

Supplement of Atmos. Meas. Tech. Discuss., 7, 5829–5882, 2014  
<http://www.atmos-meas-tech-discuss.net/amtd-7-5829-2014/>  
doi:10.5194/amtd-7-5829-2014-supplement  
© Author(s) 2014. CC Attribution 3.0 License.



*Supplement of*

## **Relationships between columnar aerosol optical properties and surface particulate matter observations in north-central Spain from long-term records (2003–2011)**

**Y. S. Bennouna et al.**

*Correspondence to:* Y. S. Bennouna (yasmine@goa.uva.es)

# Inventario del Aerosol Desértico en la Región de Castilla y León (2003 - 2012)

V.E. Cachorro<sup>1</sup>, M.A. Burgos<sup>1</sup>, Y. Bennouna<sup>1</sup>, C. Toledano<sup>1</sup>, B. Torres<sup>1,2</sup>, A. Herguedas<sup>3</sup>,  
J. González Orcajo<sup>3</sup>, A.M. de Frutos<sup>1</sup>

**Abstract** — As part of the columnar aerosol characterization and establishment of a climatology representative of the north-centre region of Spain (Castilla and León), a study on the discrimination and classification of aerosol types has been carried out. This work focuses on the estimation of the desert type aerosol which is transported to this region, using a detailed inventory of the events, associated days and frequency, and other characteristics of this type of intrusion over a period of 10 years, between 2003 and 2012. The method employed here is similar to that documented in [1] which is based on a few threshold criteria on the values of aerosol parameters AOD-Alfa, adapted to the particularity of this region of study, characterized as clean continental. The detection of an episode or intrusion of desert type is not complicated, but it can be difficult to determine the exact number of days, mainly at the end of episodes, which correspond to mixed aerosols, with high values of the Alfa parameter, above 1 (low values being observed only in the case of strong events). For this reason it was chosen to distinguish between the days with Alfa values below 1 for pure desert dust, in comparison with those of mixed aerosol called DC (Desert-Continental), with Alfa between 1 and 1.5. With the aim to improve the classification of the days, additional information on PM10 data from the background station of Peñausende (Zamora) belonging to the EMEP network, have been used. Moreover, air mass backtrajectories from the HYSPLIT model and satellite images from the MODIS sensor, synoptic maps as well as forecast maps from the NAAPS model were examined, with the aim to perform a better discrimination, characterization and estimation. The combination of the entire information has facilitated the manual inventory, which will constitute a basis for the validation of an automatic method for future precise detection and estimation of this type of aerosol in the studied region.

**Palabras Clave** — Aerosol desértico, Espesor óptico de aerosoles, Exponente de Ångström, Inventario.

## 1 INTRODUCCIÓN

La presencia de aerosol desértico modifica sustancialmente la estimación de la radiación tanto a nivel de atmósfera como a nivel de superficie. Debido a ello, los efectos radiativos globales de los aerosoles minerales en el clima están sujetos a un intenso estudio desde la década de los 70. El desierto del Sahara es la principal fuente de aerosol mineral en el hemisferio Norte, afectando directamente nuestra zona de estudio. Tomando como base el inventario realizado en el sur-oeste de la Península Ibérica [1], y siguiendo una misma línea de procedimientos y análisis, se pretende extender dicho trabajo al norte de la Meseta Castellana, a la vez que ampliar el periodo de estudio.

Utilizando las técnicas de detección remota basadas en las medidas de radiómetros solares a nivel de suelo, podemos detectar y evaluar estas intrusiones desérticas y también caracterizar las propiedades ópticas de éstos aerosoles.

En este trabajo hemos desarrollado un inventario de los episodios desérticos ocurridos en un periodo de diez años, comprendido entre enero de 2003 y diciembre de 2012, a partir de los datos obtenidos con un fotómetro solar en el marco de la red

AERONET en la estación de Palencia. El fotómetro solar permite obtener información real (“ground truth”) sobre los aerosoles desérticos bajo condiciones de cielo despejado, útil para evaluar su influencia en los niveles de AOD.

El propósito de este trabajo es el de proveer de un inventario fiable de eventos desérticos en esta zona de estudio, pero no el de dar una caracterización detallada de sus propiedades ópticas. Por tanto, el inventario que hemos realizado determina el número, la duración y la intensidad de los eventos correspondientes a las intrusiones de aerosol desértico. A su vez pretende servir de estudio complementario al realizado por [2] sobre la climatología de éstos y en [3] sobre la comparativa de los valores de PM10 y AOD para evaluar la influencia de los aerosoles desérticos sobre los valores totales. Sin embargo, debemos mencionar que el estudio en [2] se realiza con datos de PM10 y AOD conjuntamente, mientras que el presente trabajo se realiza tomando como datos básicos los de aerosol en columna obtenidos con el fotómetro Cimel.

Cabe señalar que las medidas de los fotómetros están únicamente disponibles en condiciones de cielo despejado, por lo que los episodios que ocurran bajo condiciones de lluvia o cielo nublado serán parcialmente o no detectados. Estos episodios requerirán de otros mecanismos de detección y evaluación, y es por ello que hemos utilizado información complementaria como se explica en la

1. Grupo de Óptica Atmosférica (GOA-UVA), Universidad de Valladolid, 47071, Valladolid, España, Autor Correspondiente: e-mail: [chiqui@goa.uva.es](mailto:chiqui@goa.uva.es)
2. Laboratoire d'Optique Atmosphérique, UMR8518, Université des Sciences et Technologies de Lille, Villeneuve d'Ascq, France.
3. Departamento de Control de Calidad y Cambio Climático. Consejería de Fomento y Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León. Valladolid, España.

metodología. Con todo, es previsible pensar que este inventario pueda producir una estimación a la baja de la ocurrencia de eventos desérticos, pero esta es mínima y entra dentro del error de la estimación, tanto en lo concerniente al número de eventos desérticos como al número de días asociados a los mismos.

Este trabajo se estructura de la siguiente manera: en primer lugar describiremos la estación de medida así como la instrumentación utilizada y los datos aportados. Seguiremos explicando la metodología empleada para terminar mostrando los principales resultados obtenidos.

## 2 ESTACIÓN DE MEDIDA E INSTRUMENTACIÓN

La localización geográfica de la principal estación utilizada, Palencia, es 41.9N, 4.5W (750 metros de altura sobre el nivel del mar). Dicha ciudad pertenece a la comunidad autónoma española de Castilla y León y se encuentra en la zona centro-norte de la Península Ibérica, concretamente en la llamada Meseta Norte, que tiene una altitud promedio de 700 metros.

La comunidad autónoma de Castilla y León es la tercera comunidad menos poblada de España debido a su gran superficie (94.193 km<sup>2</sup>) y su poca población (2.543.413 habitantes censados en 2012), teniendo una densidad de población de poco más de 27 habitantes por km<sup>2</sup>. La estación de Palencia se encuentra en ésta pequeña ciudad (~100.000 habitantes) que está situada en un área rural, bien aislada de grandes núcleos urbanos e industriales y desde donde se pueden observar con claridad las intrusiones de polvo desértico.

Los datos proporcionados por esta estación de Palencia son los correspondientes al fotómetro Cimel que ha estado realizando medidas de las propiedades ópticas de los aerosoles dentro de la red AERONET durante este periodo de estudio de 2003 a 2012 (y continúa operativo). Sin embargo, destacamos que no ha estado operativo durante todos los años quedando así los meses de junio a diciembre de 2009 y de enero a septiembre de 2010 sin datos en esta estación. Los datos de estos periodos han sido reemplazados por los medidos en la estación de Autilla del Pino, a 7 Km. de la ciudad. Los detalles sobre este periodo de estudio pueden verse en [4]. Más detalles sobre la instrumentación se pueden encontrar en la propia página Web de AERONET.

## 3 METODOLOGÍA

Los datos de AERONET en la estación de Palencia nos permiten calcular el espesor óptico de los aerosoles (AOD) y derivar a partir de éste el exponente de Ångström, "Alfa", en el rango espectral de 440-870 nm. Los valores de AOD y

Alfa constituyen la herramienta fundamental para nuestro análisis.

El proceso que seguiremos para detectar las intrusiones desérticas es una inspección manual que se basa en establecer unos valores umbrales para estos dos parámetros AOD-Alfa, que dependen de la zona de estudio y están basados en la climatología de la zona y nuestra experiencia en este tipo de datos. A su vez esta información base va acompañada de un análisis detallado de información complementaria como indicamos más adelante.

Según vemos en [3], la climatología de la estación de Palencia nos indica un valor promedio de AOD (440 nm) de  $0.15 \pm 0.10$  y un valor promedio de Alfa de  $1.29 \pm 0.35$  en el periodo de 2003 a 2011.

Por tanto, en primer lugar se detectan los episodios utilizando los siguientes valores umbrales:  $AOD > 0.18$  y  $Alfa < 1$ , referido a los valores puntuales o instantáneos de Cimel (medidas quinceminutales). Estos valores son escogidos basándonos en nuestra experiencia sobre los datos de AOD en la estación de estudio y en otras estaciones, así como en la literatura y en la climatología del aerosol. Este primer paso permite detectar el episodio en sí, pues los días centrales del mismo o los más intensos son determinados fácilmente.

El segundo paso y más complicado (el relativo al número de días del evento) es acotar la duración de cada episodio, señalando su primer y último día, así como descartar datos poco fiables, por ejemplo los debidos a la contaminación por la nubosidad que no hayan sido correctamente descartados por AERONET con anterioridad, o bien la falta de datos en sí.

En esta inspección manual clasificamos si un evento es D (Desértico Puro) o DC (Desértico mezclado con Continental). La principal diferencia entre ambos, que nos muestran valores AOD superiores a 0.18, radica en el parámetro Alfa. En el caso de los días con clara intrusión desértica (D), éste se encuentra por debajo de 1, mientras que si tenemos una situación en que conviven el aerosol desértico con el aerosol continental propio de la zona o con recirculaciones de masas de aire, tendremos un aerosol mezcla (DC), obteniendo valores de Alfa que oscilarán entre 1 y 1.5.

En este tipo de aerosol mezcla, que denominamos DC (aerosol desértico no puro), lo que queremos indicar es que no hay una prevalencia marcada de aerosol desértico. Sin embargo, asignar porcentajes de mezcla de uno u otro no es una tarea fácil, y por ahora, únicamente haremos la distinción D y DC sin cuantificar la mezcla que tenemos.

Cuando un evento irrumpe en nuestra área de estudio, los datos muestran un ascenso por encima del valor umbral de AOD así como un descenso por debajo del valor umbral de Alfa y cuando el evento termina, se recobran los valores de fondo de la estación. Este patrón es generalmente sencillo de reconocer. Los eventos más intensos son los que

muestran un mayor incremento de AOD a la vez que un mayor descenso del parámetro Alfa, en ocasiones incluso, llegando a valores próximos a cero.

Para acotar de forma precisa los días de comienzo y finalización de los eventos, nos servimos de otra información como son los valores de PM10 en la estación de Peñausende (Zamora), así como las retro trayectorias proporcionadas por el modelo HYSPLIT, evaluadas a 500, 1500 y 300 metros. Estas fuentes nos permiten contrastar los datos obtenidos con los fotómetros y nos ayudan a solucionar posibles dudas sobre si incluir o no ciertos días de comienzo o de fin de los episodios. También contrastamos con imágenes de satélite MODIS, mapas sinópticos y predicciones del modelo NAAPS, para descartar posibles datos contaminados por nubes que podrían presentar valores de AOD y Alfa similares a los de una intrusión desértica.

#### 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mostraremos en este apartado los resultados de nuestro estudio centrándonos fundamentalmente en el inventario, de donde obtendremos la distribución por años y la climatología de las intrusiones, así como la contribución del aerosol desértico a la carga total de aerosol de la zona de estudio.

Tabla 1. Principales resultados del inventario relativos a: a) Todos los días de eventos desérticos; b) días D o desértico puro; c) días DC o mezcla de desértico y continental. (Sigma = desviación estándar)

a)	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Total	Por año
<b>N.Episodios</b>	19	16	20	20	19	17	15	13	16	16	171	17.10
<b>N.Días (D+DC)</b>	49	47	46	61	52	35	33	20	32	33	408	40.80
<b>Porcentaje días, %</b>	13.4	12.8	12.6	16.7	14.3	9.6	9.0	5.5	8.8	9.0	11.2	11.2
<b>Duración media, días</b>	2.58	2.94	2.30	3.05	2.74	2.06	2.20	1.54	2.00	2.06	2.39	--
<b>AOD (440nm) Medio</b>	0.32	0.34	0.24	0.26	0.31	0.27	0.23	0.32	0.27	0.30	0.29	--
<b>Sigma AOD (440nm)</b>	0.11	0.15	0.05	0.10	0.14	0.10	0.15	0.13	0.09	0.10	0.04	--
<b>Alfa Medio</b>	0.96	0.93	0.93	0.80	1.05	0.99	0.86	0.81	0.91	0.77	0.90	--
<b>Sigma Alfa</b>	0.37	0.37	0.41	0.32	0.36	0.46	0.35	0.50	0.37	0.47	0.09	--

b)	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Total	Por año
<b>N.Días D</b>	28	26	28	38	26	19	24	11	17	23	240	24
<b>Porcentaje días D, %</b>	57.1	55.3	60.9	62.3	50.0	54.3	72.7	55.0	53.1	69.7	--	58.80
<b>Porcentaje días D%*</b>	7.67	7.10	7.67	10.41	9.86	5.19	6.58	3.01	4.66	6.28	--	6.58

#### 4.1 Inventario de Eventos desérticos en el Periodo 2003-2012

Siguiendo los criterios mencionados en el apartado anterior, se lleva a cabo el inventario de las intrusiones desérticas en el centro norte de España. Mostramos en la Tabla 1 los principales resultados extraídos del inventario. Así, por ejemplo, vemos que durante este periodo se recogen un total de 171 eventos formados por 408 días de aerosol desértico. En promedio, anualmente tendremos 17.1 episodios y 40.8 días, que representan el 11.2 % de días respecto del año, aunque es destacable la alta variabilidad interanual.

En el inventario se detallan la duración exacta de cada evento (día inicial hasta día final), los valores promedio para cada día tanto de AOD (440 nm) y Alfa (440-870 nm) como de PM10, así como información acerca de las retro trayectorias de las masas de aire a 500, 1500 y 3000 m.

En la Tabla 1 recogemos una estadística de este inventario de la siguiente manera: Tabla 1.a) considerando los días clasificados tanto D como DC; Tabla 1.b) sólo se tienen en cuenta aquellos días clasificados como desérticos puros (D) y Tabla 1.c) considerando únicamente los días de tipo DC.

Cabe señalar que el porcentaje que se indica de días de tipo D+DC es respecto a los días totales de cada año mientras que el porcentaje de días D o DC se hace de dos maneras, las cuales nos ofrecen información complementaria. En primer lugar, es el porcentaje respecto a los días totales del año y en segundo lugar (\*) se calcula respecto al número total de días D+DC (es decir, dentro de los días considerados con intrusión desértica, indicando qué porcentaje es únicamente D o únicamente DC).

<b>AOD(440nm) Medio</b>	0.30	0.36	0.25	0.27	0.37	0.29	0.24	0.36	0.31	0.33	0.31	--
<b>Sigma AOD (440nm)</b>	0.12	0.17	0.06	0.11	0.19	0.13	0.17	0.12	0.11	0.11	0.05	--
<b>Alfa Medio</b>	0.68	0.68	0.60	0.65	0.70	0.62	0.72	0.47	0.61	0.52	0.63	--
<b>Sigma Alfa</b>	0.27	0.28	0.22	0.25	0.24	0.30	0.28	0.22	0.24	0.34	0.08	--

c)	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Total	Por año
<b>N.Días DC</b>	21	21	18	23	26	16	9	9	15	10	168	16.80
<b>Porcentaje días DC, %</b>	42.9	44.7	39.1	37.7	50.0	45.7	27.3	45.0	46.9	30.3	--	41.20
<b>Porcentaje días DC, % *</b>	5.75	5.74	4.93	6.30	7.12	4.37	2.47	2.47	4.11	2.73	--	4.60
<b>AOD(440nm) Medio</b>	0.33	0.32	0.23	0.23	0.27	0.26	0.20	0.28	0.23	0.23	0.26	--
<b>Sigma AOD (440nm)</b>	0.10	0.12	0.04	0.07	0.07	0.05	0.06	0.13	0.04	0.05	0.04	--
<b>Alfa Medio</b>	1.26	1.27	1.32	1.14	1.30	1.38	1.27	1.18	1.23	1.33	1.27	--
<b>Sigma Alfa</b>	0.18	0.16	0.16	0.17	0.16	0.22	0.20	0.44	0.15	0.15	0.07	--

Podemos observar como el número de días y de episodios presenta una importante variabilidad interanual, oscilando entre 13 episodios en 2010 con apenas 20 días de aerosol desértico a 20 episodios en 2006 con 61 días de aerosol desértico. Ambos, años excepcionalmente bajo y alto, respecto a la media. La presencia de aerosoles en la zona de estudio varía entre un 5.5% y un 16.7%, dependiendo del año.

En la evaluación global o cómputo total de número de eventos y número de días asociados a estos eventos, debemos asociar una incertidumbre o error, sin embargo, estos errores no son fáciles de establecer. Por ejemplo, es difícil de asegurar en verano, cuándo hay episodios consecutivos o no, debido a las frecuentes recirculaciones de las masas de aire. No obstante, si el valor de AOD desciende a valores inferiores al valor umbral por más de dos días consecutivos, se considerarán dos eventos distintos.

En la Fig.1.a) podemos ver el número de eventos por año. Se observa como los cinco primeros años muestran más días con presencia de aerosol mientras que los cinco siguientes descienden en número. Esta tendencia también se pone de manifiesto, siendo más acusada aún, si consideramos el número de días con evento desértico (Fig.1.b), tanto D, DC como la suma de ambos.

En la Fig.2.a) representamos la distribución mensual de los eventos con presencia de aerosol y en la Fig. 2.b) la misma distribución para el número de días con evento tanto D, DC y la suma de ambos.

Es en estas gráficas donde encontramos la principal característica de los eventos desérticos en Castilla y León, pues se ve un patrón que muestra dos máximos, uno en Marzo y otro en Mayo/Junio así como dos mínimos, uno en abril y otro durante los meses de invierno.

El patrón de la climatología anual de los aerosoles desérticos en esta zona, centro- norte de la Península Ibérica, relativo al número de eventos y

número de días, reaparece como era de esperar al evaluar el peso o la influencia del aerosol desértico sobre el valor total del AOD, como se muestra en el apartado 4.3.

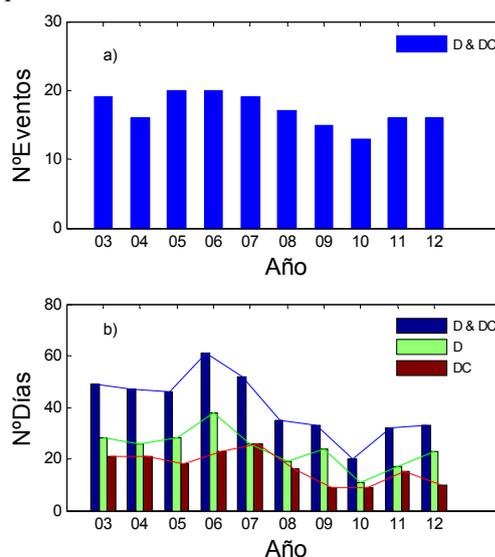
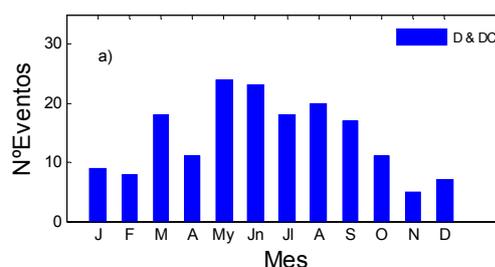


Fig.2. Distribución interanual de a) número de eventos desérticos; b) número de días correspondientes a los eventos totales de aerosol desértico (D&DC), con aerosol desértico puro (D), y con aerosol mezcla (DC).



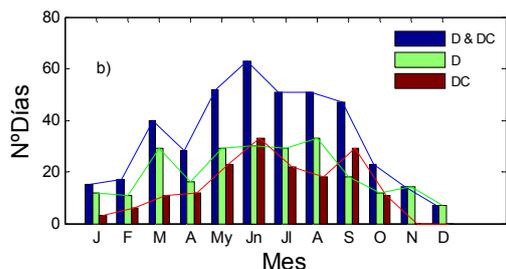


Fig.2. Distribución mensual de a) número de eventos desérticos totales; b) número de días correspondientes a los eventos totales de aerosol desértico (D&DC), con aerosol desértico puro (D), y con aerosol mezcla (DC).

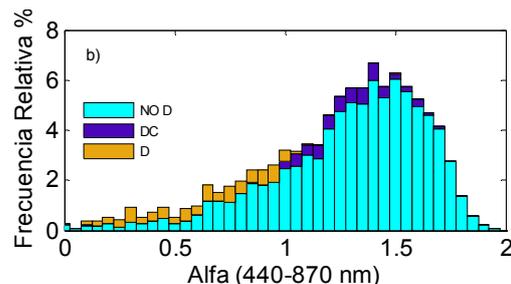


Fig.3. Histogramas de frecuencias de a) AOD (440 nm) y b) Alfa, para eventos de tipo D, DC y todos los demás días de 2003 a 2012.

#### 4.2 AOD y Alfa durante Episodios Desérticos

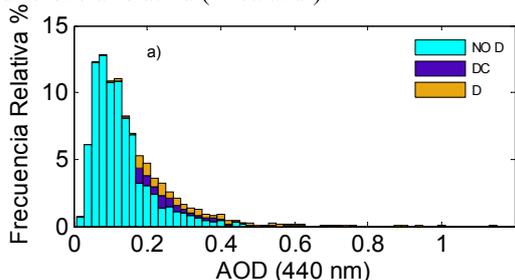
Una vez que el inventario de episodios desérticos está establecido, vamos a buscar las principales características de los parámetros AOD y Alfa durante estos días.

Para ello, representamos el histograma de frecuencias de AOD y Alfa que se muestra en las Fig.3. a) y Fig.3.b) respectivamente. En ellos se ven en diferente color los días que han sido clasificados como D, DC y todos los demás. Vemos que el histograma tiene un máximo de frecuencia de AOD en valores en torno a 0.04, apareciendo los eventos desérticos por encima de valores 0.18. No son, sin embargo, únicamente eventos desérticos aquellos que pueden tener un AOD superior al valor umbral de 0.18.

En el histograma de frecuencia de Alfa, vemos como los valores se reparten entre 0 y 2, teniendo un máximo de frecuencia en torno a 1.40 y apareciendo los eventos D en valores por debajo de 1, los DC en valores entre 1 y 1.5 y los demás días con otro tipo de intrusión o sin evento, indistintamente en todo el rango.

#### 4.3 Influencia de los Eventos Desérticos en los Niveles de AOD/ Climatología

Los promedios mensuales para el AOD en Palencia, se representan en la Fig. 4. Las barras corresponden a los promedios mensuales para todos los días de medida en la estación (barras azules), promedios mensuales para todos los días exceptuando aquellos clasificados como desérticos (barras verdes), diferencia absoluta entre ellos (barras marrones) y diferencia relativa (línea azul).



Si comparamos la diferencia absoluta o relativa con las Fig.2.a) y Fig.2.b), encontramos un comportamiento o forma estacional muy parecido. Es decir, volvemos a encontrar dos picos a lo largo del año, el primero en Marzo y el segundo a final de primavera o principio de verano, así como también podemos observar los mínimos que se producen en Abril y en los meses de invierno. Es cierto que los máximos de mayo y junio son más acusados, pero es posible que con un número mayor de años, la forma pueda llegar a ser idéntica.

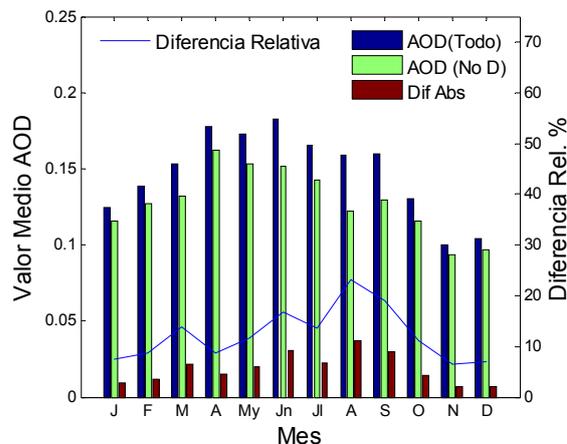


Fig.4. Valores promedio de AOD (440 nm) para todos los días, para todos los días exceptuando aquellos con aerosol desértico y diferencia absoluta entre ellos.

Por otro lado esta modulación que crea el aerosol desértico y que vemos al representar la diferencia absoluta o relativa, no se observa al representar la climatología anual del aerosol total, a diferencia de lo que ocurría en [1] para la estación de El Arenosillo. Allí, la modulación introducida por el aerosol desértico es tan fuerte que se manifiesta claramente en la representación mensual del aerosol total. Sin embargo la forma anual del aerosol desértico es la misma en las dos estaciones (observe como ahora la contribución del aerosol desértico en mayo y junio es más baja que en agosto), aunque la carga sea menor, habiendo un gradiente sur-norte de disminución, como era de esperar.

## 5 CONCLUSIONES

Los valores de AOD-Alfa de los aerosoles en Palencia se han monitoreado desde el año 2003 hasta el año 2012 con un fotómetro Cimel de la red AERONET. Se ha realizado con estos datos un inventario de las intrusiones desérticas detectadas en el centro norte de la península ibérica, partiendo como base de las medidas espectrales del parámetro AOD (440 nm).

Los episodios desérticos muestran un claro patrón con una ocurrencia máxima en Marzo y en Mayo/Junio y dos mínimos, en Abril e invierno.

Este inventario servirá como base para un análisis completo de las propiedades microfísicas y ópticas del aerosol desértico en la zona de estudio y sus efectos en el clima. También se llevarán a cabo estudios detallados que relacionen las masas de aire con los eventos desérticos encontrados así como diversos inventarios a través de inspecciones automáticas tomando como datos principales únicamente el AOD, o únicamente el PM10, con el fin de comparar ambos sistemas y encontrar las similitudes y diferencias en los resultantes inventarios tras utilizar AOD o PM10 como dato principal.

Las intrusiones desérticas son las responsables de una gran parte de los eventos de alta turbiedad en la estación, modulando el patrón climatológico del AOD en menor medida que en otras estaciones como puede ser El Arenosillo, debido a su diferente ubicación geográfica.

Respecto a la distribución interanual del número de episodios durante este periodo, no se ha podido observar ningún patrón.

El análisis manual completo de estos eventos constituirá la base para la validación de un método automático de identificación y evaluación de episodios desérticos en las series de datos de los fotómetros. Los resultados obtenidos en este trabajo nos muestran que el AOD espectral es suficiente para llevar a cabo inventarios de eventos desérticos, que son necesarios para evaluar el impacto sobre el clima del aerosol en una escala global.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen en primer lugar al MINECO del Gobierno de España por la beca FPI con referencia BES-2012-051868.

Agradecemos también a la gente de NASA GSFC, PHOTONS y RIMA por su larga colaboración y por operar y mantener la red AERONET a la vez que a EMEP por proveernos de datos gracias a las observaciones de su red.

El estudio que lleva a estos resultados ha recibido fondos de the European Union Seventh Framework Programme (FP7/2007e2013) bajo la beca Nr. 262254 [ACTRIS]. Agradecemos nuevamente el soporte financiero recibido desde el MINECO del Gobierno de España (proyectos con referencia CGL2009-09740, CGL2011-23413, CGL2012-33576 y la Acción Complementaria, CGL2011-13085-E) y damos las gracias al Gobierno de la Comunidad Autónoma de Castilla y León (Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León) por apoyar esta investigación.

## REFERENCIAS

- [1] C.Toledano, V.E. Cachorro, A.M de Frutos, M. Sorribas, N. Prats, B.A. de la Morena, "Inventory of African desert dust events over the southwestern Iberian Peninsula in 2000-2005 with an AERONET Cimel Sun photometer," *Journal of Geophysical Research*, vol. 112, Nov. 2007.
- [2] Y.S.Bennouna, V.E.Cachorro, B.Torres, C.Toledano, A. Berjón, A.M.de Frutos, I.Alonso Fernández Coppel, "Atmospheric turbidity determined by the annual cycle of the aerosol optical depth over north-center Spain from ground (AERONET) and satellite (MODIS)," *Atmospheric Environment*, vol.46, pp.352-364, Jan.2012.
- [3] Y.Bennouna, V.Cachorro, M.A.Burgos, C.Toledano,A.M.de Frutos. "The relations between AOD and PMx from long term data for north-central Spain," *RICTA 2013*.
- [4] X.Querol,J.Pey,M.Pandolfi,A.Alastuey,M.Cusack,N.Pérez,T .Moreno,M.Viana,N.Mihalopoulos,G.Kallos,S.Kleanthous. "African dust contributions to mean ambient PM10 mass-levels across the Mediterranean Basin,"*Atmospheric Environment*,43(2009).