

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

Irene PARDO CANTOS¹, Luis María BAÑÓN PEREGRÍN²

¹*Universidad de Murcia y Universidad de Lieja.*

²*Delegación Territorial Murcia. Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).*

i.pardocantos.ip@gmail.com, lbanonp@aemet.es

RESUMEN

Las precipitaciones acompañadas de aerosoles minerales, 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 del público por este fenómeno, en mayo de 2016 se comenzó la observación sistemática de lluvias y depósitos secos de barro en el observatorio meteorológico de AEMET en Murcia.

A partir de los datos obtenidos y el análisis de las respuestas de varios indicadores de presencia de aerosoles, se ha formulado un método para estimar los episodios de lluvia de barro en el observatorio en los últimos años. La metodología ha partido del análisis de los episodios detectados en el período de observación utilizando varios indicadores: fotómetro solar, medidores de concentración de PM10, modelo de predicción de polvo NMMB/BSC-Dust del BSC y productos satelitales de detección de aerosoles. Conociendo las limitaciones de cada indicador, se establecieron umbrales, y se planteó un método de detección que combina la información aportada por todos ellos. Este método se verificó con el período de observación mostrando una capacidad de detección del 75% y un 18% de falsas alarmas.

Aplicando dicho método en el período 2013-2017, se observó que el 17% de los episodios de precipitación en el observatorio de Murcia fueron en forma de barro, que el número medio anual de estos episodios es $7,0 \pm 2,7$ y que el verano y la primavera son las estaciones con más episodios detectados.

Palabras clave: Lluvias de barro, AOD, PM10, NMMB/BSC-Dust, satélites, Murcia.

ABSTRACT

Rain with mineral aerosols, also known as dust rain, has very important social, ecological and economical effects nowadays. In Murcia, this type of rain significantly affects agriculture. As the public are becoming more aware of the problem, regular observations of mineral dust and dust rain have been carried out in the AEMET meteorological observatory in Murcia since May 2016.

With the obtained data and the analysis of the equipment used, we have created a method to estimate the number of dust rain events which occurred over several years in this observatory. The used methodology started by analysing the observed events using the sun photometer CIMEL, the density of PM10, the NMMB/BSC-Dust model of the BSC, and the satellites that detect aerosols. Allowing for the limitations of each

tool, we established thresholds and, using the information provided by them, we set out a forecast method. This method was checked using the observational period and they showed a hit rate of 75% and 18% of false alarms.

Using this method, we noticed that 17% of the total number of rain events in the observatory of Murcia were dust rain between January 2013 and June 2017. The annual mean of these events is 7.0 ± 2.7 . Additionally, summer and spring had the most events.

Key words: Dust rains, AOD, PM10, NMMB/BSC-Dust, satellites, Murcia.

1. INTRODUCCIÓN

Las lluvias de barro, *dust rains* o *red rains* en inglés, 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 (Boucher, 2015). 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 (Quereda Sala & Olcina Cantos, 1994). El tamaño de estos aerosoles puede variar entre diámetros inferiores a $1 \mu\text{m}$, hasta superiores a $10 \mu\text{m}$, llegando a alcanzar los $250 \mu\text{m}$ en algunos casos (Fiol et al., 2005).

En mayo 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.

Para poder identificar los aerosoles que invaden la región de estudio como aerosoles minerales procedentes de los desiertos africanos, son necesarias dos condiciones: que la cantidad de aerosoles alcance una determinada concentración y que el tamaño de dichos aerosoles sea lo suficientemente grande como para referirse a arena del desierto. Los parámetros que nos aportan dicha información son el Espesor Óptico de Aerosoles (EOA o AOD, por sus siglas en inglés) y el Exponente de Ångström respectivamente.

Tras un año de registros, que llamaremos período de observación, quedaron identificados doce 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 período de observación.

Para los doce meses del período de observación, se analizaron los valores que tomaron los siguientes indicadores de presencia de aerosoles:

- Medidas directas, con filtros de partículas instalados en ocho puntos de la Región de Murcia que capturaron las de tamaño igual o menor a $10 \mu\text{m}$, 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 (AOD):
 - Desde la superficie terrestre, el fotómetro solar Cimel, ubicado en el observatorio meteorológico de Murcia.
 - Desde plataformas satelitales polares y geoestacionarias.
- Medidas previstas, simuladas con un modelo atmosférico de predicción de polvo.

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

Una vez elegidos los valores umbrales, se identificaron todos los episodios de precipitación del período 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 & 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 período de observación, se aislaron, primero, los episodios de precipitación y, posteriormente, se determinó en cuáles de ellos los indicadores superaron su umbral. En la siguiente sección se explican los indicadores de presencia de aerosoles utilizados, así como los umbrales y los criterios considerados para el presente trabajo. Posteriormente se presentan los resultados obtenidos a partir de los datos y su posterior análisis para finalizar con una discusión de los mismos y las conclusiones extraídas tras la realización del estudio.

2. METODOLOGÍA

Para que las lluvias de barro tengan lugar en una región concreta, son necesarios dos componentes principales: una situación sinóptica apropiada que favorezca la intrusión o generación de aerosoles minerales y la existencia de precipitaciones en forma de lluvia.

Este estudio comenzó con la observación sistemática de lluvias de barro y depósito seco. Posteriormente se obtuvieron los registros de precipitación para así analizar la respuesta de los indicadores de presencia de aerosoles en cada uno de los días del episodio y finalmente decidir si se trataba de una lluvia de barro.

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 desde el 1 de mayo de 2016, 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 μm , dispersas en la atmósfera (Ahrens 2012). Estas PM10 están asociadas a la calidad del aire, por lo que los datos de las ocho 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). Para estimar que la concentración de aerosoles era notable sobre la Región de Murcia, se consideró que era necesario que cuatro o más de las ocho estaciones superasen dicho umbral. 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.

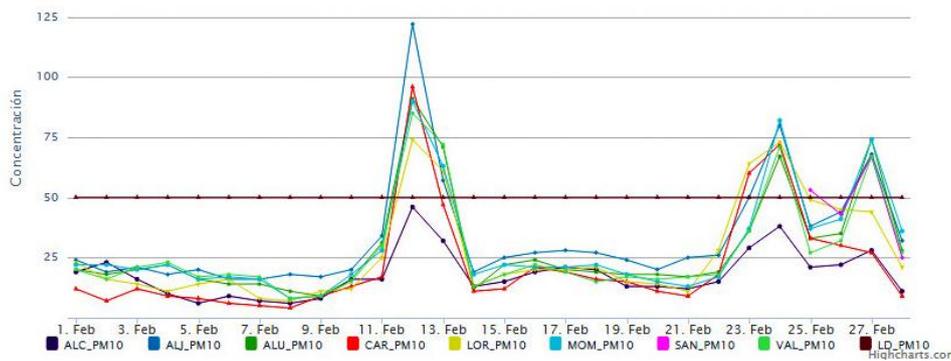


Fig. 1: Ejemplo de los datos obtenidos por las estaciones de PM10 de la Región de Murcia en febrero 2017. Se pueden distinguir varios eventos de intrusión de polvo que se corresponden, además, con lluvias de barro. Fuente: Dirección general de Medio Ambiente. Consejería de Turismo, Cultura y Medio Ambiente.

2.3. Fotómetro solar Cimel

Este fotómetro está instalado en la terraza del observatorio meteorológico 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 nm) por la absorción o la dispersión (Aeronet, s.f.). 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 et al., 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 (Fig. 2).

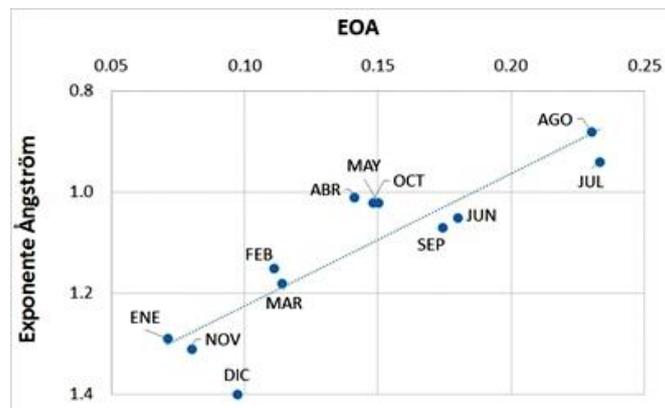


Fig. 2: Valores medios mensuales en Murcia del espesor óptico de aerosoles, EOA, a 500 nm, frente al tamaño de estos, expresados en términos del exponente de Ångström (440-870 nm). Valores grandes de EOA indican grandes concentraciones de aerosoles mientras que valores pequeños del exponente de Ångström indican tamaños grandes. Período 2012-2016.

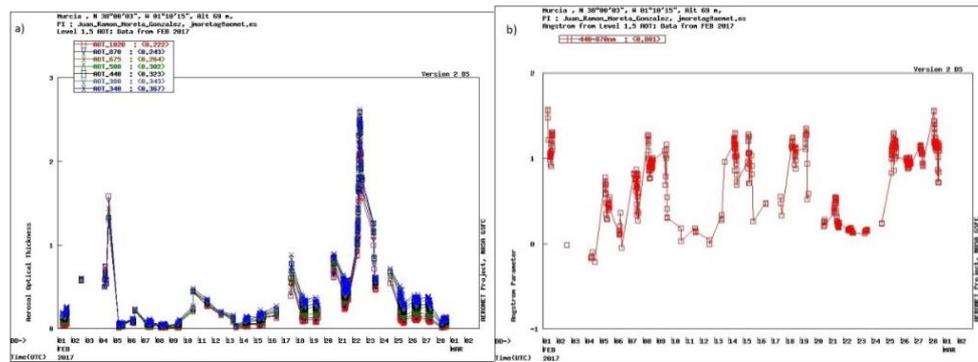


Fig. 3: Datos del fotómetro solar Cimel situado en el observatorio meteorológico de Murcia. Febrero 2017. (a) Espesor óptico de aerosoles, EOA, a 500 nm. (b) Exponente de Ångström (440-870 nm). Valores grandes de EOA indican grandes concentraciones de aerosoles mientras que valores pequeños del exponente de Ångström indican tamaños grandes. Fuente: Aeronet, 2018.

De esta forma, aumentos del EOA, 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 de aerosoles 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 (NASA, 2018). El sensor analiza la radiación que llega al satélite en diferentes bandas, entre 0,47 y 2,1 μm , 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 geostacionaria. Sensor Sevir en el MSG (Meteosat Second Generation) de Eumetsat (WMO, 2018). El sensor analiza la radiación que llega al satélite en diferentes bandas, centradas en 8,7, 10,8 y 12,0 μm , 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.

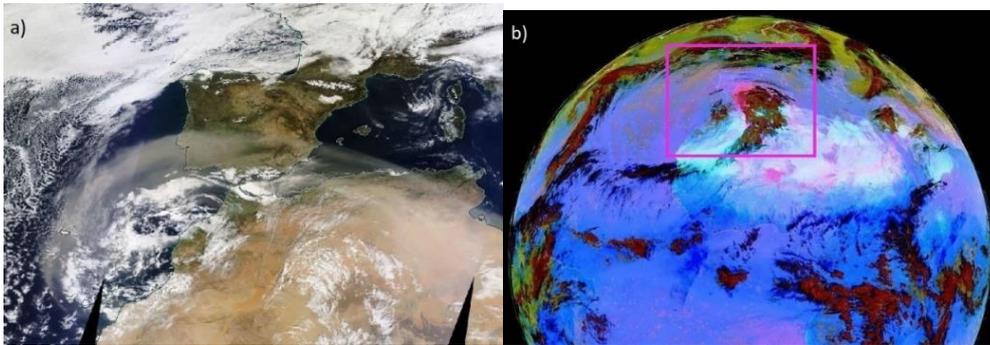


Fig. 4: Imágenes de satélite. Febrero 2017. (a) Satélites Terra y Aqua de la NASA. (b) MSG de Eumetsat. Fuente: NASA, 2018 y WMO, 2018.

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) (BSC, 2018). 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.

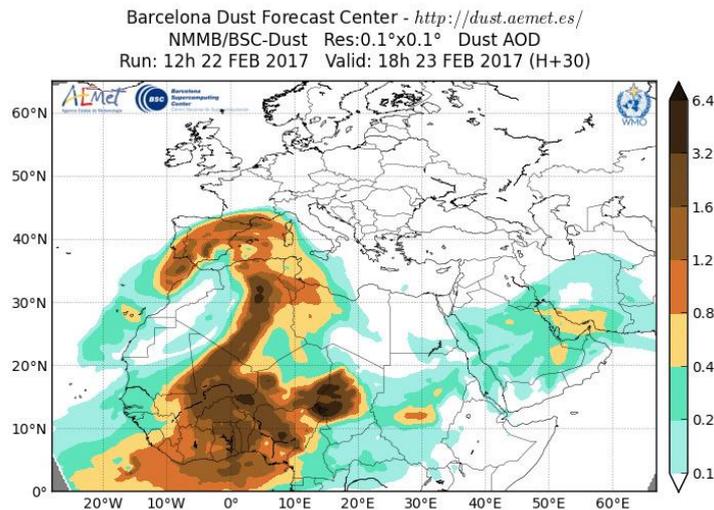


Fig. 5: Modelo de predicción de polvo NMMB/BSC-Dust. Febrero 2017. Se puede observar que el EOA alcanza valores muy altos sobre la Península Ibérica procedente de África, lo que indica una invasión de aerosoles minerales. Fuente: BSC, 2018.

3. RESULTADOS

3.1. Resultados del período de observación

Durante el período 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 6).

Fechas lluvia a barro	5 mayo 2016	28-29 junio 2016	7-8 julio 2016	20 julio 2016	31 julio 1 agosto 2016	16 agosto 2016	28-29 agosto 2016	24-25 octubre 2016	12-13 febrero 2017	23-24 febrero 2017	4 marzo 2017	5 abril 2017
------------------------------	-------------	------------------	----------------	---------------	------------------------	----------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------	--------------

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.

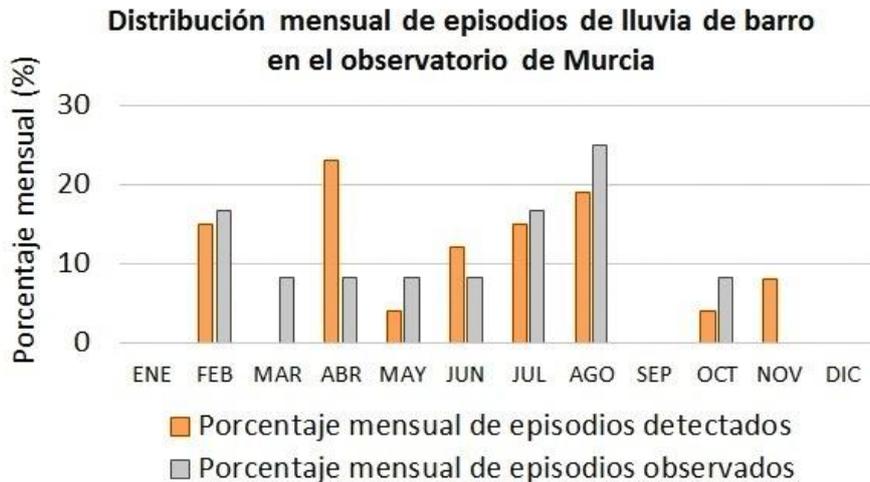


Fig. 6: Porcentaje mensual de episodios de lluvia de barro observados en el observatorio de Murcia y detectados por los indicadores de presencia de aerosoles, entre mayo de 2016 y abril de 2017 (período de observación). Número total de episodios 12.

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 (Tabla 2):

- Los medidores de PM10 detectaron la mitad de los episodios de lluvia de barro, mostrando un 40% de falsas alarmas.
- El fotómetro solar 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 fotómetro, al medir directamente los aerosoles sobre el observatorio, mostró pocas falsas alarmas (9%) y ligera sub-predicción (sesgo=92%). Sin embargo, presenta mediana probabilidad de detección (75%), posiblemente al no realizar medida eficaz en presencia de nubes. El modelo de predicción del BSC presenta elevada probabilidad de detección (92%), ya que prevé aerosoles con o sin nubes. No obstante, predice uno de cada cuatro de sus episodios, quizás por haber considerado un umbral bajo de EOA. Los medidores de PM10 mostraron una ligera sub-predicción (sesgo=83%), 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 (59%) y gran sobre-predicción (sesgo=183%), posiblemente al considerarse para la superación de umbrales una zona entorno al observatorio demasiado amplia. En la Tabla 2 y la Figura 7 se muestra un resumen de todos los índices calculados para cada uno de los indicadores de presencia de aerosoles.

Indicador	% Aciertos	CSI (%)	PD (%)	FA (%)	Sesgo (%)	PSS (%)
Cimel	86	64	75	9	92	66
BSC	86	69	92	27	125	65
SAT	56	36	75	59	183	16
PM10	72	38	50	40	83	10

Tabla 2: Porcentaje de aciertos (% aciertos), Critical Success Index (CSI), Probabilidad de Detección (PD), Falsas Alarmas (FA), Sesgo y Peirce Skill Score (PSS) para cada uno de los indicadores de presencia de aerosoles. Estos índices se han calculado aplicando tablas de contingencia a los datos correspondientes al período de observación, permitiendo así analizar la relación entre el número de eventos observados y previstos por los indicadores.

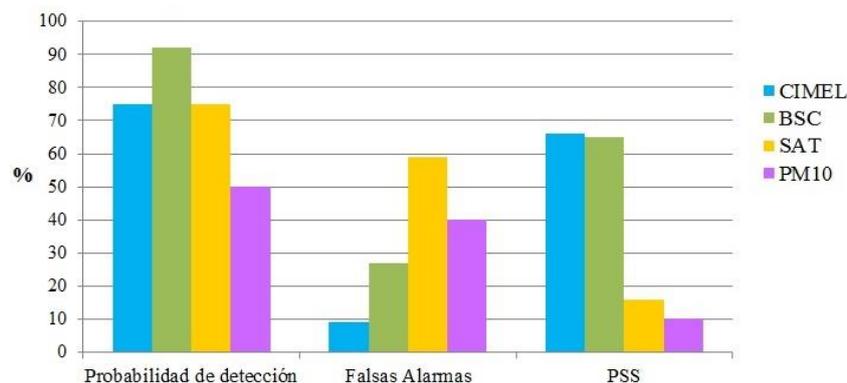


Fig.7: Comparación de los cuatro indicadores utilizados en este estudio. Se observa que los mejores indicadores de presencia de aerosoles son el fotómetro solar Cimel

y el modelo de predicción de polvo del BSC, pues ambos muestran un PSS mucho mayor al resto. Lo que indica que la probabilidad de detección de ambos es mayor que a la de los otros dos instrumentos y, además, el porcentaje de falsas alarmas es muy bajo.

3.2. 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 período 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 períodos anteriores abarcan los mismos meses. Los datos depurados del Cimel limitan la recuperación hasta mayo de 2013. En la Figura 8 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 período de observación (Tabla2).

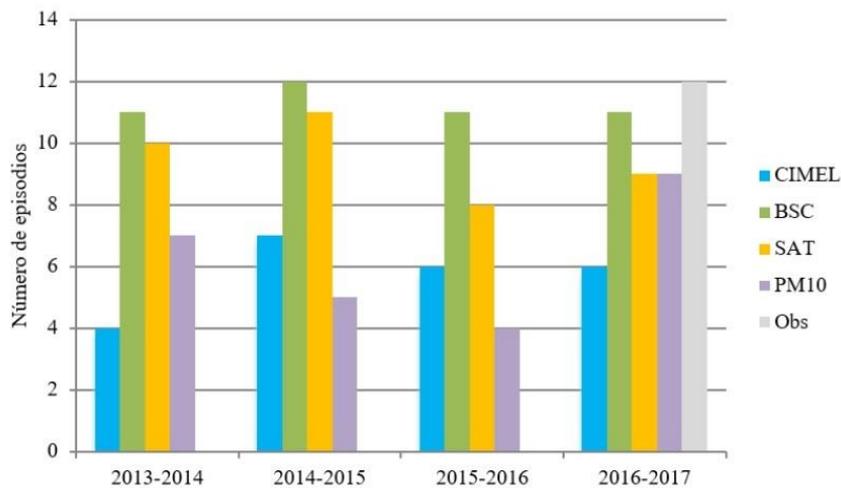


Fig. 8: Número de episodios de lluvia de barro en intervalos de 12 meses (mayo-abril), observados (Obs) y detectados en el entorno del observatorio meteorológico de Murcia por cada uno de los indicadores (PM10, fotómetro solar Cimel, radiómetros satelitales, aerosol mineral previsto por el modelo del BSC). A los valores se les ha quitado el sesgo detectado en el período de observación.

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, tendríamos que, en el período mayo 2013 a abril 2014, se identificaron 8 ± 3 episodios, en el período 2014-2015, 9 ± 3 , y en el 2015-2016, 7 ± 3 episodios. Basándose en las observaciones realizadas, el período mayo

2016 a abril 2017 parece haber sido especialmente activo respecto a episodios de lluvia de barro.

4. DISCUSIÓN

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 no todos los indicadores aportan la misma información ni esta es de la misma calidad. Finalmente, se ha observado que el indicador de presencia de aerosoles minerales más adecuado (mayor PSS) 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. Conocida su capacidad de detección y sus falsas alarmas, los indicadores de aerosoles se han utilizado para identificar los episodios de lluvias de barro de años anteriores al período de observación, desde 2013 hasta 2017.

Tras la realización de este trabajo, se ha observado que el 17% de los episodios de precipitación acontecidos durante todo el período estudiado fueron en forma de barro. Cabe destacar que el mayor porcentaje de lluvias de barro acontecidas en Murcia en el período estudiado tienen lugar en primavera y verano, pues la masa de aire africano tiene mayor tendencia a invadir el sur peninsular en las épocas más cálidas.

El método de identificación de lluvias de barro propuesto en este estudio muestra una capacidad de detección del 75% y un 18% de falsas alarmas. Estos valores se han obtenido comparando el número de episodios observados y detectados durante el período de control (mayo 2016 - abril 2017).

Utilizando todos los indicadores de este estudio, la climatología no podría extenderse más allá de septiembre 2012, ya que no se dispone del fotómetro solar Cimel con anterioridad. Así que, para crear una climatología más completa, deberían utilizarse únicamente los datos aportados por los otros tres indicadores, pudiendo extenderse hasta 2001, según las fechas de instalación de cada indicador. Sin embargo, se aconseja realizar tal climatología hasta 2016, pues 5 estaciones de PM10 ya estaban instaladas en la Región de Murcia, los satélites Terra y Aqua estaban en órbita y el modelo de predicción del BSC ya había sido mejorado.

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 completa 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 meteorológico 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 y al profesor de la Universidad de Murcia, Juan Pedro, por la confianza puesta en esta Delegación, fomentando que sus alumnos realicen en ella prácticas de formación. Finalmente, agradecer a Tobias y Alexandre por todo el apoyo profesional y moral aportado durante la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

- Aerosol Robotic Network (Aeronet) (s.f.). Aerosol Optical Depth. NASA. Recuperado de https://aeronet.gsfc.nasa.gov/new_web/Documents/Aerosol_Optical_Depth.pdf
- Aerosol Robotic Network (Aeronet) (2018). Aerosol Optical Depth. NASA. Recuperado de <https://aeronet.gsfc.nasa.gov/>
- Ahrens, C.D. (2012) *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment*. Cengage Learning.
- Barcelona Dust Forecast Center. Aemet (2018). The NMMB/BSC-Dust model. Gobierno de España. Recuperado de <https://dust.aemet.es/methods/the-nmmb-bsc-dust-model>
- Boucher, O. (2015). *Atmospheric Aerosols: Properties and Climate Impacts*. Springer.
- Chaabane, M., Azri, C., & Medhioub, K. (2012). Climatological Aspects of Aerosol Physical Characteristics in Tunisia Deduced from Sun Photometric Measurements. *The Scientific World Journal*, 2012.
- Dirección General de Medio Ambiente. Consejería de Turismo, Cultura y Medio Ambiente. (s.f.). *Calidad del Aire*. Región de Murcia. Recuperado de <https://sinclair.carm.es/calidadaire/redvigilancia/redvigilancia.aspx>
- Fiol, L.A., Fornós, J. J., Gelabert, B., & 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) (2018). Eosdis Wordview. Recuperado de <https://worldview.earthdata.nasa.gov>
- Quereda Sala, J., & Olcina Cantos, J. (1994). Lluvias de barro en la vertiente mediterránea de la Península Ibérica. *Investigaciones geográficas*, no 12 pp. 7-22.
- Wilson, L. & Nurmi, P. (s.f.). Forecast Verification Module. Eumetcal. Recuperado de <http://www.met-learning.eu>
- World Meteorological Organization (WMO) (2018). Northern Africa-Middle East-Europe Regional Center. Recuperado de <https://sds-was.aemet.es/forecast-products/dust-observations/msg-2013-eumetsat>