

OBSERVACIÓN DE EPISODIOS DE LLUVIA DE BARRO EN EL OBSERVATORIO METEOROLÓGICO DE MURCIA

Irene PARDO CANTOS (*Universidad de Murcia*)
y Luis M^a BAÑÓN PEREGRÍN (*Agencia Estatal de Meteorología*)

RESUMEN: Las precipitaciones acompañadas de aerosoles minerales, lo que se denomina lluvias de barro, tienen cada vez más repercusión social, ecológica y económica. En el caso de la Región de Murcia, cabe destacar el efecto que estas lluvias tienen en el sector agrícola. A raíz del creciente interés por este fenómeno, en mayo de 2016 se estableció un protocolo de observación sistemática de las lluvias de barro y los depósitos secos de polvo de origen sahariano en el observatorio meteorológico de AEMET en Murcia. Tras un año de observaciones, se han detectado 12 episodios de lluvia de barro, y se han analizado las respuestas que tuvieron diversos indicadores de presencia de aerosoles durante esos doce meses. Una vez conocida la pericia de estos indicadores, se han recuperado los episodios de lluvia de barro de los tres años anteriores al periodo de observación.

1. INTRODUCCIÓN

Las lluvias de barro son precipitaciones acompañadas de aerosoles minerales. Los aerosoles son partículas microscópicas en estado líquido o sólido que entran en la atmósfera y pueden tener un origen natural o antropogénico. Los aerosoles a los que presta atención este trabajo son los de origen mineral, más concretamente los procedentes del desierto del Sahara, que son capaces de viajar miles de kilómetros, pudiendo ser detectados en lugares tan lejanos de su origen como el norte de Europa o el Amazonas. El tamaño de estos aerosoles puede variar entre diámetros inferiores a una micra, hasta superiores a 10 micras, llegando a alcanzar las 250 micras en algunos casos (FIOL y otros, 2005).

En mayo de 2016 comenzó la observación sistemática de las lluvias de barro en el observatorio meteorológico de Murcia, así como de los depósitos secos de polvo de origen sahariano. El operativo de observación y el presente estudio fueron motivados por la petición de un usuario de AEMET, una compañía de seguros agrícolas, ante la necesidad de conocer los valores medios de episodios de lluvias de barro con los que valorar el precio de los seguros ante este tipo de eventos.

Tras un año de registros, o periodo de observación, quedaron identificados 12 episodios de lluvia de barro. Para distinguir un episodio de otro se exigió la presencia de, al menos, dos días sin este fenómeno. De igual forma, se identificaron todos los episodios de lluvia durante el periodo de observación.

Para los doce meses del periodo de observación, se analizaron los valores que tomaron los siguientes indicadores de presencia de aerosoles (figura 1):

- Medidas directas, con filtros de partículas instalados por la Región de Murcia que capturaron las de tamaño igual o menor a 10 micras, denominadas PM10.
- Medidas indirectas, con fotómetros que infirieron la presencia de aerosoles por la extinción diferencial que provocan en la radiación a distintas longitudes de onda:
 - desde el suelo, el fotómetro solar Cimel, ubicado en el observatorio de Murcia,

- desde plataformas satelitales polares y geostacionarias.
- Medidas previstas, simuladas con un modelo atmosférico de polvo.

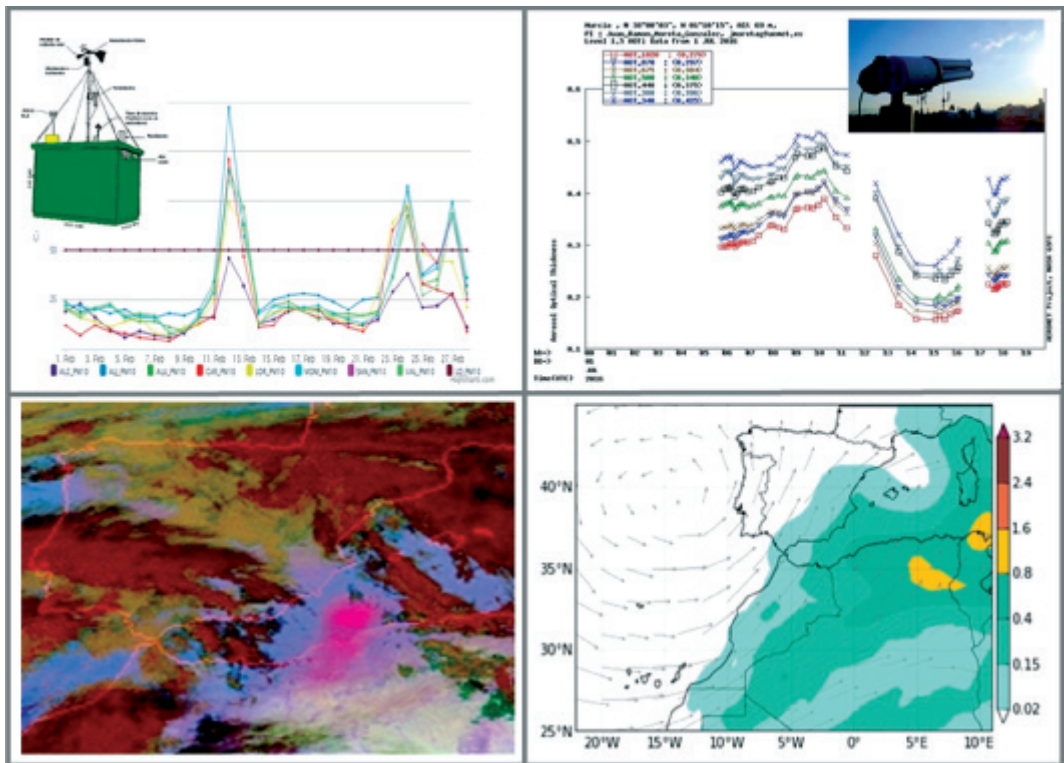


Figura 1. Indicadores de presencia de aerosoles minerales utilizados en el estudio. De arriba abajo y de izquierda a derecha: medidores de PM10, fotómetro solar Cimel, fotómetros satelitales, y predicción de transporte de aerosoles.

Del análisis de los valores que tomaron los indicadores en el periodo de observación, se eligieron unos umbrales, distintos para cada indicador, de manera que de ser rebasados se consideraría como presencia destacable de aerosoles minerales. En el caso de la detección mediante radiómetros en el satélite geostacionario el umbral fue cualitativo, dadas las características de estos productos.

Una vez elegidos los valores umbrales, se identificaron todos los episodios de precipitación del periodo de observación comprobando, para cada episodio, qué indicadores superaron su umbral. Posteriormente, se contrastaron los episodios realmente observados con los identificados por cada indicador de presencia de aerosoles. Mediante tablas de contingencia y variables estadísticas (WILSON y NURMI, s.f.), se calculó la pericia de cada indicador en distinguir qué episodios de precipitación llevaron asociado barro.

En un intento de identificar los episodios de lluvia de barro de los tres años previos al periodo de observación, se identificaron, primero, los episodios de precipitación y, posteriormente, se determinó en cuáles de ellos los indicadores superaron su umbral.

2. INDICADORES DE PRESENCIA DE AEROSOLES

2.1. Observación de lluvias de barro

Para la observación de lluvias de barro, en la terraza del observatorio se instaló una plataforma donde distinguir el polvo sahariano asociado a las lluvias de barro, y al depósito seco. El equipo de observadores realizó dos observaciones diarias, y anotaron las posibles incidencias: lluvia de barro o depósito seco de polvo. La experiencia ha permitido distinguir entre el polvo local y el de origen sahariano. A través de una aplicación de mensajería instantánea para teléfonos móviles, los observadores recibieron, de un miembro del equipo, un mensaje con la previsión de aerosoles en el entorno de observación. La profesionalidad del equipo de observadores ha permitido disponer de una primera, y fiable, serie de días de lluvia de barro en el observatorio de Murcia. El operativo de observación sigue en marcha.

2.2. Medidores de PM10

Las PM10 (del inglés, *particulate matter*) son pequeñas partículas sólidas o líquidas, de tamaño igual o inferior a 10 micras, dispersas en la atmósfera. Estas PM10 están asociadas a la calidad del aire, por lo que los datos de las estaciones utilizadas fueron aportados por la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental de la Consejería de Agua, Agricultura y Medio Ambiente de la Región de Murcia. Los medidores utilizaron un filtro y un método gravimétrico para contabilizar la concentración de partículas.

Los registros de estos medidores mostraron picos en la concentración de PM10 que, en ocasiones, coincidieron con las invasiones de aerosoles minerales, aunque también con eventos de otra naturaleza. Como valor de compromiso, se estableció una concentración umbral de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para considerar que el medidor indicó una invasión destacable de aerosol mineral (el valor límite diario de PM10 para la protección de la salud humana, promedio en 24 horas, es de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, según la directiva 1999/30/CE). Aunque el objetivo de estos medidores no es el de los aerosoles minerales, sus registros horarios revelaron las intrusiones más fuertes, independientemente de la nubosidad presente. En ocasiones, cuando el polvo sahariano viajó alejado del suelo, estos medidores marcaron el aumento en la concentración tras la propia lluvia de barro y evaporación de las gotas.

2.3. Fotómetro solar Cimel

Este fotómetro está instalado en la terraza del observatorio de Murcia, y mide la intensidad de la luz que le llega en varias longitudes de onda del espectro visible. Se seleccionaron dos de los productos que ofrece el instrumento:

- El espesor óptico de aerosoles, EOA, que es una medida de los aerosoles contenidos en una columna de aire entre el fotómetro y el tope de la atmósfera, y expresa la pérdida de radiación (en nuestro caso, en la longitud de onda de 500 nanómetros) por la absorción o la dispersión (*Aerosol Robotic Network*, AERONET). Tras analizar los valores climatológicos de EOA en Murcia, así como sus registros diarios, se estableció el umbral medio diario de 0,3 para considerar que, sobre ese valor, el observatorio de Murcia fue sobrevolado por una alta concentración de aerosoles. El valor medio diario de EOA en julio y agosto es de 0,23, mientras que de noviembre a enero es inferior a 0,1 (figura 2).

- El exponente de Ångström, que estima el tamaño de los aerosoles, comparando la respuesta diferencial en dos longitudes de onda distintas. Cuando el tamaño de las partículas disminuye, el exponente aumenta (CHAABANE y otros, 2012). Para el polvo de origen sahariano, el exponente toma valores muy bajos. Tras analizar sus valores climatológicos sobre Murcia, así como sus registros diarios, se estableció que exponentes medios diarios iguales o inferiores a 0,8 revelarían grandes tamaños de aerosoles. El valor medio diario del exponente de Ångström en julio y agosto es aproximadamente 0,9, mientras que de noviembre a enero supera 1,2 (figura 2).

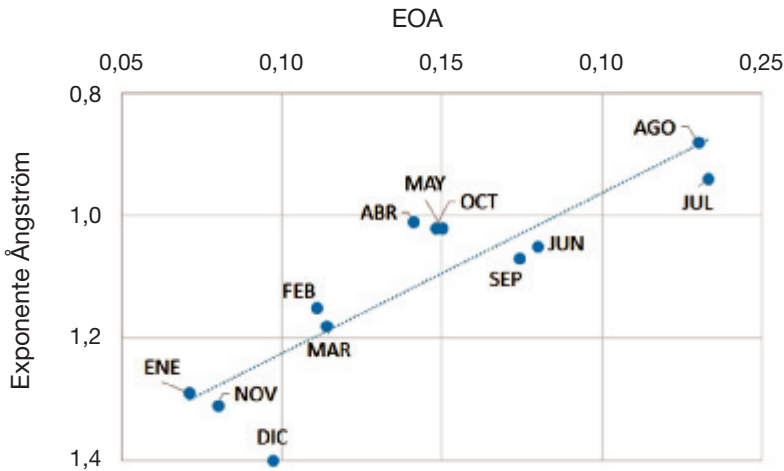


Figura 2. Valores medios mensuales en Murcia del espesor óptico de aerosoles, EOA, a 500 nanómetros, frente al tamaño de estos, expresados en términos del exponente de Ångström (440-870 nanómetros). Valores pequeños del exponente indican tamaños grandes. Periodo 2012-2016.

De esta forma, aumentos del EOA sobre el umbral establecido, con exponentes de Ångström inferiores al umbral establecido, indicarían la presencia de un episodio de polvo sahariano sobre el observatorio de Murcia. El Cimel efectuó frecuentes medidas del aerosol sobre el observatorio, pero solo de día y en ausencia de nubes. La ausencia de medidas del Cimel por presencia de nubes se intentó salvar con el análisis de los datos del día previo a la lluvia de barro.

2.4. Fotómetros embarcados en plataformas satelitales

A partir de la radiación que llega a los fotómetros embarcados en los satélites se puede inferir la presencia de aerosoles. Se utilizó la información sobre aerosoles procedente de dos plataformas:

- Plataformas polares. Sensor Modis en los satélites Terra y Aqua de la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*). El sensor analiza la radiación que llega al satélite en diferentes bandas, entre 0,47 y 2,1 micras, a partir de la cual infiere el EOA. Heredando el del Cimel, se estableció el umbral de 0,3 de EOA, detectado en el entorno del observatorio de Murcia, para considerar que sobrevoló una alta concentración de aerosoles. El producto ofrece una resolución espacial de unos 3 km, se elabora una vez al día, y la presencia de nubes dificulta la identificación de aerosoles.

- Plataforma geoestacionaria. Sensor Seviri en el MSG de Eumetsat (WMO, s.f.). El sensor analiza la radiación que llega al satélite en diferentes bandas, centradas en 8,7, 10,8 y 12,0 micras, y las combina para elaborar el producto RGB-Dust cada 15 minutos, con una resolución espacial de algo más de 3 km. La presencia de nubes dificulta la identificación de aerosoles. El producto *Dust* hace evidente la presencia de aerosoles tan solo ante concentraciones elevadas, no pudiendo cuantificarse el EOA.

2.5. Modelo de predicción de polvo

Como complemento a la información anterior, se han utilizado los datos del modelo de predicción de polvo acoplado a un modelo meteorológico: el NMMB/BSC-*Dust* (*Non-hydrostatic Multiscale Model on the B-grid*, del Barcelona Supercomputing Center) (BARCELONA DUST FORECAST CENTER, s.f.). El modelo predice el ciclo de vida en la atmósfera del polvo levantado del desierto. Aunque se trata de un valor previsto, este indicador ofrece la ventaja de aportar información con y sin nubes, tanto de día como de noche. De las variables deducidas por el modelo, se ha utilizado el EOA. Dado que se trata de valores previstos, y que solo atiende a los aerosoles minerales, se eligió el umbral de EOA 0,1 para considerar la presencia de dichos aerosoles sobre Murcia.

3. RESULTADOS DEL PERIODO DE OBSERVACIÓN

Durante el periodo de observación, se registraron 36 episodios de precipitación en el observatorio de Murcia, de los que 12 incluyeron lluvias de barro (tabla 1). El mes con mayor número de episodios fue agosto (figura 3).

	2016							2017				
Lluvia barro	5 may	28-29 jun	7-8 jul	20 jul	31 jul-1 ago	16 ago	28-29 ago	24-25 oct	12-13 feb	23-24 feb	4 mar	5 abr

Tabla 1. Episodios de lluvia de barro registrados en el observatorio meteorológico de Murcia, entre mayo de 2016 y abril de 2017. Las fechas muestran el día, o los días, centrales del episodio.

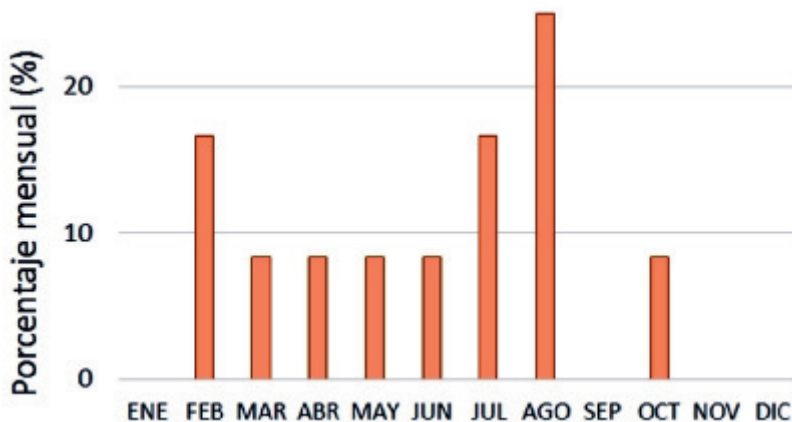


Figura 3. Porcentaje mensual de episodios de lluvia de barro observados en el observatorio de Murcia entre mayo de 2016 y abril de 2017. Número total de episodios, 12.

Tras contrastar los episodios realmente observados (12 de 36 episodios de precipitación) con los identificados como de barro por cada indicador de presencia de aerosoles, se observó que:

- Los medidores de PM10 detectaron la mitad de los episodios de lluvia de barro, mostrando un 40 % de falsas alarmas.
- El fotómetro Cimel detectó 9 de los 12 episodios con, tan solo, un 9 % de falsas alarmas.
- Desde las plataformas satelitales se detectaron también 9 de los 12 episodios, aunque las falsas alarmas fueron mucho mayores, 59 %.
- Los datos del BSC llegaron a detectar 11 de los episodios, pero con un 27 % de falsas alarmas.

Los indicadores que con más pericia delataron la presencia de aerosoles en los episodios de lluvia de barro fueron: el fotómetro solar Cimel, y la propia predicción de aerosoles del BSC. El Cimel, al medir directamente los aerosoles sobre el observatorio, mostró pocas falsas alarmas y ligera subpredicción; sin embargo, presenta mediana probabilidad de detección, posiblemente al no realizar medida eficaz en presencia de nubes. El BSC presenta elevada probabilidad de detección, ya que prevé aerosoles con o sin nubes; sin embargo, sobrepredice uno de cada cuatro de sus episodios, quizás por haber considerado un umbral bajo de EOA. Los medidores de PM10 mostraron una ligera subpredicción, pero un muy bajo índice de habilidad de Peirce (diferencia entre probabilidad de detección y falsas alarmas). La detección mediante radiómetros satelitales presentó muchas falsas alarmas y gran sobrepredicción, posiblemente al considerarse para la superación de umbrales una zona entorno al observatorio demasiado amplia.

4. RECUPERACIÓN DE DATOS DE LLUVIAS DE BARRO DE AÑOS ANTERIORES

Conociendo la pericia de cada indicador en la determinación de los episodios de lluvia que pudieron ser de barro, se ha intentado identificar los de los años anteriores al periodo de observación. Para ello, primero se han identificado los episodios de lluvia en el observatorio de Murcia en años anteriores, y, posteriormente, se han determinado qué indicadores superaron el umbral durante estos episodios. Dado que los primeros doce meses de observación se extendieron de mayo de 2016 a abril de 2017, los periodos anteriores abarcan los mismos meses. Los datos depurados del Cimel limitan la recuperación hasta mayo de 2013. En la figura 4 se muestran los episodios de lluvia de barro observados (2016-2017), y los identificados por cada indicador en años anteriores. Al número de episodios identificados se les ha quitado el sesgo detectado en el periodo de observación (PM10: 83 %, radiómetro Cimel: 92 %, radiómetros satelitales: 183 %. BSC: 125 %).

Esta estimación del número de episodios de lluvia de barro en el observatorio de Murcia da una primera idea de su valor anual, y una indicación de su variabilidad. Considerando el valor medio y la desviación típica del número de episodios identificados por cada indicador se tendría que, en el periodo de mayo de 2013 a abril de 2014, se identificaron 8 ± 3 episodios, en el periodo 2014-2015, 9 ± 3 , y en el 2015-2016, 7 ± 3 episodios. El periodo de mayo de 2016 a abril de 2017 parece haber sido especialmente activo respecto a episodios de lluvia de barro.

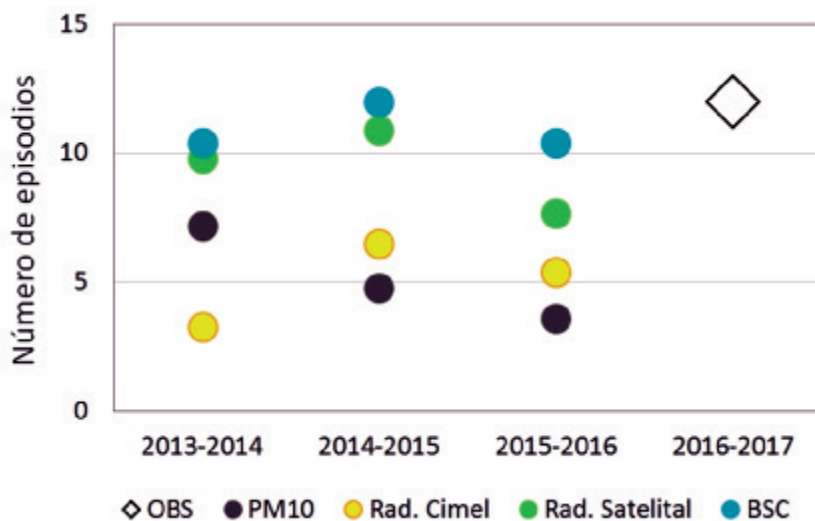


Figura 4. Número de episodios de lluvia de barro en intervalos de 12 meses (mayo-abril), observados (OBS) y detectados en el entorno del observatorio de Murcia por cada uno de los indicadores (material particulado inferior a 10 micras o PM10, radiómetro Cimel, radiómetros satelitales, aerosol mineral previsto por el BSC). A los valores se les ha quitado el sesgo detectado en el periodo de observación.

5. CONCLUSIONES

La petición de un usuario de AEMET ha puesto en marcha un operativo de observación de lluvias de barro en el observatorio de Murcia. Tras un primer año de registro, se ha comprobado que el indicador de presencia de aerosoles minerales más adecuado para identificar, de entre los episodios de lluvia cuáles fueron de barro, es el fotómetro solar Cimel. Sin embargo, este indicador subestima los episodios al no ofrecer medidas de calidad ante la presencia de nubes. En ausencia del fotómetro Cimel, la propia predicción de aerosoles minerales que ofrece el BSC es buen indicador con el que recuperar los episodios de lluvias de barro de años anteriores, aunque tiende a sobrestimarlos. Las medidas de PM10, así como la observación de aerosoles desde plataformas satelitales, no mostraron tanta pericia en la estimación de estos episodios.

Conocidas sus pericias, los indicadores de aerosoles se han utilizado para identificar los episodios de lluvias de barro de años anteriores al periodo de observación.

A medida que aumente la serie de observaciones de lluvia de barro en el observatorio de Murcia mejorará el ajuste de sus umbrales y, consecuentemente, la identificación de los episodios de años anteriores, lo que permitirá la elaboración de una climatología de episodios. Esta metodología de detección de episodios de lluvia de barro es fácilmente extensible a otras zonas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias a la profesionalidad del equipo del observatorio de Murcia, Grey, Alberto y Juan Antonio, que se implicaron desde un principio en el seguimiento

de las lluvias de barro; al buen hacer del personal de Sistemas Básicos en la preparación del captador; de la responsable de climatología, M^a Mar, que colaboró en el desarrollo de los procedimientos; al apoyo técnico de nivel de José y Juan Andrés; así como al Delegado, Juan Esteban, que ofreció su apoyo incondicional. También agradecemos el asesoramiento de Juan Ramón Moreta, investigador principal de la red AERONET en España. Finalmente, agradecer al profesor de la Universidad de Murcia, Juan Pedro Montávez Gómez, la confianza puesta en esta Delegación, fomentando que sus alumnos realicen en ella prácticas de formación.

BIBLIOGRAFÍA

- AEROSOL ROBOTIC NETWORK (AERONET) (s.f.). Aerosol Optical Depth. NASA. Recuperado de https://aeronet.gsfc.nasa.gov/new_web/Documents/Aerosol_Optical_Depth.pdf.
- BARCELONA DUST FORECAST CENTER, AEMET (s.f.). The NMMB/BSC-Dust model. Gobierno de España. Recuperado de <https://dust.aemet.es/methods/the-nmmb-bsc-dust-model>.
- CHAABANE, M., AZRI, C. y MEDHIOUB, K. (2012). Climatological Aspects of Aerosol Physical Characteristics in Tunisia Deduced from Sun Photometric Measurements. *The Scientific World Journal*, 2012.
- FIOL, L. A., FORNÓS, J. J., GELABERT, B. y GUIJARRO, J. A. (2005). Dust rains in Mallorca (Western Mediterranean): Their occurrence and role in some recent geological processes. *Catena*, 63(1), 64-84.
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA) (s.f.). Eosdis Wordview. Recuperado de <https://worldview.earthdata.nasa.gov>.
- WILSON, L. y NURMI, P. (s.f.). Forecast Verification Module. Eumetcal. Recuperado de <http://www.met-learning.eu>.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO) (s.f.). Northern Africa-Middle East-Europe Regional Center. Recuperado de <https://sds-was.aemet.es/forecast-products/dust-observations/msg-2013-eumetsat>.