

El polvo en suspensión en el aire: un peligro para la salud humana, el medio ambiente y la sociedad



Sydney Oats/Flickr

por Enric Terradellas¹, Slobodan Nickovic² y Xiao-Ye Zhang³

A lo largo de la última década, la comunidad científica se ha dado cuenta de los importantes impactos del polvo en suspensión en el aire sobre el clima, la salud humana, el medio ambiente y algunos sectores socioeconómicos. La OMM y sus Miembros, que en 2004 iniciaron la implantación de tareas de vigilancia, predicción y sistemas de alerta temprana para el polvo atmosférico, se encuentran a la vanguardia en la evaluación de estos impactos y en el desarrollo de productos en materia de asesoramiento sobre políticas de preparación, adaptación y mitigación.

Este artículo ofrecerá al lector, en primer lugar, una visión general del ciclo del polvo analizando su interacción con las condiciones meteorológicas, el sistema climático y los ecosistemas terrestres y marinos, antes de pasar a examinar sus impactos en la salud y en diversos sectores económicos. Más adelante se subrayará el papel de la red internacional coordinada por la OMM y su ambicioso plan para ofrecer productos orientados al desarrollo de políticas. El objetivo es aumentar la sensibilización en los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN) acerca del alcance de los impactos adversos del polvo en suspensión en el aire e informar al lector de los esfuerzos que lleva a cabo la OMM por comprenderlos mejor. El artículo destaca la iniciativa de la OMM de ofrecer servicios operativos que faciliten predicciones de polvo y sistemas de alerta temprana con el fin de animar a otras organizaciones interesadas en el tema a participar de manera activa en esta importante tarea.

El ciclo del polvo

Las tempestades de polvo representan peligros meteorológicos habituales en las regiones áridas y semiáridas,

y suelen deberse a tormentas, o fuertes gradientes de presión asociados a ciclones, que aumentan la velocidad del viento en un área extensa. Estos fuertes vientos levantan grandes cantidades de arena y polvo desde los suelos secos y desnudos, y las transportan por el aire hasta distancias de cientos o miles de kilómetros.

La gravedad mantiene el polvo adherido a la superficie terrestre. Cuanto más pesada es una partícula de polvo —debido al tamaño, a la densidad o a la presencia de agua en el suelo— más intensa es la fuerza gravitacional que la retiene. Una tempestad de polvo solo puede tener lugar cuando la fuerza del viento supera el valor umbral a partir del cual las partículas sueltas se elevan desde el suelo. La vegetación actúa de cubierta protegiendo la superficie terrestre de esta erosión del viento (eólica). Así pues, la sequía contribuye a la aparición de tempestades de polvo como también lo hacen las malas prácticas agrícolas y de pastoreo o la gestión inadecuada del agua, ya que exponen el polvo y la arena al viento.



Darcy Burbank

Tempestad de polvo en el aeropuerto de Abéché (Chad), el 23 de noviembre de 2007.

¹ Agencia Estatal de Meteorología de España, Barcelona (España), eterradellasj@aemet.es

² Servicio Hidrometeorológico de la República de Serbia, Belgrado (Serbia), nickovic@gmail.com

³ Academia China de Ciencias Meteorológicas, Pekín (China), xiaoye@cams.gov.cn

Alrededor del 40% de los aerosoles de la troposfera (la capa inferior de la atmósfera terrestre) son partículas de polvo procedentes de la erosión del viento. Las fuentes

principales de este polvo mineral se encuentran en las regiones áridas del norte de África, la península arábiga, Asia central y China. En comparación, Australia, América y el sur de África contribuyen de menor forma, aunque también importante. Las estimaciones mundiales de las emisiones de polvo, calculadas fundamentalmente a partir de modelos de simulación, varían entre una y tres gigatoneladas por año.



Penacho de polvo que sale de la península arábiga el 8 de marzo de 2015 a las 08.45 UTC, capturado por el espectrofotómetro MODIS a bordo del satélite Aqua de la NASA.

Una vez desprendidas de la superficie, las partículas de polvo alcanzan niveles más elevados de la troposfera por mezcla turbulenta y a causa de las corrientes convectivas ascendentes. Luego son transportadas por los vientos durante periodos de tiempo que dependen de su tamaño y de las condiciones meteorológicas. La gravedad sigue siendo la principal fuerza que empuja a las partículas de polvo hacia abajo de retorno a la superficie y, junto con la impactación y la difusión turbulenta, contribuye a lo que se denomina como deposición seca. Puesto que las partículas mayores sedimentan más rápidamente que las más pequeñas, hay una tendencia a una creciente presencia de tamaños de partícula menores durante el transporte. El polvo también se elimina de la atmósfera mediante la precipitación, es decir, la deposición húmeda. La vida media de las partículas de polvo en la atmósfera varía desde unas pocas horas para partículas con diámetro superior a 10 μm , hasta más de 10 días para las de diámetro inferior a 1 μm .

Interacción con el tiempo y el clima

Los aerosoles, y en particular el polvo mineral, influyen en las condiciones meteorológicas así como en el clima mundial y regional⁴. Las partículas de polvo, especialmente si están recubiertas de contaminación, actúan como núcleos de condensación para la formación de nubes calientes y como eficaces núcleos de hielo para la generación de nubes frías. La capacidad de las partículas de polvo para actuar de este modo depende de

su tamaño, de su forma y de su composición que, a su vez, están relacionadas con la naturaleza de los suelos originales, de las emisiones y de los procesos de transporte. La modificación de la composición microfísica de las nubes cambia su capacidad de absorber la radiación solar y esta circunstancia afecta indirectamente a la cantidad de energía que alcanza la superficie terrestre⁵. Las partículas de polvo también influyen en el crecimiento de las gotitas de nube y de los cristales de hielo viéndose afectadas, de esta manera, la cantidad y la localización de la precipitación.

El comportamiento del polvo que se encuentra en suspensión en el aire es similar al del efecto invernadero: el polvo absorbe y dispersa la radiación solar que penetra en la atmósfera terrestre, reduciendo la cantidad de aquella que alcanza la superficie, y absorbe la radiación de onda larga que rebota desde la superficie, reemitiéndola en todas las direcciones. De nuevo la capacidad de las partículas de polvo para absorber la radiación solar depende de su tamaño, de su forma y de su composición mineralógica y química. Para cuantificar este impacto se hace preciso, asimismo, conocer la distribución vertical de polvo en el aire (perfil vertical) y las características de la superficie subyacente.

Impactos sobre la salud humana

El polvo en suspensión en el aire supone un grave riesgo para la salud humana. El tamaño de las partículas de polvo constituye un factor determinante del posible peligro que conlleva para la salud humana. Las partículas de más de 10 μm no son respirables de modo que solamente pueden resultar nocivas para los órganos externos: sobre todo causan irritaciones en la piel y en los ojos, conjuntivitis y aumentan la propensión a infecciones oculares. Las partículas inhalables, es decir las menores de 10 μm , a menudo se quedan atrapadas en la nariz, en la boca y en las vías respiratorias superiores, asociándose así a desórdenes respiratorios tales como asma, traqueítis, neumonía, rinitis alérgica y silicosis. Sin embargo, las partículas más finas pueden penetrar en las vías respiratorias inferiores y acceder al flujo sanguíneo, donde pueden afectar a todos los órganos internos y ocasionar problemas cardiovasculares. En una evaluación global realizada en 2014 mediante un modelo se estimó que la exposición a las partículas de polvo ocasionó unas 400 000 muertes prematuras por enfermedades cardiopulmonares en la población de más de 30 años de edad⁶.

Algunas enfermedades infecciosas se transmiten por el polvo. La meningitis meningocócica es una infección bacteriana de la capa delgada de tejido que cubre el cerebro y la espina dorsal; da lugar a daños cerebrales y, si no se trata, ocasiona la muerte en el 50% de los

⁴ Nickovic y otros, 2004; Pérez y otros, 2006; Wang y otros, 2010.

⁵ Boucher y otros, 2013.

⁶ Giannadaki y otros, 2014.

casos⁷. Aunque se registran brotes por todo el mundo, la incidencia más alta se da en el llamado “cinturón de la meningitis”, una zona del África subsahariana que cuenta con una población estimada de 300 millones de habitantes. Estos brotes presentan un fuerte patrón estacional; numerosos estudios han puesto de relieve la existencia de una relación entre las condiciones medioambientales —por ejemplo humedad baja y presencia de polvo— con el momento y el lugar en que ocurren las infecciones⁸. Los científicos creen que la inhalación de partículas de polvo con tiempo seco y cálido daña las mucosas nasales y de la garganta favoreciendo las condiciones para desarrollar una infección bacteriana⁹. Además, los óxidos de hierro que se hallan incrustados en las partículas de polvo pueden aumentar el riesgo de infección¹⁰.

El polvo desempeña también un papel importante en la transmisión de la fiebre del valle —una enfermedad potencialmente mortal— en el suroeste de Estados Unidos de América y en el norte de México en la medida en que actúa como portador de las esporas del hongo *Coccidioides*.



Mapa del cinturón de la meningitis (en rojo) y regiones con alto riesgo de epidemia (marrón); todas las regiones son susceptibles de sufrir una menor incidencia de brotes y casos esporádicos (Fuente: Organización Mundial de la Salud).

Impactos en el medio ambiente y en la sociedad

Los depósitos de polvo en la superficie terrestre constituyen una fuente de micronutrientes para los ecosistemas continentales y marítimos. Se cree que el polvo sahariano fertiliza la selva amazónica y se sabe que el transporte de hierro y fósforo en polvo beneficia la producción de biomasa marina en las zonas del océano que tienen escasez de estos elementos¹¹. Sin embargo, el polvo conlleva muchos efectos negativos para la agricultura, entre los que se incluyen la disminución de las cosechas a causa del enterramiento de las plántulas, la pérdida

de los tejidos de las plantas, la reducción de la actividad fotosintética y el aumento de la erosión en el suelo.

El depósito de polvo presenta impactos indirectos, por ejemplo, cuando rellena los canales de riego, al acumularse en las rutas de transporte, y en la medida que afecta a la calidad del agua de ríos y arroyos. Las disminuciones de la visibilidad a causa del polvo atmosférico en suspensión también influyen en el transporte por tierra y aire. Unas pobres condiciones de visibilidad suponen un peligro durante las operaciones de aterrizaje y despegue de una aeronave hasta el punto de que puede desviarse el aterrizaje a otro aeródromo o demorarse el despegue. El polvo también puede dañar las superficies y los motores de los aviones.

El polvo influye en la producción de las plantas de energía solar, sobre todo en aquellas que dependen de la radiación solar directa. Los depósitos de polvo en los paneles solares representan un problema fundamental para los operadores de estas plantas. Mantener los colectores solares libres de polvo para evitar que las partículas bloqueen la radiación entrante requiere tiempo y esfuerzo.

La respuesta de la OMM

En 2004 la OMM puso en marcha su Proyecto sobre tormentas de arena y polvo y, en 2007, el Sistema de evaluación y asesoramiento para avisos de tormentas de polvo y arena¹² (SDS-WAS). El SDS-WAS refuerza la capacidad de los países para entregar con puntualidad a sus usuarios predicciones, observaciones, información y conocimiento de calidad sobre tempestades de polvo y arena a través de una asociación internacional de comunidades científicas y operativas. El Sistema funciona utilizando dos nodos regionales del SDS-WAS:

- Norte de África, Oriente Medio y Europa, coordinado por un Centro Regional en Barcelona (España), gestionado por un consorcio de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y el Centro Nacional de Supercomputación (BSC); y
- Asia, coordinado por un Centro Regional en Pekín (China), gestionado por la Administración Meteorológica de China (CMA).

Un tercer nodo regional, panamericano, recientemente creado en Estados Unidos de América, con un posible centro regional gestionado por el Instituto de Meteorología e Hidrología del Caribe (IMHC) en Barbados, centrará su atención en las implicaciones sobre la salud del polvo atmosférico. Y otro más entrará en funcionamiento en breve en Asia occidental en colaboración con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

⁷ www.who.int/mediacentre/factsheets/fs141/en/

⁸ Molesworth y otros, 2003.

⁹ Dukic y otros, 2012.

¹⁰ Thompson y otros, 2013.

¹¹ Bristow y otros, 2010.

¹² www.wmo.int/pages/prog/arep/wwrp/new/Sand_and_Dust_Storm.html

Centro Regional para el Norte de África, Oriente Medio y Europa

El objetivo principal del Centro Regional para el Norte de África, Oriente Medio y Europa es el de facilitar al usuario, en particular a los SMHN, el acceso a productos de observación y predicción así como a otras fuentes de información básica relacionada con el polvo atmosférico. Su portal web¹³ ofrece a los SMHN la información necesaria para emitir predicciones operativas y asesoramiento para avisos relacionados con el contenido de polvo en la atmósfera.

El Centro Regional para el Norte de África, Oriente Medio y Europa ha puesto en marcha recientemente una iniciativa conjunta de visualización y evaluación basada en el intercambio de productos experimentales de modelos de predicción entre los socios. El área de referencia para la iniciativa abarca las principales fuentes de polvo del Norte de África y Oriente Medio así como las rutas de transporte y las zonas de deposición más importantes desde el ecuador hasta la península escandinava. La iniciativa considera predicciones de hasta 72 horas vista con una frecuencia de tres horas. Los nueve modelos citados en la tabla adjunta ofrecen todos los días salidas numéricas para la iniciativa. Diariamente se representan los niveles de concentración de polvo previstos en superficie y los valores del espesor óptico del polvo a 550 nm (DOD550) para cada modelo, uno junto a otro, utilizando una paleta de colores común. El producto constituye una potente herramienta para emitir predicciones a corto plazo y avisos de alerta temprana.

Modelos que contribuyen a la iniciativa conjunta de visualización y evaluación de modelos del SDS-WAS para el Norte de África, Oriente Medio y Europa

Modelo	Institución	Dominio
BSC-DREAM8b	Centro Nacional de Supercomputación de Barcelona (España)	Regional
MACC	Centro europeo de predicción meteorológica a medio plazo (Reino Unido)	Global
DREAM-NMME-MACC	Centro virtual del cambio climático en el sureste de Europa (Serbia)	Regional
NMMB/BSC-Dust	Centro Nacional de Supercomputación de Barcelona (España)	Regional
MetUM	Met Office (Reino Unido)	Global
GEOS-5	Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (Estados Unidos)	Global
NGAC	Centros Nacionales de Predicción del Medio Ambiente (Estados Unidos)	Global
RegCM4-EMA	Autoridad Meteorológica de Egipto	Regional
DREAMABOL	Consejo Nacional de Investigación (Italia)	Regional

¹³ <http://sds-was.aemet.es>

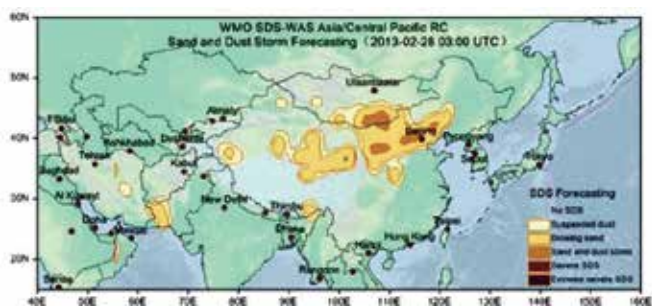
El Centro Regional para el Norte de África, Oriente Medio y Europa produce diariamente productos multimodelo de predicción por conjuntos: media y mediana dirigidas a mejorar el grado de acierto en la predicción basada en el uso de un solo modelo, y gráficos que muestran la dispersión entre las salidas de los modelos en determinados instantes del futuro (desviación típica e intervalo de variación). La confianza en la predicción es mayor si la dispersión del conjunto es pequeña y los productos de salida de los modelos guardan coherencia.

El Centro Regional para el Norte de África, Oriente Medio y Europa realiza comparaciones de los modelos y de la mediana multimodelo con los datos de observación para evaluar si consiguen simular de modo satisfactorio los parámetros relacionados con el polvo. Con este fin se recuperan las observaciones fotométricas solares de 40 estaciones de la red AERONET situadas en emplazamientos propensos al polvo y se representan gráficamente junto con las predicciones para los mismos intervalos de tiempo y lugares. Además de los gráficos mensuales, el sistema de evaluación calcula resultados mensuales, estacionales y anuales. También se ha desarrollado un producto de evaluación basado en los datos de espesor óptico de los aerosoles obtenidos a partir del espectrofotómetro MODIS que viaja a bordo de los satélites geosíncronos de la NASA Terra y Aqua.

Centro Regional para Asia y el Pacífico Central

El Centro Regional para Asia y el Pacífico Central (Centro Regional asiático) presta apoyo a una red mundial de socios de las comunidades científica y operativa del SDS-WAS entre los que se incluyen los SMHN de China, Japón, Kazajistán, Mongolia y República de Corea. De forma rutinaria ejecuta un modelo global y dos regionales para ofrecer la predicción de polvo; el sistema de predicción CUACE/Dust lleva en funcionamiento desde 2007. Los resultados de los diferentes sistemas nacionales de predicción —que en la actualidad son los de China, República de Corea y Japón— se comparten en un portal web¹⁴ mantenido por el Centro Regional asiático. En este Centro Regional también se ha establecido hace poco un protocolo para intercambiar en tiempo casi real las predicciones numéricas diarias con vistas a llevar a cabo una visualización y evaluación conjuntas. El área de referencia abarca las principales fuentes de polvo de Asia central y oriental así como las rutas de transporte y las zonas de deposición hasta el Pacífico central. Al igual que ocurría en el Centro Regional para el Norte de África, Oriente Medio y Europa, la iniciativa considera predicciones de la concentración en superficie y del espesor óptico del polvo de hasta 72 horas vista con una frecuencia de tres horas.

¹⁴ <http://eng.weather.gov.cn/dust/>



Predicción de tormentas de polvo para el 28 de febrero de 2013 a las 03.00 UTC emitida por el Centro Regional asiático del SDS-WAS de la OMM.

Modelos que contribuyen a la iniciativa conjunta de visualización y evaluación de modelos del SDS-WAS para Asia

Modelo	Institución	Dominio
CUACE/Dust	Administración Meteorológica de China	Regional
MASINGAR	Servicio Meteorológico de Japón	Global
ADAMI	Administración Meteorológica de Corea	Regional

El Centro Regional asiático ha desarrollado asimismo un sistema de clasificación de amenazas con el fin de facilitar el avance de las técnicas de predicción y para mejorar la exactitud de los pronósticos¹⁵.

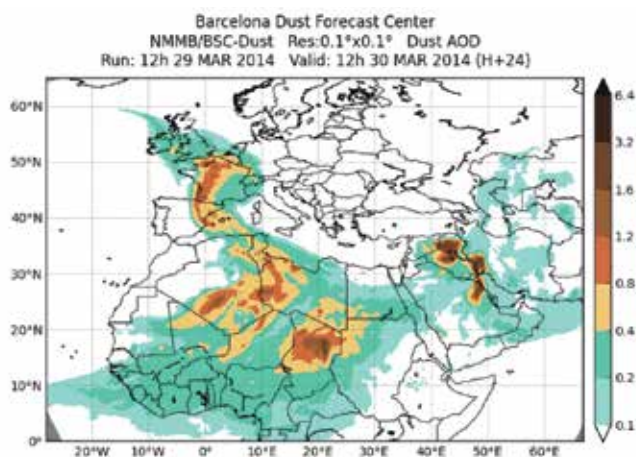
El Centro de predicción de polvo atmosférico de Barcelona

Con objeto de desarrollar el componente operativo del SDS-WAS y de transferir a los servicios operativos la experiencia adquirida en la fase científica, en febrero de 2014 se inauguró el Centro de predicción de polvo atmosférico de Barcelona tras la resolución de la OMM en el sentido de que la predicción de polvo estaba ya lo suficientemente madura como para poner en marcha servicios operativos. AEMET y el BSC albergan este Centro Meteorológico Regional Especializado en Predicción de Polvo y Arena Atmosféricos que tiene la finalidad de generar y distribuir predicciones operativas para el Norte de África (al norte del ecuador), Oriente Medio y Europa.

Los campos de predicción se generan utilizando el modelo NMMB/BSC-Dust, ejecutado con una resolución horizontal de 0,1 grados, y se distribuyen a través del portal web del Centro¹⁶, a través del Sistema Mundial de Telecomunicación de la OMM y por medio de EUMETCast, un sistema de difusión gestionado por EUMETSAT —basado en la tecnología convencional de emisión por vídeo digital— que emplea satélites geostacionarios de telecomunicaciones de uso comercial para realizar una multidifusión de archivos (datos y productos) a una amplia comunidad de usuarios.

¹⁵ Wang y otros, 2008.

¹⁶ <http://dust.aemet.es>



Predicción a 24 horas vista del espesor óptico del polvo a 550 nm emitida por el Centro de predicción de polvo atmosférico de Barcelona el 29 de marzo de 2014 a las 12 UTC.

Invitación a seguir investigando

El objetivo del SDS-WAS de la OMM es llevar a cabo observaciones y técnicas de modelización de las tormentas de arena y polvo de una forma exhaustiva, coordinada e ininterrumpida en aras de mejorar la vigilancia del polvo y el conocimiento de los procesos asociados al mismo, así como para aumentar la capacidad de predicción. Se han alcanzado grandes progresos desde que la OMM puso en marcha el proyecto SDS-WAS hace diez años. Dos Centros Regionales han coordinado las tareas de investigación y han gestionado el desarrollo de herramientas para observar y predecir el polvo atmosférico.

Se invita a todos los SMHN y posibles usuarios finales interesados a que utilicen los productos del SDS-WAS para la región del Norte de África (al norte del ecuador), Oriente Medio y Europa y para la región de Asia (en las figuras anteriores pueden verse las zonas que abarca la predicción).

El Decimoséptimo Congreso Meteorológico Mundial reconoció que el SDS-WAS, actividad conjunta de la Vigilancia de la Atmósfera Global y del Programa Mundial de Investigación Meteorológica, ha aumentado la sensibilización por los fenómenos relacionados con el polvo atmosférico y ha contribuido a una mejor comprensión de los mismos. El Congreso acordó que el Plan científico y de ejecución del SDS-WAS entre 2015 y 2020 constituya la base para que continúe el componente de investigación del proyecto. En su reunión de junio, el Consejo Ejecutivo creó el Comité Directivo del SDS-WAS así como un fondo fiduciario para la contribución de los Miembros. El SDS-WAS da la bienvenida a la incorporación de otras organizaciones a este trabajo.

Las referencias están disponibles en la versión en línea del Boletín: www.wmo.int/bulletin/content/airborne-dust-hazard