

INFORME ACERCA DE LA INTRUSIÓN DE POLVO DE ORIGEN SAHARIANO SOBRE EL TERRITORIO PENINSULAR ESPAÑOL ENTRE LOS DÍAS 14 Y 16 DE MARZO DE 2022

Juan Andrés GARCÍA-VALERO
Área de Técnicas y Aplicaciones de Predicción. AEMET

1. Introducción

La localización de la península ibérica relativamente próxima al desierto del Sahara, principal reservorio de arena del hemisferio norte, la convierte en una región propensa a las intrusiones de polvo de origen sahariño (Michaelides y *otros*, 2018), especialmente bajo determinadas situaciones meteorológicas. El principal impacto que presentan las intrusiones de polvo es sobre la calidad del aire y por tanto sobre la salud (Díaz y *otros*, 2017), por ello, hay un número importante de trabajos en los que se han estudiado estos episodios. Algunos de ellos han caracterizado las situaciones meteorológicas que favorecen su ocurrencia (Salvador y *otros*, 2014; Díaz y *otros*, 2017; Russo y *otros*, 2020). Otros estudios han relacionado estos eventos con los niveles de concentración de material particulado PM10 y PM2.5 (Querol y *otros*, 2019; Suárez y *otros*, 2021), así como con los espesores ópticos de aerosoles (AOD, sus siglas en inglés) medidos a partir de instrumentos de teledetección (Fernández y *otros*, 2019).

El episodio al que hace referencia este informe se produjo en la península ibérica entre el 14 y 16 de marzo de 2022. La posible naturaleza extraordinaria del evento se ha analizado en este trabajo el cuál se ha estructurado en tres apartados. En el primero de ellos se hace una descripción de la situación sinóptica reinante el día previo y durante los días en los que se produjo la intrusión. En el siguiente apartado se muestran algunas observaciones que evidencian la importante concentración de polvo presente en la atmósfera y junto al suelo. Por último, en el apartado final se pone en contexto este episodio con los resultados obtenidos en trabajos anteriores.

2. Descripción de la situación meteorológica

El día 13 de marzo, previo al comienzo de la intrusión de polvo en la Península la situación sinóptica en superficie estaba dominada por dos extensas regiones anticiclónicas, una al norte del continente europeo, bloqueando la circulación atlántica, y otra al oeste de Azores (Figura 1). Entre ambos sistemas anticiclónicos se encontraba un amplio sistema depresionario con centro principal al oeste de las islas británicas y otros dos centros secundarios, uno al noroeste peninsular y otro sobre el golfo de León. Entre las bajas presiones atlánticas y las altas presiones al oeste de Azores se localizaba una región de fuerte gradiente bórico que generaba una intensa circulación de noroeste sobre el Atlántico Norte. En cuanto a la situación en altura había un fuerte acoplamiento sobre la región atlántica con una amplia dorsal en la vertical de las altas presiones situadas sobre Azores, cuyo eje en disposición meridiana y dirección SW-NE se extendía más al norte del paralelo 50 °N.

Corriente abajo de la dorsal atlántica una amplia vaguada se situaba sobre la vertical de las bajas presiones en superficie con eje en la misma dirección que la dorsal (Figura 1). Esta configuración originaba un fuerte gradiente de geopotencial que favorecía una circulación de altura más intensa en la parte de entrada a la vaguada que en su zona de salida, hecho que favorecía el descuelgue de la vaguada hacia el sur de la región atlántica.

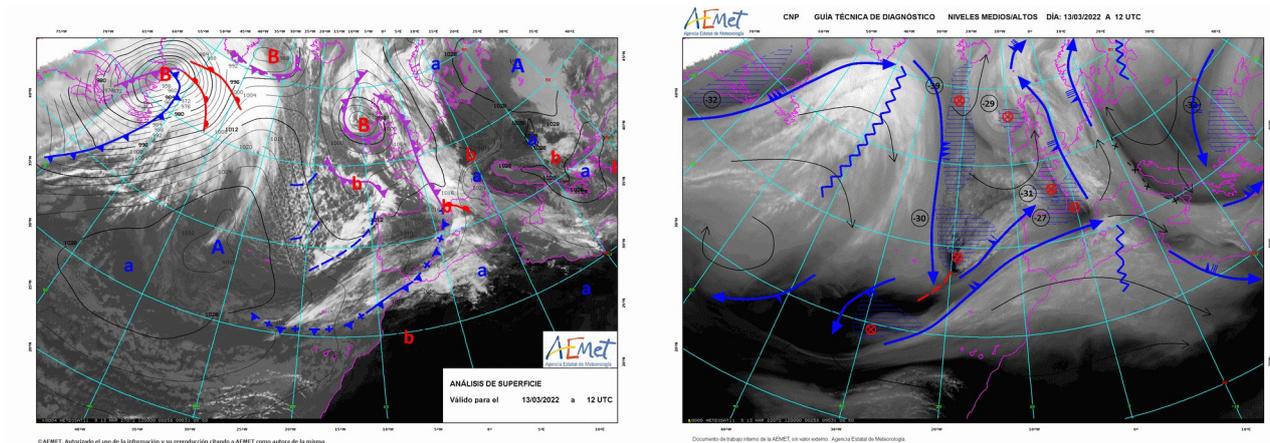


Figura 1. Guías técnicas de diagnóstico de las 12 UTC del 13 de marzo de 2022. Principales estructuras sinópticas en superficie (izquierda) y en altura (derecha).

Las previsiones de este día indicaban que la vaguada en altura se descolgaría hacia la región del golfo de Cádiz, dando lugar el día 14 a un proceso ciclogénico que desembocaría en una borrasca de gran impacto nombrada como **Celia** por el Instituto Meteorológico Portugués del Mar y la Atmósfera. Días antes, el 11 de marzo, AEMET emitió una nota informativa denominada “*Precipitaciones generalizadas y abundantes en la Península*” y que advertía de la formación de la borrasca en la región del golfo de Cádiz. En la actualización de esta nota el día 12, ya se advertía de la intrusión de polvo en la Península por su vertiente oriental a partir del lunes 14.

Tal y como indicaban las predicciones, la vaguada en altura fue descolgándose de la circulación polar hasta desgajarse de ésta, dando lugar a una depresión aislada en niveles altos (DANA) al suroeste peninsular, así como al desarrollo de la borrasca Celia que aparecía nombrada por primera vez en las guías de diagnóstico del día 14 (Figura 2).

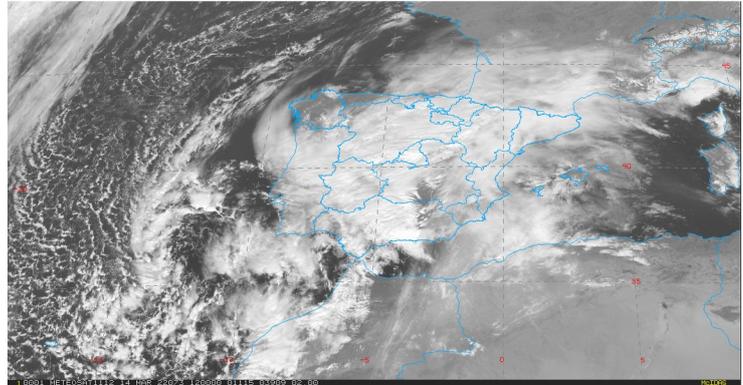
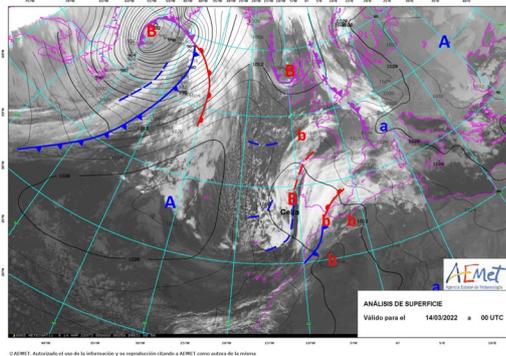


Figura 2. Borrasca Celia en las primeras horas de su formación. Guía técnica de diagnóstico de la situación de superficie de las 00 UTC del 14 de marzo de 2022 (izquierda) e imagen del canal de alta resolución del visible del satélite Meteosat a las 12 UTC (derecha).

El proceso de formación de la DANA se aprecia claramente en el campo de la vorticidad potencial como puede verse en el panel de imágenes de la Figura 3 donde se muestran los análisis de las 00 UTC de los días 13, 14, 15 y 16 de marzo de 2022.

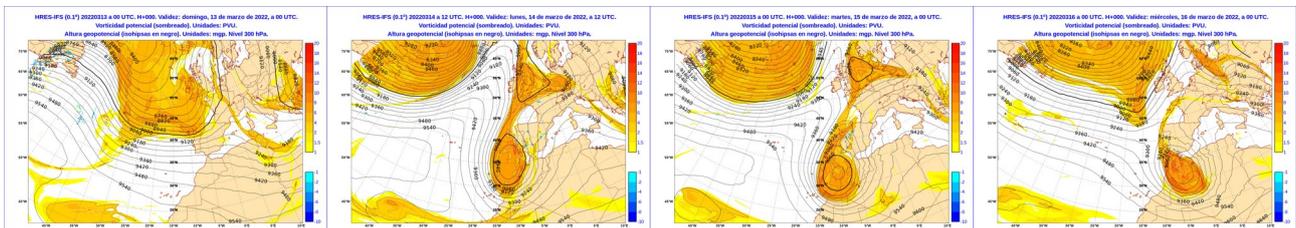


Figura 3. Formación de la DANA en el entorno del golfo de Cádiz y su posterior desplazamiento hacia el este por el norte de África. Análisis de las 00 UTC entre los días 13 y 16 de marzo de 2022 (de izquierda a derecha) del modelo IFS del Centro Europeo correspondientes al campo de la vorticidad potencial en 300 hPa.

La borrasca Celia se mantuvo estacionaria hasta el día 15 en el área del golfo de Cádiz provocando fuerte viento y temporal marítimo sobre Canarias, así como intensas precipitaciones en las provincias de Málaga, Cádiz y en algunos puntos del Sistema Central. La posición de ambos sistemas depresionarios al suroeste de la Península favorecía la aparición de una intensa circulación de sur sobre la región del Sahara occidental, tal y como se observa en los mapas de altura de las guías de diagnóstico de los días 14 y 15 (Figura 4).

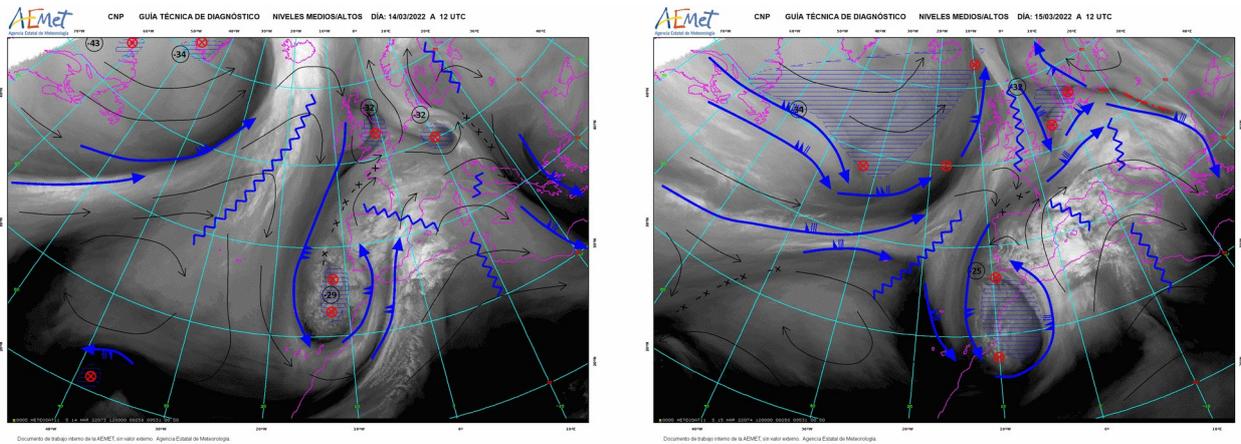


Figura 4. DANA estacionaria al suroeste de la Península y noroeste de Marruecos durante los días 14 (izquierda) y 15 (derecha) de marzo. Chorro de sur corriente abajo de la vaguada afectando a la región del Sahara occidental.

La circulación de sur en capas bajas también era muy intensa sobre zonas del Sahara donde además se estaba produciendo una fuerte convergencia del viento a consecuencia de la existencia de Celia y el amplio sistemas de altas presiones que se extendía por gran parte del Mediterráneo central y oriental, y parte nororiental de África (Figura 5).

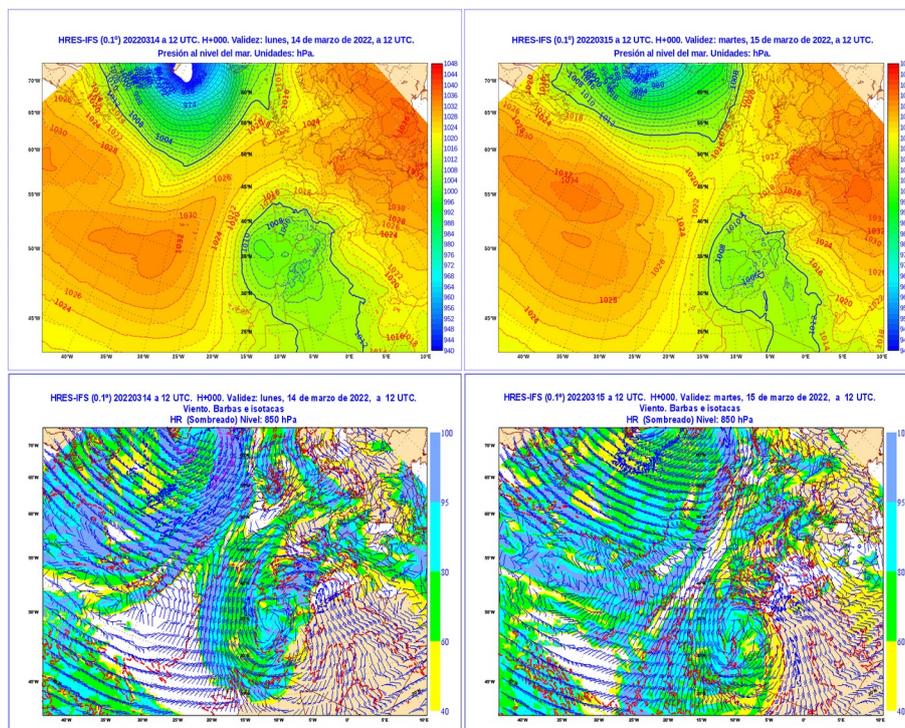


Figura 5. Análisis del campo de presión a nivel del mar (arriba) y del campo de viento en 850 hPa (debajo) de las 12 UTC del modelo IFS del Centro Europeo de los días 14 (izquierda) y 15 (derecha) de marzo de 2022.

La fuerte tempestad de viento originada sobre esta región del Sahara, así como su persistencia mantenida durante más de 24 horas, contribuyó de manera significativa a la inmensa nube de polvo que invadió desde la segunda mitad del día 14 la Península, entrando en ella por su margen suroriental. Por otro lado, la inestabilidad asociada al escudo baroclino de Celia y su frente frío (Figura 6) contribuyeron a que el polvo se elevase en altura alcanzando grandes distancias por la fuerte circulación existente en los niveles más altos (Figura 4).

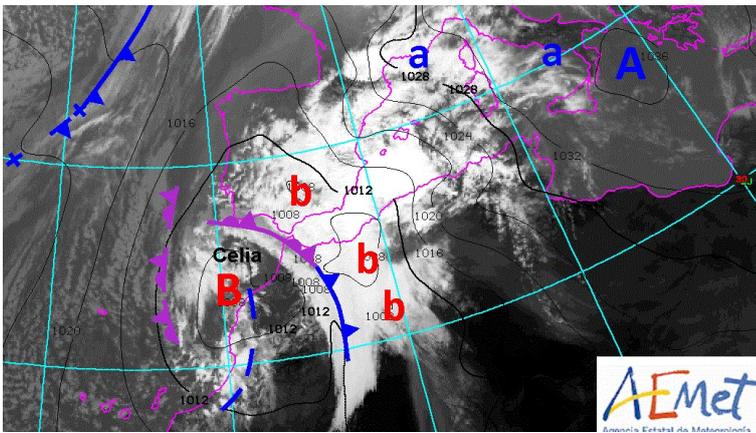


Figura 6. Guía técnica de diagnóstico en superficie del 15 de marzo de 2022 a las 12 UTC.

En la segunda mitad del día 15 Celia comenzó a perder intensidad y la DANA empezó una transición paulatina hacia la región mediterránea a través del norte del continente africano. Celia dejó de nombrarse como tal en los mapas sinópticos el día 16, por lo que su ciclo de vida apenas duró unas 48 horas. No obstante, los restos de la borrasca, su centro de bajas presiones en superficie debilitado, y la DANA en altura que la acompañaba se fueron desplazando por el norte de África hacia el Mediterráneo central, desplazándose también la zona de convergencia hacia el este del continente africano y remitiendo así la advección de polvo sobre la Península a partir de la segunda mitad del día 16.

La situación que acaba de describirse, bajas presiones en el entorno del golfo de Cádiz, se corresponde con uno de los marcos sinópticos caracterizados en el trabajo de Salvador y otros, (2014) como precursoras de intrusiones de aerosoles de origen sahariense en la Península. Situación que suele presentar un ciclo anual es más frecuente hacia el final del invierno y principios de la primavera.

3. Observaciones de Polvo y material particulado

3.1. Observación cualitativa

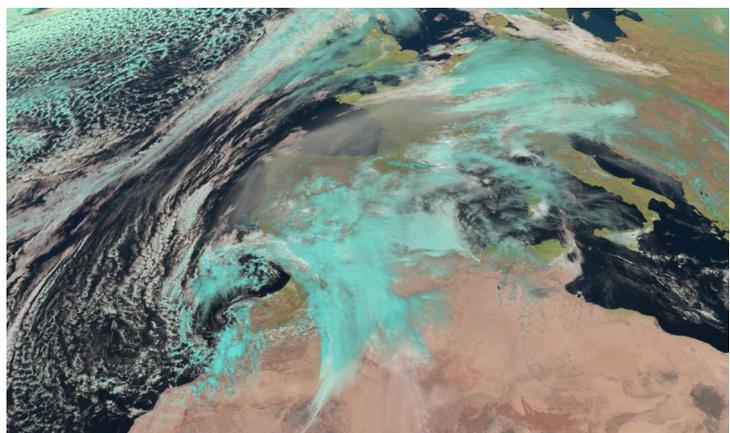
La mayoría de redes sociales y medios de comunicación difundieron multitud de fotografías (Figura 7) sobre la invasión de polvo que empezó a cubrir los cielos de nuestro país desde la tarde del día 14 hasta gran parte del día 16. La intrusión entró en la Península por su extremo suroriental (provincias de Alicante, Murcia, Almería y Granada), como así lo atestiguan muchas de las imágenes de satélite.



Figura 7. Imágenes de la calima sobre la ciudad de Alicante (izquierda) donde se aprecia la diferencia de tonalidad del cielo del día 14, respecto a la del día 13 (Fuente: tuit del Laboratorio de Climatología (Univ. Alicante). A la derecha tonalidad anaranjada del cielo observada en la tarde del día 14 en la ciudad costera de Águilas (Murcia) (cortesía: David P.C.).

En la Figura 8 se puede observar una imagen RGB natural del satélite Meteosat del día 15, en la que se aprecia de forma clara el polvo en suspensión cubriendo el norte de España, Portugal y parte de Francia. En el resto de la Península la nubosidad presente impedía la visión de la nube de polvo que afectaba a también a toda la zona sur, centro y mitad este.

Figura 8. Imagen RGB natural del satélite Meteosat del día 15 de marzo de 2022. Se puede apreciar la nube de tonalidad marrón clara sobre el cuadrante noroccidental de España, cubriendo también parte de Portugal y Francia. En tonalidades azules aparece la nubosidad sobre el centro, este y sur peninsular. Por debajo de esta nubosidad se extendía también la nube de polvo sahariana.



3.2. Observación cuantitativa

3.2.1. Espesor óptico de aerosoles

Las intrusiones de polvo se pueden medir con teledetección mediante sensores ubicados en los satélites meteorológicos u otros disponibles en tierra como son los equipos Cimel, de los que AEMET dispone de una red de medición gestionada por el Servicio de Redes Especiales y de Vigilancia Atmosférica, la cuál forma parte de otra red de observación internacional denominada AERONET (Aerosol Robotic Network). Estos instrumentos miden aerosoles en la dirección en la que se encuentra el sol requiriendo condiciones de cielo despejado para su medida, por ello, muchos de estos instrumentos ubicados en la zona centro, sur y este de nuestro país, no registraron muestra alguna durante estos días al encontrarse el cielo cubierto por nubes (Figura 8). No obstante, el equipo ubicado en A Coruña si llevó a cabo medidas. Una de las medidas del Cimel es el Espesor Óptico de Aerosoles (AOD, en sus siglas en inglés) que consiste en una medida de aerosoles distribuidos dentro de una columna de aire desde el sensor hasta el techo de la atmósfera (Fernández y otros, 2019). Los datos de AOD observados para diferentes longitudes de onda se presentan en la Figura 9. Como puede verse los valores máximos fueron algo superiores a 3 (AOD es una magnitud adimensional). Teniendo en cuenta que un valor superior a 1 indica condiciones de gran carga de aerosoles, el valor observado informa de una concentración extremadamente alta

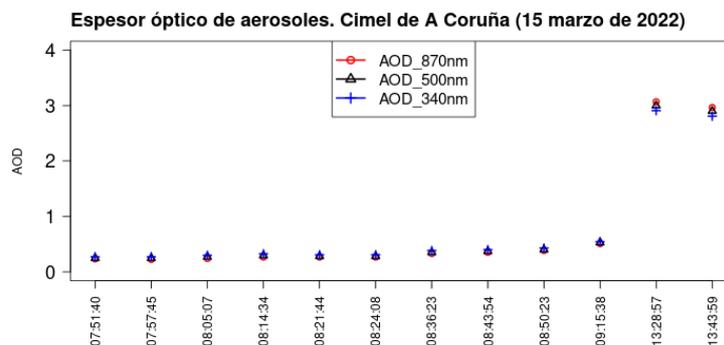
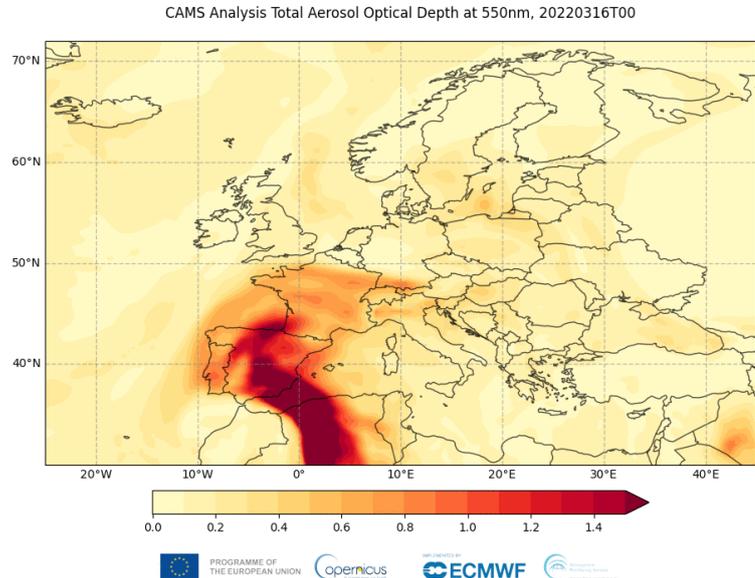


Figura 9. Medidas del espesor óptico de aerosoles (AOD) en diferentes intervalos horarios y para diferentes longitudes de onda tomadas por el Cimel de A Coruña. Instrumento mantenido por el Servicio de Redes Especiales y Vigilancia Atmosférica de AEMET. (Fuente de datos: Aeronet)

Un ejemplo más del elevado AOD se muestra en la Figura 10. Sobre ella puede verse el análisis de las 00 UTC del día 16 del modelo C-IFS del servicio CAMS del programa europeo Copernicus. Sobre la imagen se aprecia la gran extensión, así como la importante carga de aerosoles que evidencian los altos valores de AOD para la longitud de onda de 550 nm.

Figura 10. Análisis de AOD de 550 nm del modelo C-IFS a las 00 UTC del día 16 de marzo de 2022.



3.2.2 Material particulado PM10

Los aerosoles sólidos en suspensión en la atmósfera cuyo tamaño medio de diámetro no supera las 10 micras recibe el nombre de material particulado 10 (PM10). El polvo de origen sahariano está fuertemente relacionado con este componente por lo que la medida de PM10 se usa también como indicador de la carga del polvo en estos eventos de intrusión (Querol y otros, 2019). La Figura 11 muestra las concentraciones medidas por tres estaciones de medición de la contaminación de fondo de AEMET y pertenecientes a la red EMEP-VAG.CAMP. En la figura se representan las concentraciones horarias entre los días 14 y 17 de marzo, observándose valores máximos durante los días 15 y 16. En dos de las estaciones llegaron a registrarse valores extremos de $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valores extraordinariamente elevados. Hay que tener en cuenta que valores medios diarios superiores a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ suponen un riesgo importante para la salud, siendo estos valores máximos más de un orden de magnitud superiores a este umbral.

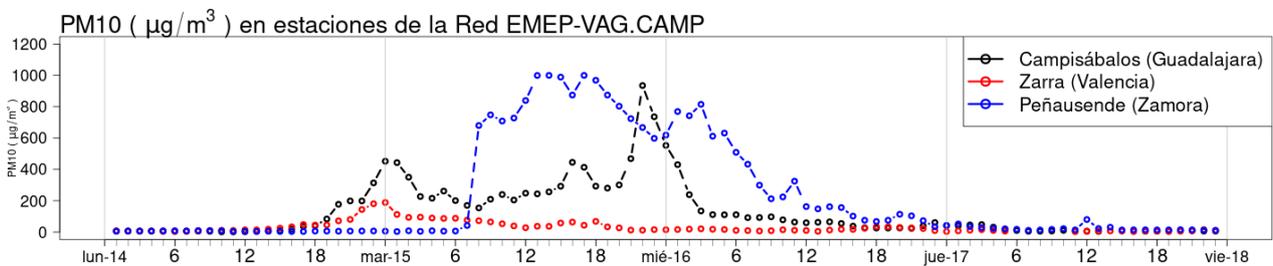
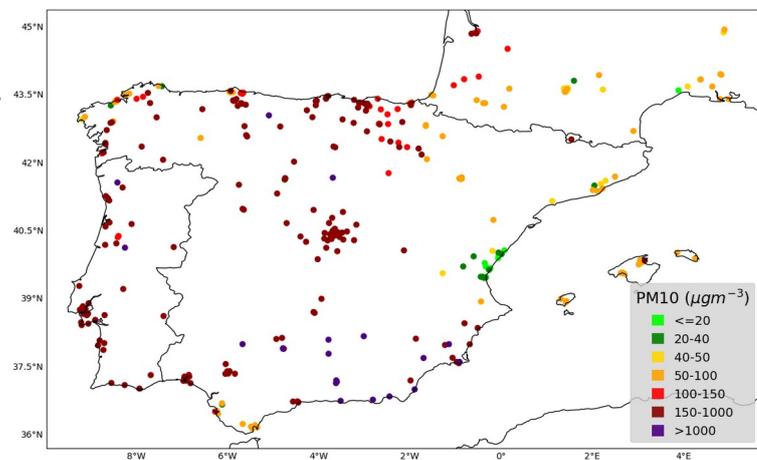


Figura 11. Concentraciones horarias de PM10 observadas en 3 estaciones de la Red EMEP- VAG.CAMP entre los días 14 y 18 de marzo de 2022.

Destaca la estación ubicada en la provincia de Zamora con los valores más altos, a diferencia de la localizada en la provincia de Valencia donde la carga de polvo fue muy inferior. Es importante destacar aquí que los equipos de medición saturaron en el valor de $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$, evidenciándose el hecho de que éstos no están preparados para medir una carga tan extrema de aerosoles. Otro ejemplo más de concentraciones máximas de PM10 medidas por las distintas redes de observación gestionadas por las diferentes comunidades autónomas podemos verlo sobre la Figura 12. En este mapa se observa como la mitad sur, sureste, centro y norte de la Península fueron las zonas más afectadas por la intrusión, mientras que el cuadrante nororiental quedo al margen de estas elevadas concentraciones.

Figura 12. Concentraciones máximas de PM10 observadas entre los días 14 y 17 de marzo por las estaciones de las distintas redes de medición de las comunidades autónomas. Imagen proporcionada por el WMO Barcelona Dust Regional Center.



4. Caracter extraordinario de la situación

Un modo de analizar el carácter extraordinario de las concentraciones observadas es comparándolas con lo observado en otros episodios de intrusión. Así, en Querol y otros, (2019) se presenta un estudio en el que se hace un análisis de las intrusiones observadas en nuestro país entre los años 2001 y 2016. Una de las conclusiones de este trabajo es el de las concentraciones máximas de PM10 observadas durante los episodios identificados durante los 17 años de estudio (Figura 13). En estos años las concentraciones máximas observadas fueron de orden de $320 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en puntos del sur y este peninsular.

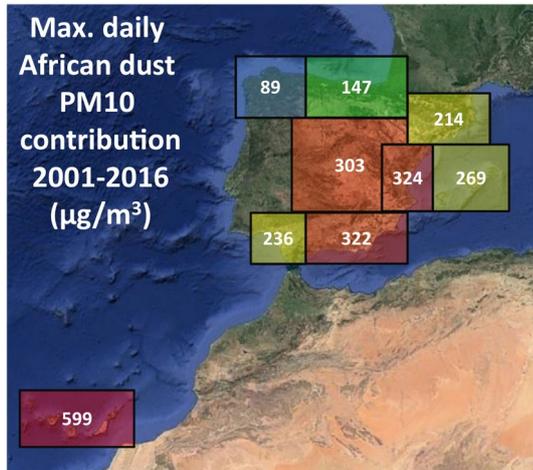


Figura 13. Concentraciones máximas de PM10 observadas durante los episodios de intrusión ocurridos en el período 2001-2016 (Querol y otros 2019).

Por otro lado, entre el 20 y el 23 de febrero de 2017 se produjo otro episodio de intrusión en la Península provocado por una situación meteorológica muy similar a la descrita en el apartado segundo de este informe. Este episodio fue analizado por Fernández y otros, (2017) a través de las medidas de la red Aeronet. En este caso el valor máximo observado de AOD fue de 2.5.

Desde el 2017 y hasta la fecha actual no hay estudios de referencia sobre más intrusiones de polvo en la Península, aunque si hay uno en el que se analiza el episodio sucedido en febrero de 2020, aunque en este caso la intrusión se produjo sobre Canarias (Cuevas y otros, 2021), territorio donde es más frecuente la ocurrencia de eventos de mayor intensidad (Querol y otros, 2019). De todos modos, si comparamos los datos de PM10 observados durante el episodio canario y el que nos ocupa en este informe, observamos concentraciones del mismo orden de magnitud.

Tal y como se deduce de las medidas de las estaciones de fondo (Figura 11) y de la red de estaciones de las distintas comunidades autónomas (Figura 12), los valores observados de PM10 durante la intrusión que tuvo lugar entre los días 14 y 16 de marzo de 2022 fueron muy superiores a los observados en el período 2001-2016, así como al observado en 2017. **En conclusión**, puede afirmarse que **la intensidad de este episodio tuvo un carácter extraordinario**, al menos no observado en el siglo actual sobre el territorio peninsular español.

Bibliografía

- . Cuevas, E., Milford, C., Barreto, A., Bustos, J. J., García, R. D., Marrero, C. L., ... & del Campo-Hernández, R. (2021). Desert Dust Outbreak in the Canary Islands (February 2020): Assessment and Impacts. *World Meteorological Organization*, 259.
- . Díaz, J., Linares, C., Carmona, R., Russo, A., Ortiz, C., Salvador, P., & Trigo, R. M. (2017). Saharan dust intrusions in Spain: health impacts and associated synoptic conditions. *Environmental research*, 156, 455-467.
- . Michaelides, S., Karacostas, T., Sánchez, J. L., Retalis, A., Pytharoulis, I., Homar, V., ... & Nisantzi, A. (2018). Reviews and perspectives of high impact atmospheric processes in the Mediterranean. *Atmospheric Research*, 208, 4-44.
- . Querol, X., Perez, N., Reche, C., Ealo, M., Ripoll, A., Tur, J., ... & Alastuey, A. (2019). African dust and air quality over Spain: Is it only dust that matters?. *Science of the total environment*, 686, 737-752.
- . Russo, A., Sousa, P. M., Durao, R. M., Ramos, A. M., Salvador, P., Linares, C., ... & Trigo, R. M. (2020). Saharan dust intrusions in the Iberian Peninsula: Predominant synoptic conditions. *Science of the Total Environment*, 717, 137041.
- . Salvador, P., Alonso-Pérez, S., Pey, J., Artúñano, B., De Bustos, J. J., Alastuey, A., & Querol, X. (2014). African dust outbreaks over the western Mediterranean Basin: 11-year characterization of atmospheric circulation patterns and dust source areas. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14(13), 6759-6775.
- . Suárez Molina, D., Marrero, C., Cuevas, E., Werner, E., Prats, N. & Basart, S. (2021). Caracterización de las intrusiones de polvo en Canarias. Nota Técnica 35. AEMET (http://www.aemet.es/documentos/es/conocermas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/publicaciones/NT_35_Intrusiones_polvo_Canarias/NT_35_Intrusiones_polvo_Canarias.pdf).