

# Predicción de polvo mineral atmosférico

<https://doi.org/10.31978/639-19-010-0.377>

Ernest Werner<sup>1</sup> ([ewernerh@aemet.es](mailto:ewernerh@aemet.es))

Enric Terradellas<sup>1</sup> ([eterradellasj@aemet.es](mailto:eterradellasj@aemet.es))

Sara Basart<sup>2</sup> ([sara.basart@bsc.es](mailto:sara.basart@bsc.es))

Gerardo García-Castrillo<sup>1</sup> ([ggarciacastrillor@aemet.es](mailto:ggarciacastrillor@aemet.es))

<sup>1</sup>AEMET / Delegación Territorial en Cataluña

<sup>2</sup>Barcelona Supercomputing Center – Centro Nacional de Supercomputación / Departamento de Ciencias de la Tierra

## RESUMEN

En el hemisferio norte, el polvo mineral es la principal fuente de partículas en suspensión en la atmósfera. Presenta importantes interacciones con el tiempo y el clima, puesto que interviene en el balance radiativo, la microfísica de nubes y la química atmosférica. A pesar de las dificultades que aún presentan tanto la predicción como la observación de los eventos de polvo, la mejora progresiva de los modelos, así como la intercomparación y verificación de estos modelos, ha permitido abordar la creación de un sistema de predicción por conjuntos y la generación de productos probabilísticos. En esta comunicación se presentan estos productos probabilísticos y multimodelo desarrollados dentro del marco del Sistema de Evaluación y Avisos de Tormentas de Polvo y Arena (SDS-WAS: [sds-was.aemet.es](https://sds-was.aemet.es)).

**PALABRAS CLAVE:** polvo mineral; modelos de predicción de polvo; predicción por conjuntos; SDS-WAS.

## 1. INTRODUCCIÓN

La concentración de polvo mineral atmosférico sufre rápidas variaciones espaciotemporales, por lo que surge la necesidad de introducirla como variable de pronóstico en los modelos numéricos climáticos y de predicción meteorológica.

Una imagen que muestra el alcance de la afectación a escala global del polvo atmosférico sería la generada por el modelo GEOS-5 (*Goddard Earth Observing System Model*, versión 5) desarrollado por la NASA y que integra modelos de circulación oceánica y atmosférica, modelos climáticos y de química de la atmósfera combinados con la asimilación de datos de satélite y sensores *in situ* (fig. 1).

En la figura 1 se aprecia cómo el polvo mineral atmosférico afecta no solo a las regiones desérticas sino también a gran parte del hemisferio norte, cruzando incluso el océano Atlántico y llegando al continente americano (KOREN *et al.*, 2006).

Remarcar también que el polvo mineral atmosférico tiene importantes impactos en la calidad del aire y la salud, en diversos ecosistemas y en sectores socioeconómicos como agricultura, aviación y energía solar, por lo que su predicción adquiere importancia por sí misma.

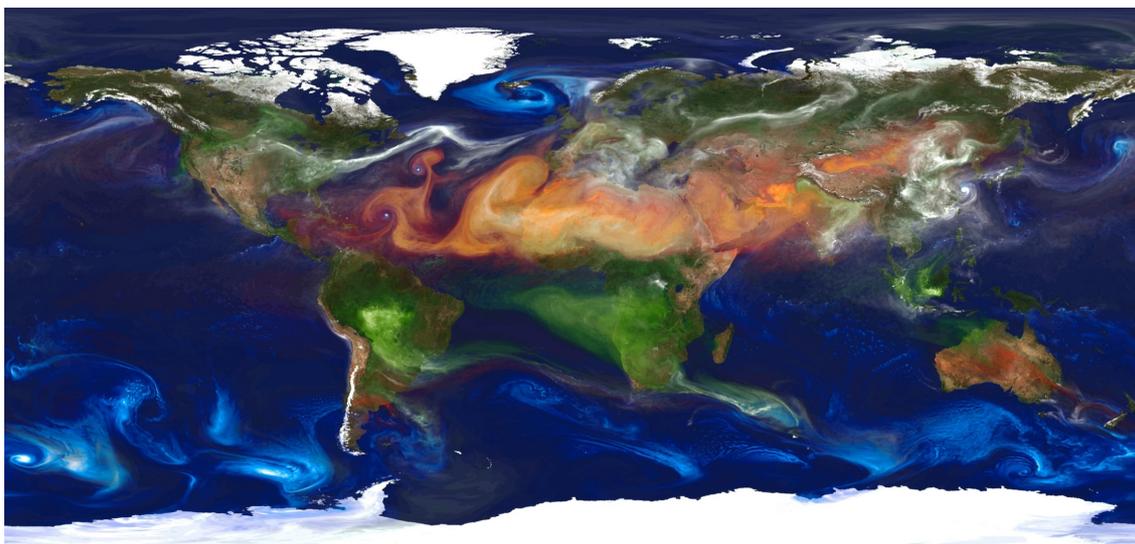


Figura 1. Representación de los aerosoles por el modelo GEOS-5. En color naranja se representa el polvo mineral, en azul la sal marina, en blanco la contaminación por sulfatos y en verde las partículas procedentes de la quema de biomasa.

## 2. SDS-WAS NAMEE REGIONAL CENTER EN BARCELONA

Debido a la importancia de los impactos del polvo mineral atmosférico, la OMM (Organización Meteorológica Mundial) decidió iniciar el proyecto SDS-WAS (*Sand and Dust Storm Warning Assessment and Advisory System*) con el objetivo de profundizar en la observación y la predicción de los eventos de polvo, en la difusión de conocimiento y en la coordinación de los recursos de las diferentes instituciones y agencias meteorológicas. Para ello se crearon tres centros regionales SDS-WAS: los dos primeros en Pekín, para Asia y el Pacífico, y en Barcelona, para el Norte de África, Oriente Medio y Europa (NAMEE), ambos en 2010, y finalmente un centro panamericano en Barbados, en 2016.

El Centro Regional SDS-WAS NAMEE, situado en Barcelona, está gestionado conjuntamente por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y por el Barcelona Supercomputing Center — Centro Nacional de Supercomputación (BSC-CNS).

En 2014, debido a la demanda de muchos servicios meteorológicos nacionales y gracias al éxito del proyecto SDS-WAS a nivel internacional, la OMM decidió crear, dentro del marco del SDS-WAS NAMEE, el Barcelona Dust Forecast Center. La actividad principal de este centro es la de generar y distribuir predicciones operativas diarias para el Norte de África, Oriente Medio y Europa. Estas predicciones se realizan con el modelo operativo NMMB/BSC-Dust cuyo módulo de polvo ha sido desarrollado en el BSC-CNS (PÉREZ *et al.*, 2011). Los productos operativos que se generan son: el espesor óptico, la concentración de polvo en superficie, la extinción en superficie, la carga total de polvo, y las deposiciones húmeda y seca. Todos ellos con una resolución de  $(0,1^\circ \times 0,1^\circ)$  y se pueden consultar en la página web del Barcelona Dust Forecast Center: [dust.aemet.es](http://dust.aemet.es).

## 3. MODELOS DE PREDICCIÓN DE POLVO: RETOS Y DIFICULTADES

La predicción de la concentración de polvo atmosférico presenta un gran número de retos y dificultades. En el centro del problema subyace la gran diversidad de escalas involucradas, lo que conduce a la necesidad de simulaciones sobre dominios muy amplios con resoluciones muy finas. Los modelos tienen un buen comportamiento cuando se trata de representar fenómenos meteorológicos de gran escala como sistemas frontales o

vientos sinópticos (alisios, harmattan, ...) pero a medida que nos vamos a fenómenos de mesogamma y microescala, como los *haboobs* (tormentas de arena producidas por sistemas mesoescales) o remolinos de polvo (*dust devils*), los modelos presentan muchos problemas para representarlos correctamente. Es importante mencionar que los *haboobs* son una importante fuente de emisión de polvo y se estima que hasta un tercio del polvo total emitido en el Sahel occidental de mayo a octubre es debido a este fenómeno mesoescalar (PANTILLON *et al.*, 2016).

Bajando aún más de escala, las parametrizaciones de la emisión de polvo intentan resolver procesos complejos como son el paso de flujo horizontal de viento a flujo vertical utilizando ecuaciones matemáticas donde se refleja que la emisión de polvo es proporcional a la tercera potencia de la velocidad del viento. Esta dependencia implica que se requieren predicciones muy precisas de esta variable (MARTICORENA y BERGAMETTI, 1995).

Uno de los problemas a los que nos enfrentamos es la escasa información temporal y espacial del estado del suelo, lo que complica aún más la predicción. Por ejemplo, una superficie puede ser fuente de emisión de polvo durante la estación seca pero no durante la húmeda cuando puede estar cubierta de agua o haber desarrollado vegetación que impida la emisión. Otro ejemplo sería la desecación de un lago que expone el lecho lacustre sedimentario convirtiéndolo en una fuente importante de polvo, como en el caso del lago Chad y la depresión del Bodélé (DRAKE y BRISTOW, 2006).

Otro punto a destacar sería el conocimiento incompleto de los procesos que sufre el polvo al interactuar con otros aerosoles o gotas de lluvia y su papel como núcleo de condensación.

Finalmente, otro problema importante sería la escasez de observaciones adecuadas para la asimilación de datos necesarias en la inicialización de los modelos de predicción y para la verificación de predicciones.

#### 4. INTERCOMPARACIÓN DE MODELOS. PRODUCTOS PROBABILÍSTICOS

Durante los últimos años se ha ido incrementando rápidamente la calidad y el número de modelos de predicción de polvo mineral atmosférico en todo el mundo. El intercambio de predicciones entre los diferentes servicios meteorológicos es la base para la construcción del *ensemble* del SDS-WAS. En la actualidad, se reciben salidas numéricas de Espesor Óptico y de Concentración de Polvo en Superficie de 12 modelos (tabla 1) que permiten generar productos multimodelo y probabilísticos como los que se mostrarán a continuación.

Modelo	Institución	Dominio
BSC-DREAM8b	Barcelona Supercomputing Center	Regional
CAMS	European Center for Medium-range Weather Forecast	Global
DREMA8-NMME-MACC	Republic Hydrometeorological Service of Serbia	Regional
NMMB/BSC-Dust	Barcelona Supercomputing Center	Regional
Met UM	UK Met Office	Global
GEOS-5	US National Aeronautics and space Administration	Global
NGAC	US National Centers for Environmental Prediction	Global
WMA RegCM4	Egyptian Meteorological Authority	Regional
DREAMABOL	Italian National Research Council	Regional
WRF-Chem	National Observatory of Athens	Regional
SILAM	Finnish Meteorological Institute	Regional
LOTOS-EUROS	Netherlands Organisation for Applied scientific Research	Regional

Tabla 1. Modelos que forman el sistema de predicción por conjuntos del SDS-WAS.

### 4.1. Intercomparación de modelos

Las salidas numéricas recibidas se interpolan bilinealmente a la misma resolución ( $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ ) y se muestran conjuntamente con la misma paleta de colores y para el mismo dominio (coordenadas  $25^\circ\text{W}$  a  $60^\circ\text{E}$  de latitud y  $0^\circ$  a  $65^\circ\text{N}$  de longitud). De esta forma se hace posible la comparación de las diferentes evoluciones de la situación proporcionadas por los modelos.

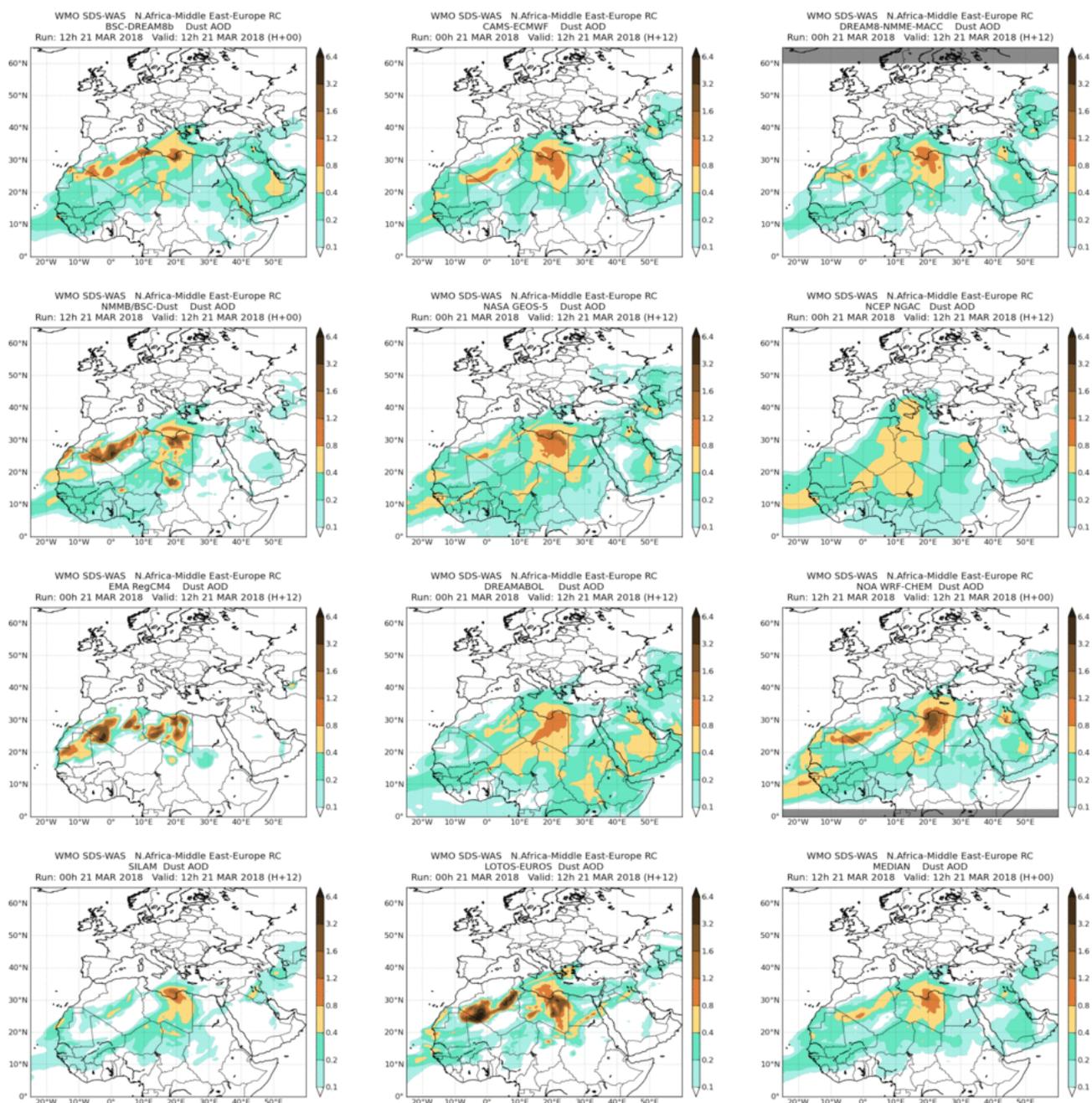


Figura 2. Intercomparación de los modelos.

Se calculan también la media y la mediana como medidas centrales de la distribución de probabilidades y la desviación estándar y el rango como medidas de la dispersión del sistema multimodelo. Se ha de remarcar que la mediana es el estadístico que verifica mejor en la mayor parte de regiones y periodos temporales y se utiliza para la generación de productos de predicción.

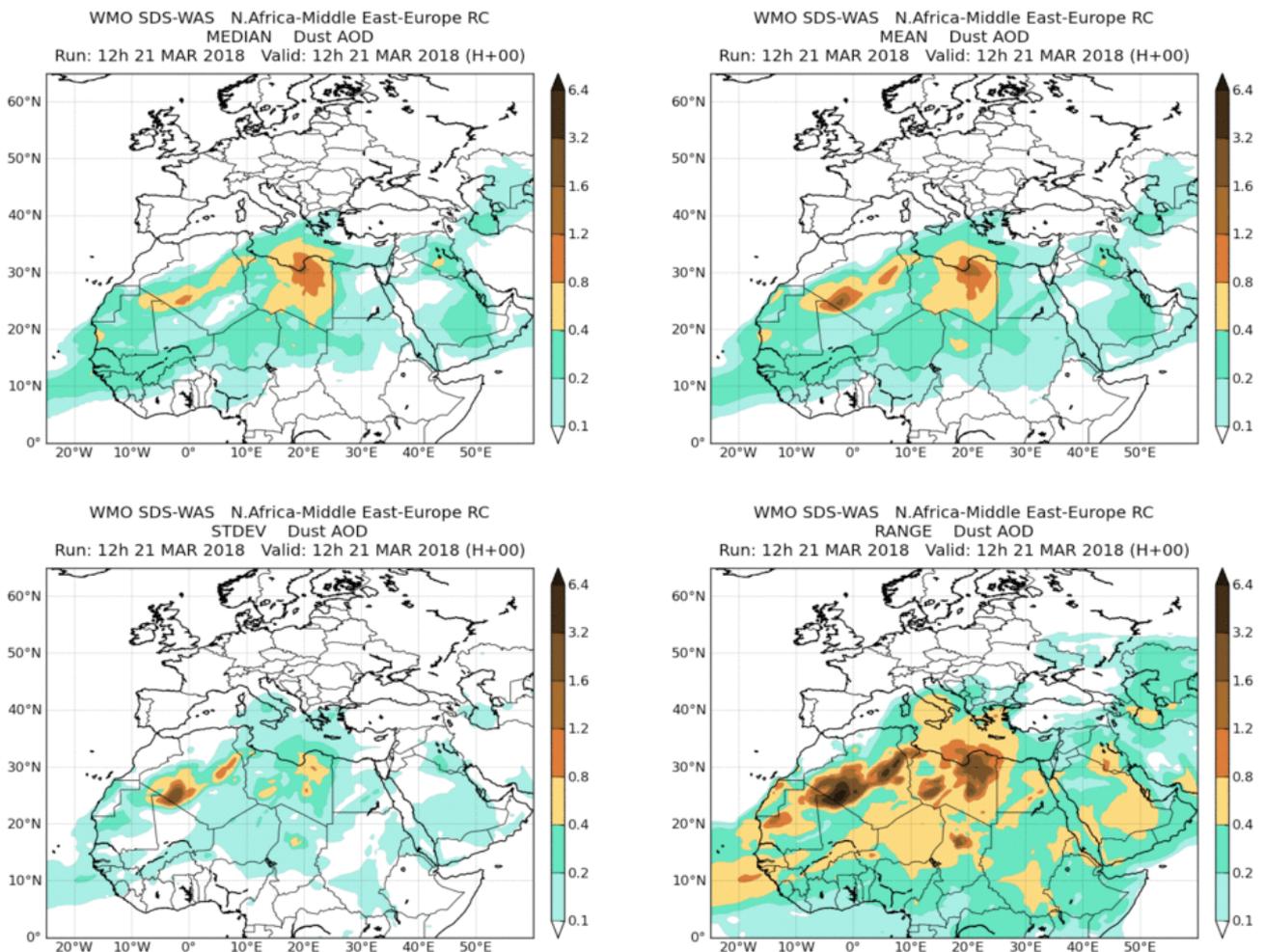


Figura 3. Mediana, media, desviación estándar y rango del sistema multimodelo.

#### 4.2. Sistema de alerta temprana (EWS)

Los sistemas de alerta temprana (EWS, *Early Warning System*) son una herramienta eficaz para la previsión de fenómenos meteorológicos extremos y son capaces de evitar daños materiales y económicos y la pérdida de numerosas vidas. Hasta la fecha prácticamente no existían EWS para la prevención de eventos de polvo, a pesar del avance en los modelos de predicción y en la monitorización de estos fenómenos.

El diseño y la implementación de un EWS para Burkina Faso (TERRADELLAS *et al.*, 2018) tienen como objetivo ayudar a la gestión de los recursos disponibles del país para paliar los efectos de estos eventos extremos de polvo.

Burkina Faso es un país interior situado en la zona de transición entre el desierto del Sahara y la zona húmeda ecuatorial africana. Durante la estación seca se ve afectado por el *harmattan*, un viento seco y cálido cargado de polvo. Estos episodios de polvo se relacionan con brotes de meningitis bacteriana y tienen un claro patrón estacional.

Este EWS está basado en el sistema multimodelo del SDS-WAS Regional Center NAMEE de Barcelona y proporciona dos mapas de predicción para los días D+1 y D+2 con niveles de aviso para las trece regiones del país, mostrando una información clara y concisa del nivel de concentración de polvo en superficie.

Se ha definido un código de cuatro colores para los distintos niveles de alerta: verde, amarillo, naranja y rojo. Para definir los valores umbrales para cada provincia de Burkina Faso se ha calculado la serie diaria entre

2013 y 2017 de concentración de polvo máxima en superficie. La serie se ha basado en la mediana de los modelos para cada punto de *grid*. Cuando en algún punto de *grid* dentro de una provincia la mediana excede el percentil 80 de la serie diaria, el color de la provincia pasa de verde a amarillo, si excede el percentil 90 a naranja y si excede el 97,5 a rojo (figura 4). Este EWS está operativo desde noviembre de 2018 y se puede consultar en la página web del SDS-WAS NAMEE Regional Center: [sds-was.aemet.es](https://sds-was.aemet.es).

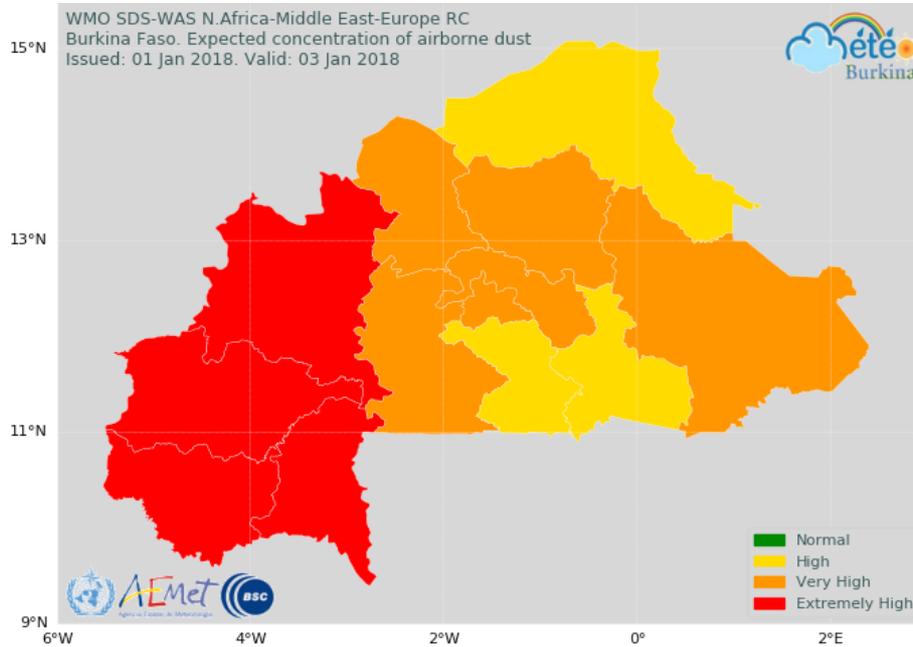


Figura 4. Mapa de niveles de aviso de concentración de polvo para Burkina Faso.

### 4.3. EPSgramas y mapas de probabilidad

El número de modelos que se reciben permite la confección de productos probabilísticos como por ejemplo los EPSgramas para una localidad determinada o los mapas de probabilidad de superar un determinado umbral de AOD (espesor óptico, *Aerosol Optical Depth*) o de concentración de polvo en superficie.

Estos productos aún no están disponibles, pero consideramos que pueden ser una herramienta muy interesante para los usuarios, por la facilidad de interpretación y la información probabilística que ofrecen.

Un ejemplo de estos productos serían estos EPSgramas para el aeropuerto de Kuwait. En las figuras 5 y 6 se muestran los EPSgramas generados con un *ensemble* de 10 miembros y muestran la evolución temporal de las variables para todo el periodo de predicción y para dicho aeropuerto. El alcance de la predicción real sería de 48 horas con un paso de tiempo de tres horas.

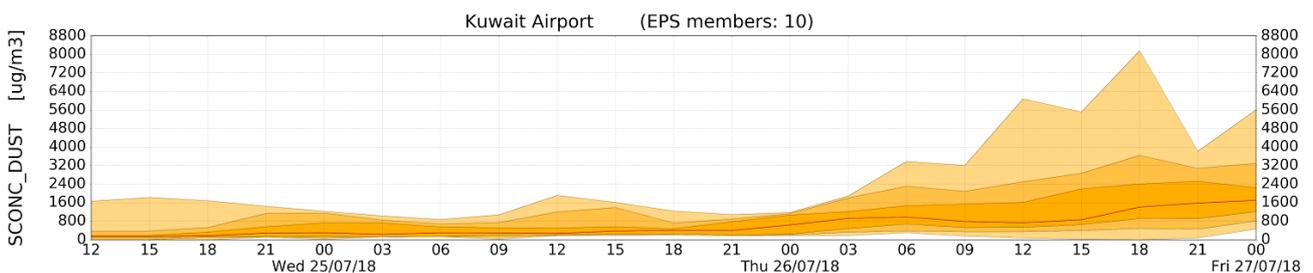


Figura 5. EPSgrama de concentración de polvo en superficie para el aeropuerto de Kuwait.

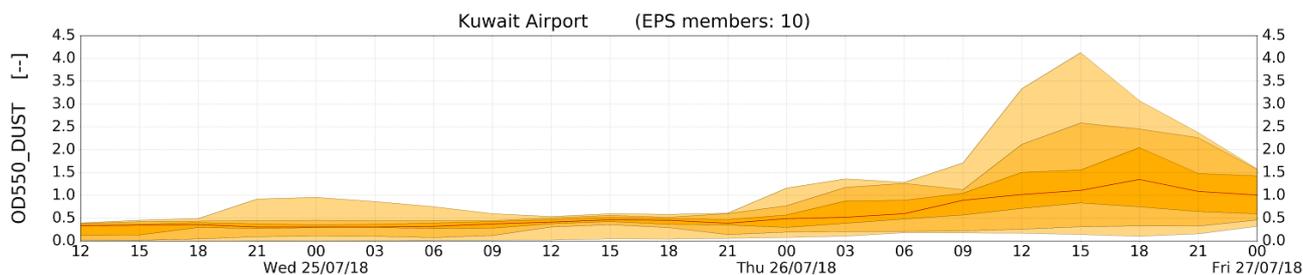


Figura 6. EPSgrama de espesor óptico AOD para el aeropuerto de Kuwait.

Actualmente se está trabajando en definir el conjunto de los modelos que formarán el *ensemble* del SDS-WAS verificando los modelos individualmente y tratando de definir subgrupos de modelos que sean más apropiados para predecir una zona o un determinado tipo de evento de polvo.

Otro ejemplo de producto probabilístico serían los mapas de probabilidad de superar un determinado valor umbral para espesor óptico y concentración de polvo en superficie. En este caso tenemos información de toda el área de predicción para un momento dado.

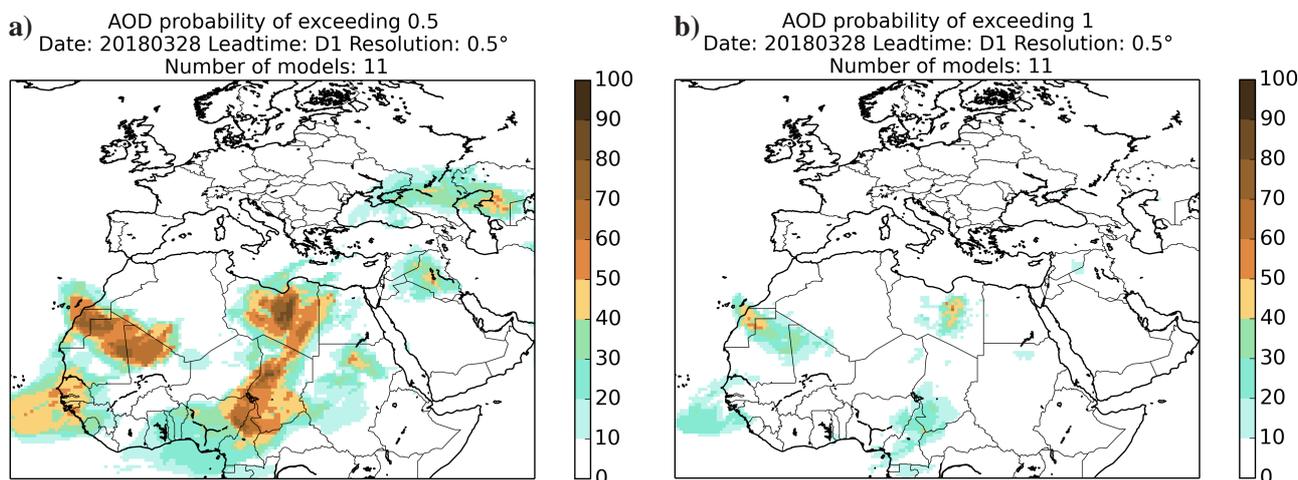


Figura 7. a) Probabilidad de superar el umbral 0,5 para el espesor óptico y b) probabilidad de superar el umbral 1 para el espesor óptico.

## 5. CONCLUSIONES

La complejidad en la predicción del polvo mineral atmosférico y la diversidad actual de modelos que intentan su predicción hace que una aproximación probabilística sea una manera óptima de abordar este problema. Nuestro objetivo inmediato es la construcción de un sistema de predicción por conjuntos fiable, su verificación y su posterior calibración utilizando técnicas de *Machine Learning* para generar todo tipo de productos probabilísticos para un amplio abanico de situaciones y eventos de polvo.

## REFERENCIAS

MARTICORENA, B. y BERGAMETTI, G., 1995. Modeling the atmospheric dust cycle: 1. Design of a soil-derived dust emission scheme. *Geophys. Res.*, 100, 16415-6430.

PÉREZ, C., HAUSTEIN, K., JANJIC, Z., JORBA, O., HUNEEUS, N., BALDASANO, J. M., BLACK, T., BASART, S., NICKOVIC, S., MILLER, R. L., PERLWITZ, J. P., SCHULZ, M. y THOMSON, M., 2011. Atmospheric dust modeling from meso to global scales with the online NMMB/BSC-Dust model—Part 1: Model description, annual simulations and evaluation. *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 13001-13027, doi: 10.5194/acp-11-13001-2011.

KOREN, I. *et al.*, 2006. The Bodélé depression: a single spot in the Sahara that provides most of the mineral dust to the Amazon forest. *Environ. Res. Lett.*, 1 014005.

PANTILLON, F., KNIPPERTZ, P., MARSHAM, J. H., PANITZ, H.-J. y BISCHOFF-GAUSS, I., 2016. Modeling haboob dust storms in large-scale weather and climate models. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121. doi: 10.1002/2015JD024349.

DRAKE, N. y BRISTOW, C., 2006. Shorelines in the Sahara: Geomorphological evidence for an enhanced monsoon from palaeolake Megachad. *Holocene*, 16. doi: 10.1191/0959683606hol981rr.

TERRADELLAS, E., WERNER, E., BASART, S. y BENINCASA, F., 2018. Warning Advisory System for Sand and Dust Storm in Burkina Faso, WMO SDS-WAS, Barcelona, 9 pp. SDS-WAS-2018-001.