo se presenta un estudio de condiciones atmosféricas (retrotrayectorias, mapas sinópticos y antigüedad de los eventos de polvo sahariano) que junto a una base de datos de las medidas experimentales tomadas en el verano de 2012, sirven para mejorar en la evaluación del modelo BSC-DREAM8b con el objeto fin de comprobar bajo qué circunstancias el modelo funciona correctamente y valorar cuándo las diferencias entre éste y los datos experimentales se minimizan.

II. INSTRUMENTACIÓN

En este trabajo se utilizan dos instrumentos que se describen brevemente a continuación.

El fotómetro solar CIMEL CE318-4 es un instrumento que permite realizar medidas del aerosol atmosférico integrado en la columna atmosférica. Este fotómetro se compone de una cabeza detectora, un robot, una batería y una caja electrónica para controlar el sistema. Una descripción detallada de este instrumento puede verse en [6]. A partir de las observaciones del fotómetro se ha procedido a la determinación de la presencia o ausencia de los eventos de polvo sahariano sobre Granada, así como el estudio la antigüedad de dichos eventos de polvo.

El sistema lidar Raman es un instrumento de trabajo que recoge los datos que se emplearan para obtener la distribución vertical del aerosol atmosférico y que finalmente se transformarán en perfiles de concentraciones másicas. El sistema lidar Raman presenta una configuración monoestática biaxial y está compuesto de un sistema emisor, un sistema de recepción, una unidad de selección espectral, un sistema de detección y un sistema de registro y almacenamiento de datos. Una descripción detallada de este instrumento puede verse en [7].

III. METODOLOGÍA

Para realizar una caracterización integrada en columna del aerosol atmosférico, se procede a un análisis desde superficie mediante fotómetros solares (teledetección pasiva). Éstos, se usan en la red AERONET (<http://aeronet.gsfc.nasa.gov/>) [8]. Actualmente, la combinación de lidar con el fotómetro solar está siendo altamente explotado dentro del proyecto europeo ACTRIS (Aerosol, Clouds and Trace Gases Research InfraStructure Network) [9] y EARLINET (European Aerosol Research

Lidar Network) [10] con el fin de obtener perfiles verticales de propiedades microfísicas del aerosol atmosférico. En este contexto se ha desarrollado el algoritmo LIRIC (Lidar Radiometre Inversion Code) [11,12]. Los datos han sido proporcionados por la estación lidar del Grupo de Física de la Atmósfera (GFAT) ubicada en el Instituto Interuniversitario de Investigación del Sistema Tierra en Andalucía (IISTA-CEAMA) (Granada, España, 37.16° N, 3.61° O, 680 m.s.n.m.). La base de datos del centro cuenta con los valores promediados cada 30 min de la comparación LIRIC versus BSC-DREAM8b. Los datos usados en este trabajo son de tres tipos: (i) perfiles de concentración másica de polvo mineral, (ii) base de datos meteorológicos GDAS (Global Data Assimilation System), y (iii) datos de fotometría solar.

Para obtener los perfiles de concentración másica para comparar con el modelo BSC-DREAM8b se ha aplicado el algoritmo LIRIC. Además, para comprobar si el modelo BSC-DREAM8b funciona correctamente, el Grupo de Física de la Atmósfera de la Universidad de Granada (GFAT) ha elaborado una base de datos de parámetros de la comparación de perfiles directos y normalizados. Estos parámetros son: (i) desviación absoluta media, (ii) desviación relativa media (iii) parámetros de ajuste lineal (pendiente, ordenada en el origen y coeficiente de correlación) y (iv) el error cuadrático medio.

Por último, se han realizado tres clasificaciones en función de (i) retrotrayectorias (camino que siguen las masas de aire antes de llegar a la estación de Granada), cuya clasificación se presenta en la Tabla 1, (ii) condiciones sinópticas siguiendo la clasificación de cuatro escenarios establecida por [13] y [14]; y (iii) la antigüedad del evento sahariano sobre Granada establecida mediante fotometría solar (fase inicial, intermedia y avanzada).

Tabla 1: Tipos de retrotrayectorias según su área de procedencia.

Símbolo	Tipo de masas de aire
AF	Masas de aire Africana
ME+AF	Mezcla_1: masas de aire Mediterránea y Africana
ME+AF	Mezcla_2: masas de aire Europea y Africana
ME+E+AF	Mezcla_3: masas de aire Mediterránea, Europea y Africana
AN	Masa de aire del Atlántico Norte

IV. RESULTADOS

En función de las tres clasificaciones se ha realizado el cálculo de los parámetros estadísticos mencionados anteriormente y se ha procedido a realizar la comparación directa y normalizada con el fin de ver bajo qué circunstancias la diferencia entre modelo y datos experimentales es menor.

Según la clasificación realizada para las retrotrayectorias, la comparación directa de la desviación absoluta muestra una subestimación del modelo para todas las categorías de retrotrayectorias. Dados los elevados valores obtenidos de desviación absoluta media, se procedió a la normalización de este parámetro (al igual que de los siguientes), aun así, se observa que sin distinguir entre tipos de retrotrayectoria, el modelo BSC-DREAM8b subestima la mayor parte del perfil normalizado. Realizando

el ajuste lineal, se observa que la correlación del modelo con datos experimentales es media, obteniéndose los mejores valores para los grupos AF y ME+AF (0.680 y 0.607 respectivamente). En el caso de la pendiente y de la ordenada en el origen, la comparación directa sigue mostrando subestimación del modelo frente a los datos experimentales, mientras que para los grupos AF y ME+AF mejora cuando se realiza la normalización (elevados valores medios de pendiente, 0.28 ± 0.28 y 0.44 ± 0.54 , respectivamente). Por el contrario, el grupo ME+E+AF muestra un valor medio del error cuadrático medio mayor, (0.40 ± 0.19). Según la clasificación realizada en virtud de los escenarios sinópticos, las desviaciones absolutas muestran valores más grandes en la comparación directa para los cuatro tipos de escenarios. Por ello, se procede a su normalización y se sigue subestimando el modelo, si bien, con el escenario1 (las altas presiones en el norte de Argelia favorecen la entrada de aire por el oeste y suroeste peninsular), las diferencias entre modelo y datos experimentales son menores (el 50% de las desviaciones relativas se encuentran entre 2-16%), obteniéndose los peores resultados para los escenarios 2 (la masa de aire entra por el sureste) y 3 (entrando la masa de aire por el este y noreste) que en el caso de R, los valores de correlación son medios-bajos como por ejemplo 0.270 para el escenario2. Según la clasificación de la antigüedad del evento sobre Granada, en un estado intermedio de presencia o duración del evento de polvo (entre 24 y 72 h), el modelo es capaz de reproducir mejor los perfiles además de que exista una menor diferencia entre modelo y datos experimentales. Esto lo demuestra el valor de la pendiente, que tras la normalización tiene valores muy cercanos a la unidad (0.98 ± 0.20) mientras que los resultados (por ejemplo en el caso del error cuadrático medio) son elevados tanto para la fase inicial (menos de 24 h) y avanzada del evento (más de 72 h), mostrando pues los peores resultados en esta clasificación ($74 \pm 76 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $74 \pm 44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente).

V. CONCLUSIONES

En conclusión, se observa que, después de realizar el cálculo de los parámetros estadísticos y realizando una comparación directa y normalizada en base a tres clasificaciones, el modelo BSC-DREAM reproduce mejor la forma de los perfiles en los grupos AF y ME+AF en el caso de las retrotrayectorias, en el escenario1 (situación sinóptica que favorece la entrada de las masas de aire sahariano por el oeste y suroeste peninsular) en el caso de la clasificación según situaciones sinópticas y durante el período intermedio del evento (entre 24 y 72 horas) cuando hablamos de la clasificación según la antigüedad del evento de polvo sahariano sobre Granada.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Profesor Lucas Alados-Arboledas, coordinador del grupo de Física de la Atmósfera de la Universidad de Granada e investigador de la estación de EARLINET y AERONET en Granada, a la Dra. María José Granados-Muñoz, el Dr. Juan Antonio Bravo-Aranda y al Dr. Juan Luis Guerrero-Rascado por haber tomado durante el verano de 2012 las medidas que he utilizado para el trabajo así como haber generado la base de datos que ha sido el punto de inicio de este trabajo.

También agradezco al Dr. Anatoli Chaikovsky y sus colaboradores por desarrollar el algoritmo LIRIC, al profesor José María Baldasano y la Dra. Sara Basart por mantener operativo el modelo BSC-DREAM8b. También quiero agradecer a la NOAA Air Resources Laboratory (ARL), Naval Research Laboratory y al Barcelona Supercomputing Center por el modelo de dispersión y transporte HYSPLIT.

Por último, quisiera agradecer a mi tutor del trabajo de fin de máster, el Dr. J.L. Guerrero-Rascado, así como a mi familia, compañeros/as y amigos/as.

REFERENCIAS

1. Basart, S., Pérez, C., Nickovic, S., Cuevas, E., and Baldasano, J. M., *Tellus B*, **64**, 18539, doi:10.3402/tellusb.v64i0.18539 (2012).
2. Pérez, C., Nickovic, S., Baldasano, J. M., Sicard, M., Rocadenbosh, F., and Cachorro, V. E., *J. Geophys. Res.*, **111**, D15214, doi:10.1029/2005JD006579 (2006a).
3. Pérez, C., S. Nickovic, J. M. Baldasano, M. Sicard, F. Rocadenbosch, and V. E. Cachorro, *J. Geophys. Res.*, **111**(2006b).
4. Papayannis, A., Zhang, H.Q., Amiridis, V., Ju, H.B., Chourdakis, G., Georgoussis, G., Pérez, C., Chen, H.B., Goloub, P., Mamouri, R.E., Kazadzis, S., Paronis, D., Tsaknakis, G., and Baldasano, J. M., *Geophys. Res. Lett.*, **34**, L07806, doi:10.1029/2006GL029125 (2007).
5. Guerrero-Rascado, J. L., Olmo, F. J., Avilés-Rodríguez, I., Navas-Guzmán, F., Pérez-Ramírez, D., Lyamani, H., and Alados-Arboledas, L., *Atmos. Chem. Phys.*, **9**, 8453–8469 (2009).
6. Valenzuela, A., *African desert dust events impacts over Southeastern Spain (2005-2010): Aerosol radiative properties and forcing*, Tesis doctoral, Ed. Universidad de Granada (2013).
7. Guerrero-Rascado, J. L., *Técnica Lidar para la caracterización atmosférica mediante dispersión elástica y Raman*, Tesis doctoral, Ed. Universidad de Granada, D.L.: GR. 187-2009, ISBN: 978-84-691-8587-2 (2009).
8. Holben, B. N., Eck, T. F., Slutsker, I., Tanre, D., Buis, J. P., Setzer, A., Vermote, E., Reagan, J. A., Kaufman, Y. J., Nakajima, T., Lavenu, F., Jankowiak, I., and Smirnov, A., *Remote Sens. Environ.*, **66**, 1-16 (1998).
9. Granados-Muñoz, M. J., Guerrero-Rascado, J. L., Bravo-Aranda, J. A., Navas-Guzmán, F., Valenzuela, A., Lyamani, H., Chaikovsky, A., Wandinger, U., Ansmann, A., Dubovik, O., Grudo, J. O. and Alados-Arboledas, L., *J. Geophys. Res.*, doi:10.1002/2013JD021116 (2014).
10. Pappalardo, G., A. Amodeo, A. Apituley, A. Comeron, V. Freudenthaler, H. Linné, A. Ansmann, J. Bösenberg, G. D'Amico, I. Mattis, L. Mona, Wandinger, V. Amiridis, L. Alados-Arboledas, D. Nicolae, and M. Wiegner, *Atmos. Meas. Tech.*, **7**, 2389–2409, doi:10.5194/amt-7-2389-2014 (2014).
11. Escudero, M., Castillo, S., Querol, X., Avila, A., Viana, M., Alastuey, A., Cuevas, E., and Rodríguez, S., *J. Geophys. Res.*, **110**, D18S08, doi:10.1029/2004JD004731 (2005).
12. Salvador, P., S. Alonso-Pérez, J. Pey, B. Artíñano, J.J. de Bustos, A. Alastuey, and X. Querol, *Atmos. Chem. Phys.*, **14**, 6759-6775, (2014).
13. Chaikovsky, A., Dubovik, O., Goloub, P., Balashevich, N., Lopatsin, A., Karol, Y., Denisov, S., and Lapyonok, T. Software package for the retrieval of aerosol microphysical properties in the vertical column using combined lidar/photometer data (test version), *Technical Report*, Institute of Physics, National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus (2008).
14. Chaikovsky, A., et al., Algorithm and software for the retrieval of vertical aerosol properties using combined lidar/radiometer data: Dissemination in EARLINET, paper presented at *26th International Laser and Radar Conference*, Porto Heli, Greece (2012).