



*Una tormenta de arena se cierne sobre la Misión de la Unión Africana y las Naciones Unidas en Darfur septentrional, El Fasher (Sudán).
Fotografía: Operación Híbrida de la Unión Africana y las Naciones Unidas en Darfur/Adrian Dragnea*

Tormentas de arena y polvo: contener un fenómeno mundial

Invasión de arena y polvo

En 2010, las autoridades chinas activaron una alerta por contaminación de nivel cinco cuando una vasta tormenta de arena cruzó Mongolia y el norte de China en dirección hacia Beijing, cubriendo una superficie de 810.000 kilómetros cuadrados y poniendo en peligro a 250 millones de personas¹. En mayo de 2016, una serie de tormentas de arena masivas sacudieron el condado de Rigan, al sudeste del Irán, sepultando 16 poblados y causando pérdidas por valor de 9 millones de dólares². Unos meses más tarde, pesadas nubes de polvo y arena envolvieron Abu Dhabi, reduciendo la visibilidad en la ciudad a 500 metros y provocando un incremento del 20% en el número de ingresos hospitalarios de pacientes con asma^{3,4}. No son más que algunos ejemplos de las amenazas y daños causados recientemente por las tormentas de arena y polvo en muchos lugares del mundo. Existen muchos otros ejemplos a lo largo de la historia de la humanidad⁵.

Las tormentas de arena y polvo se producen cuando fuertes vientos turbulentos erosionan las partículas de arena y lodo de terrenos áridos y semiáridos y las arrojan a la atmósfera. Las tormentas de arena se desplazan a una distancia relativamente corta del suelo. Tanto el tamaño de las partículas como la velocidad del viento condicionan la distancia recorrida por cada partícula. Las tormentas de polvo levantan grandes cantidades de partículas de lodo fino y partículas de arcilla más pequeñas que alcanzan una altura superior en la atmósfera⁶.

Pueden desplazarse miles de kilómetros, a través de continentes y océanos, atraen otros contaminantes en su trayecto y acaban depositando las partículas lejos de su lugar de origen. Los vientos propagan el polvo del Sáhara —la fuente más importante— hacia el oeste hasta América, hacia el norte hasta Europa y hacia el este hasta China⁶. Las fuentes de Asia Central y China llegan a la península de Corea, el Japón, las islas del Pacífico, América del Norte y más lejos.

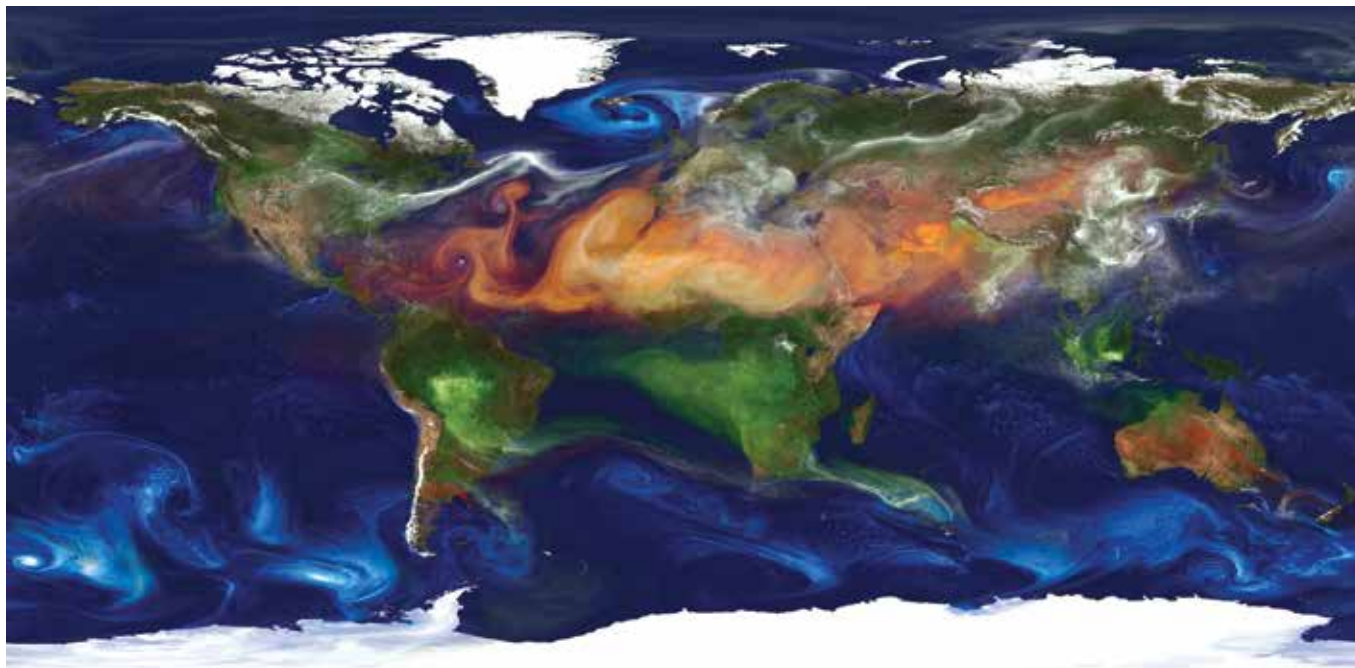


Un estudio de caso elaborado en 2003 siguió el rastro de grandes cantidades de polvo de un penacho chino originado en 1990 que alcanzó los Alpes europeos tras desplazarse más de 20.000 kilómetros en dirección este en un plazo de dos semanas⁷. El polvo desempeña un papel importante en los procesos biogeoquímicos del sistema terrestre. Constituye un material de base en amplias extensiones de suelos de loess⁸. La deposición de polvo mineral aporta nutrientes como el hierro y otros oligoelementos a los ecosistemas terrestres y marinos, los cuales favorecen la productividad primaria y el crecimiento del fitoplancton⁹. El polvo sahariano actúa como fertilizante natural en la selva amazónica, donde efectúa aportaciones de fósforo que equilibran el que se pierde en los caudales¹⁰. De manera parecida, las selvas pluviales hawaianas reciben nutrientes del polvo procedente de Asia Central¹¹. Al mismo tiempo, el polvo de África y Asia puede dañar los arrecifes de coral del Caribe¹².

El polvo también puede resultar nocivo para los animales y los seres humanos, sobre todo en las regiones áridas y semiáridas. En el caso de los humanos, la inhalación de partículas finas puede generar o agravar

el asma, la bronquitis, los enfisemas y la silicosis¹³. El polvo más fino también puede contener un conjunto de contaminantes, esporas, bacterias, hongos y alérgenos. Otros problemas frecuentes son las infecciones oculares, las irritaciones cutáneas y la fiebre del Valle. En los países del Sahel, las concentraciones de polvo procedentes del Sáhara están estrechamente ligadas a los brotes de meningitis¹⁴. La exposición crónica al polvo fino contribuye a la muerte prematura por enfermedades respiratorias y cardiovasculares, cáncer de pulmón e infección aguda de las vías respiratorias inferiores¹⁵.

Las tormentas de polvo ocasionan otros perjuicios de tipo socioeconómico¹⁶⁻¹⁹. Entre los costos a corto plazo cabe mencionar la enfermedad y muerte del ganado, la destrucción de cosechas, los daños en edificios y otra infraestructura, la interrupción del transporte y la onerosa retirada de toneladas de depósitos. Una sola tormenta puede provocar la pérdida de centenares de millones de dólares. Entre los costos a largo plazo se hallan la erosión de los suelos, la contaminación de los ecosistemas, la desertificación y problemas de salud crónicos y debilitantes.



Retrato de los aerosoles mundiales elaborado mediante un modelo de simulación GEOS-5 con una resolución de 10 kilómetros. Las emisiones de polvo se muestran en color marrón o rojo.

Fotografía: William Putman, Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA)/Centro Goddard de Vuelos Espaciales

Factores naturales, mala gestión del suelo y cambio climático

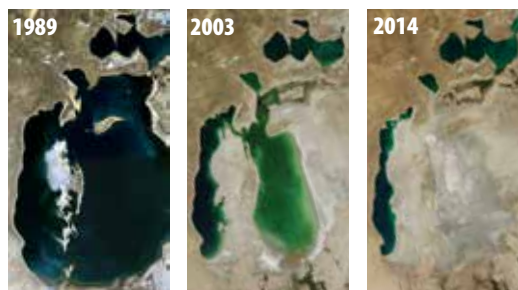
La actividad del polvo varía notablemente en relación con diversas escalas temporales —estacional, anual, decenal o pluridecenal—²⁰. Un estudio de 2012 en el que se compararon los datos satelitales obtenidos entre 2003 y 2009 con análisis de datos semejantes correspondientes a períodos anteriores indica que en los últimos tres decenios se han experimentado cambios sustanciales en las mesetas de Australia, Asia Central y los Estados Unidos; por otra parte, los eventos protagonizados por el polvo se han mantenido al mismo nivel de actividad en África Septentrional, el Oriente Medio y América del Sur^{21,22}. Otros estudios demuestran que esas regiones se ven sometidas a intensidades elevadas de polvo, debido a que las tormentas o la calima tienen su origen en causas tanto naturales como antropogénicas²¹⁻²³.

Las causas antropogénicas, responsables de aproximadamente el 25% de las emisiones de polvo mundiales, tienen su origen en los nuevos usos de la tierra que, entre otros aspectos, conllevan una extracción excesiva de agua y su desviación para la irrigación, lo que provoca la desecación de las masas de agua; y la deforestación y prácticas agrícolas insostenibles, que exponen el suelo a la erosión por acción del viento. Todos ellos son formas de degradación de la tierra. En las tierras secas, cuando se labran con demasiada frecuencia y profundidad los suelos agrícolas y se retiran los residuos de las cosechas, los suelos quedan expuestos. La retirada de setos e hileras de desechos para facilitar el acceso de equipos más grandes exacerba la erosión del viento. El sobrepastoreo de los pastizales hace que desaparezca la cobertura del suelo. Sin ella, los vientos arrastran las partículas más finas, que contienen una gran parte de los nutrientes y la materia orgánica. Las simulaciones con modelos indican que, a nivel mundial, las emisiones de polvo han aumentado desde 1900 entre un 25% y un 50% a causa del uso de la tierra y el cambio climático²⁴.

En todas las regiones propensas al polvo, la relación entre las actividades humanas y el incremento de este resulta evidente e incluso en ocasiones tangible. El lago Owens, fuente de polvo en California, se secó después de que en 1913 se empezara a desviar el agua hacia el acueducto de Los Ángeles²⁵. La Patagonia, en la mitad sur de la Argentina, se ha convertido en una importante fuente de polvo antropogénica a causa de la desertificación provocada por la ganadería insostenible²⁶. La cuenca indogangética constituye una fuente de polvo principal en Asia Meridional debido a las prácticas agrícolas intensivas²². En Australia, el desmonte de tierras y la demanda de agua para la agricultura ha alterado el régimen hidrológico y propiciado un incremento considerable del polvo²⁷. El lago Baljash, en Kazajistán, se seca con rapidez desde 1970 a raíz de la construcción de una presa aguas arriba, en el río Ili.

Retroceso del mar de Aral entre 2000 y 2013

Tras decenios de desviación de agua a gran escala, el mar de Aral se ha secado y convertido en una fuente activa de polvo



Imágenes
1989 - Servicio de la Cubierta Vegetal Mundial de la Universidad de Maryland
2003 - Jacques Desloîtres, NASA/Centro Goddard de Vuelos Espaciales
2014 - Jesse Allen, Observatorio de la Tierra de la NASA

Por último, el desvío de agua a gran escala durante decenios de los principales ríos de la región —Sir Daria y Amu Daria— con miras a programas amplios de irrigación ha reducido el caudal que llega al mar de Aral, lo que ha provocado la desecación y desertificación de la región²⁸. Zonas enormes de la cuenca del mar de Aral son actualmente fuentes activas de polvo nocivo contaminado con los residuos persistentes de los fertilizantes artificiales y plaguicidas cuyo uso se prohibió hace decenios²⁹.

El cambio climático antropogénico impulsa de manera notable la generación de polvo, que se suma al que se produce de forma natural y a causa de una gestión poco racional de la tierra. Es probable que muchas de las regiones polvorrientas de hoy sigan secándose y contribuyan a la generación de más polvo atmosférico. Entre ellas se encuentran la mayoría de las zonas mediterráneas de África y Europa, el norte del Sáhara, Asia Occidental, Asia Central, el sudoeste de los Estados Unidos y el sur de Australia^{30,31}. A su vez, el aumento de polvo en la atmósfera puede repercutir en el sistema climático. Es posible que altere el equilibrio radiativo de la Tierra y de ese modo intensifique las sequías en las zonas áridas³². Por otra parte, el polvo podría provocar un aumento de las precipitaciones en algunas regiones, al formar nubes³³.

Así pues, las tormentas de arena y polvo se relacionan con un conjunto de temas ambientales y de desarrollo de importancia nacional, regional y continental. El cambio climático antropogénico agravará las consecuencias de decenios de gestión insostenible de la tierra y los recursos hídricos en regiones que generan tormentas de arena y polvo. Esta amenaza puede mitigarse si se adoptan medidas eficaces con rapidez.

Fuentes y efectos de las tormentas de arena y polvo

Los nuevos usos de la tierra, por ejemplo la agricultura, la desviación de agua y la deforestación, generan el **25% del polvo mundial**

Desde 1990, las emisiones de polvo han aumentado entre un **25% y un 50%** debido a las actividades humanas

Las tormentas de arena y polvo son habituales en las **zonas áridas y semiáridas**

A medida que **cambia el clima**, la mayor variabilidad y los fenómenos meteorológicos extremos agravan el riesgo de las tormentas de polvo

Las **iniciativas de recuperación ecológica** ayudan a reducir la frecuencia y gravedad de las tormentas de polvo en cada zona

Las tormentas de arena y polvo contienen **partículas de una amplia gama de tamaños**

Las tormentas de arena y polvo se producen cuando fuertes vientos turbulentos erosionan y arrastran las partículas de arena y lodo de terrenos áridos

La inhalación de partículas menores de **10 micrones** —una centésima de milímetro— provoca enfermedades cardíacas y pulmonares

Es probable que las **regiones áridas** se vuelvan más secas y padezcan más tormentas de polvo, incluidas ciertas zonas **mediterráneas de Europa y África, el norte del Sáhara, Asia Central y Occidental, el sudoeste de los Estados Unidos y el sur de Australia**

En las tormentas de polvo, la concentración de polvo es de **entre 100 y 1.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$**

Las tormentas de polvo arrastran un conjunto de **contaminantes, esporas, hongos, bacterias y alérgenos**. El polvo arrastrado desde el desierto del Sáhara puede provocar un brote de meningitis en el Sahel.

En 1993, una tormenta de polvo en el noroeste de China mató a casi **120.000 cabezas de ganado**, arruinó **373.333 hectáreas de cultivos** y sepultó más de 2.000 km de acequias de riego

Durante una tormenta de polvo en el Irán, en enero de 2017, la concentración de partículas finas superó los **10.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$**

Las tormentas de polvo dañan los cultivos, matan al ganado y erosionan suelos fértiles

La calidad del aire establecida por la OMS en relación con la concentración de partículas finas es igual o menor a **50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$**

Una sola tormenta de polvo puede provocar la pérdida de **centenares de millones de dólares**



Reducir los daños haciendo hincapié en escalas más pequeñas

A corto y mediano plazo, en aras de su eficacia, las iniciativas dirigidas a reducir la amenaza de las tormentas de arena y polvo deberían centrarse en las estrategias de protección³⁴. Por supuesto, los sistemas de alerta temprana y los procedimientos de reducción de desastres son componentes fundamentales de la preparación, por lo que los programas regionales se están adaptando para mejorar tales servicios. Entre los procedimientos que hacen frente en tiempo real a las tormentas de arena y polvo se encuentran la comunicación consultiva para los servicios públicos; el cierre de escuelas, aeropuertos, estaciones de tren y carreteras; y los servicios de urgencia hospitalarios.

La preparación comienza con la concienciación de la ciudadanía sobre los riesgos que representan las tormentas de arena y polvo a través de las escuelas, los medios de comunicación y las redes sociales, y la telecomunicación. En la preparación también deberían incluirse técnicas para la protección física de activos valiosos, por ejemplo mediante la colocación o construcción de barreras a barlovento de las zonas pobladas y elementos de infraestructura básicos, a fin de favorecer que el polvo se deposite fuera de esas zonas. Algunas medidas, como la orientación de las carreteras y la eliminación de obstáculos, permiten canalizar los vientos dominantes y alejar su carga de los emplazamientos que requieren protección.

▶ Vídeo: La ambiciosa «Gran Muralla Verde» de África



Enlace: https://www.youtube.com/watch?v=jj_nRHg-0l4

Fotografía: Trabajo del suelo en el Senegal, Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias/Milo Mitchell, con licencia CC BY-NC-ND 2.0

© TIME



Un penacho de polvo se dirige desde el norte de África hacia Europa y el océano Atlántico, 21 de febrero de 2017

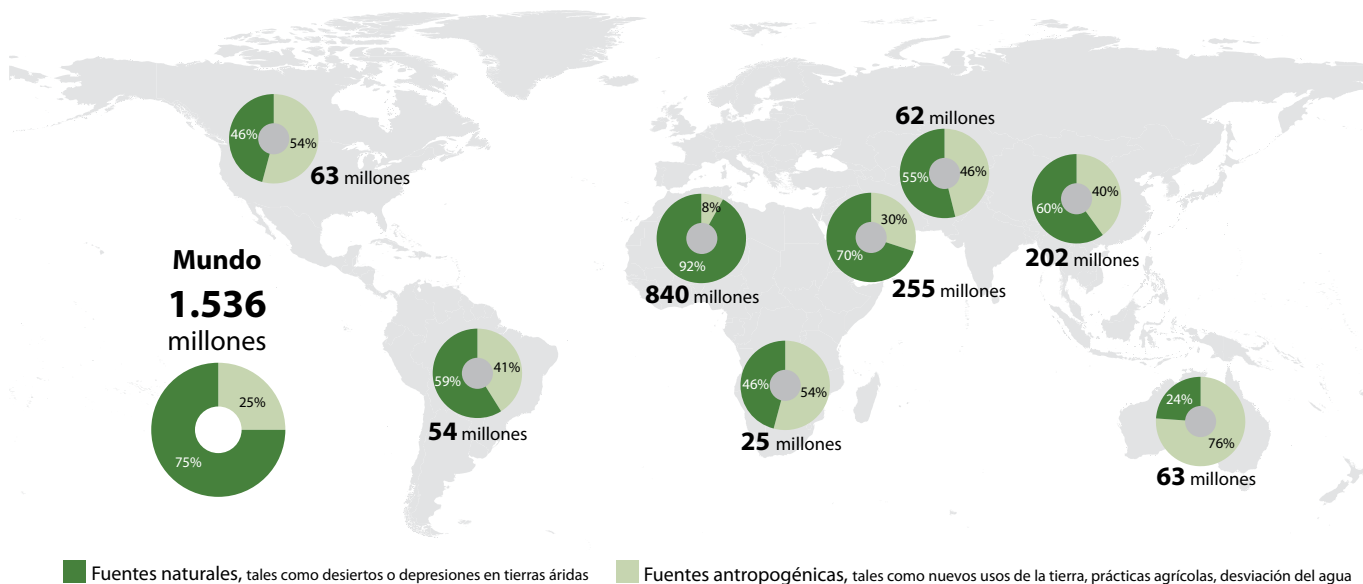
Fotografía: Fotografía de la NASA tomada por Jeff Schmaltz, Respuesta Rápida del Sistema de Datos e Información del Sistema de Observación de la Tierra del servicio de observación casi en tiempo real de la tierra y la atmósfera (LANCE)

A mediano y largo plazo, la reducción de la amenaza de las tormentas de arena y polvo debería centrarse en estrategias preventivas que promuevan una gestión sostenible de la tierra y el agua en distintos parajes. En su alcance tienen cabida las tierras agrícolas, los pastizales, los desiertos y las zonas urbanas. Este tipo de estrategias deberían integrarse en medidas para la adaptación al cambio climático y su mitigación, así como encaminadas a conservar la diversidad biológica. Esas estrategias integradas fundamentales presentan actualmente deficiencias en numerosas regiones vulnerables³⁴.

El programa para la creación de tres cinturones de protección en el norte de China, lo que se conoce como «la Gran Muralla Verde», es una iniciativa integrada que se puso en marcha en 1978, después de decenios de explotación insostenible de los recursos naturales, con el objetivo de hacer frente a la erosión desenfrenada del suelo, la cual agravaba otros problemas con inundaciones y tormentas de polvo que abarcaban grandes extensiones. Los resultados de las investigaciones y las experiencias anteriores apuntan a que hacer hincapié en las medidas que dan resultado a nivel comunitario y local, con especies vegetales autóctonas ya adaptadas a determinados lugares, reporta beneficios cuando esas medidas se vinculan entre sí y se amplían³⁵. Tales hallazgos revigorizan el énfasis en medidas que promueven servicios de los ecosistemas como la producción alimentaria, el secuestro del carbono, la retención de agua del suelo, la mitigación de las inundaciones y la provisión de un hábitat para la biodiversidad que preserve el capital natural y prevenga las tormentas de arena y polvo³⁶. A raíz del programa



Fuentes de las emisiones de polvo (toneladas/año)



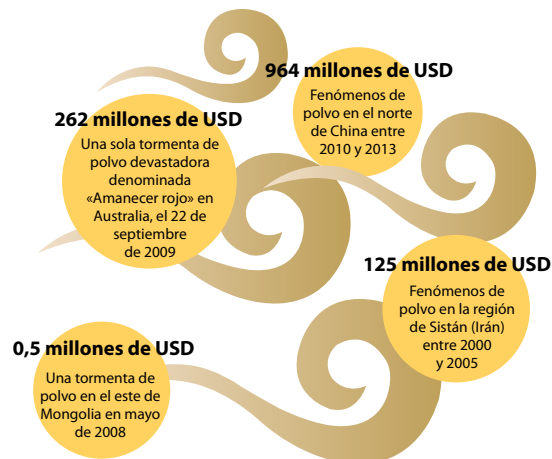
Fuente de los datos: Ginoux et al. (2012)²²

de la Gran Muralla Verde se observan mejoras de calidad en el índice de vegetación circundante, y se deduce que la iniciativa ha resultado eficaz para reducir la intensidad de las tormentas de polvo, una vez que se contabiliza la influencia del cambio climático y las presiones humanas^{37,38}. En el desierto de Kubuqi, en la Mongolia interior, las inversiones públicas, privadas y comunitarias para plantar especies autóctonas de árboles, arbustos y hierba en más de 5.000 kilómetros cuadrados de terreno desértico redujeron la frecuencia de las tormentas de polvo y los daños conexos en los hogares y la infraestructura³⁹.

En África, la Iniciativa de la Gran Muralla Verde del Sáhara y el Sahel también ha obtenido resultados al trabajar a escala local y comunitaria⁴⁰. La iniciativa, cuyo ideal se centraba inicialmente en la plantación de árboles, ha evolucionado para dar cabida a otras cuestiones más amplias del desarrollo sostenible. En el Senegal se plantaron en primer lugar más de 270 kilómetros cuadrados de árboles autóctonos que no requieren irrigación; posteriormente, otras plantas y animales regresaron y están restaurando el ecosistema. Distintas comunidades de Mauritania, el Chad, el Níger, Etiopía y Nigeria han puesto en marcha la instalación de huertas cada vez más importantes en el límite de las tierras áridas, las cuales brindan a los jóvenes empleo y motivos para no migrar. Al igual que en los casos anteriores, el éxito de esos proyectos se basa en una

cuidada selección de las especies vegetales, que han de adaptarse bien a las condiciones de cada zona, ser acordes con la disponibilidad de recursos hídricos y resultar familiares a la población local que a la larga se ocupará de la restauración y el paisaje⁴¹.

Pérdidas económicas provocadas por las tormentas de arena y polvo



Ayuda multilateral para reducir los daños causados por las tormentas de arena y polvo

Las estrategias integradas que hacen frente a los riesgos de las tormentas de arena y polvo plasman las recomendaciones referentes a la contención de la degradación del suelo, la pérdida de la biodiversidad terrestre y las amenazas del cambio climático que figuran en los tres Convenios de Río: la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (UNCCD), el Convenio sobre la Diversidad Biológica y la Convención Marco sobre el Cambio Climático. Con el respaldo de la UNCCD, Asia Occidental y Asia Nororiental han elaborado planes de acción regionales sobre las tormentas de arena y polvo; el plan de Asia Nororiental está en pleno funcionamiento⁴².

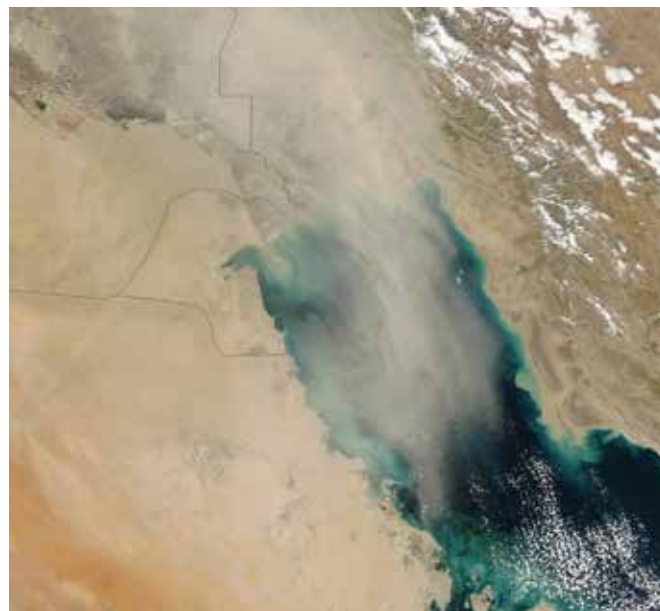
Todos los Convenios de Río apoyan que las iniciativas de ordenación de la tierra y los recursos hídricos se desarrollen en colaboración con las instituciones multilaterales y los organismos pertinentes. La unidad internacional con respecto a estas cuestiones cristaliza en los Objetivos de Desarrollo Sostenible —especialmente en los Objetivos 1, 2, 5, 13 y 15— que abordan la integridad y la gestión del suelo y los recursos hídricos, y concretamente en la

▶ **Vídeo: Luchar contra la desertificación: pastores chinos tratan de convertir el desierto en un oasis**



Enlace: <https://www.youtube.com/watch?v=gITXPUrYYJ0>
 Fotografía: Prevención de la desertificación en Ningxia (China), Bert van Dijk, con licencia CC BY-NC-SA 2.0

© CCTV English



Una tormenta de polvo sobre el golfo Pérsico, 19 de febrero de 2017

Fotografía: Fotografía de la NASA tomada por Jeff Schmaltz, Respuesta Rápida del Sistema de Datos e Información del Sistema de Observación de la Tierra del servicio de observación casi en tiempo real de la tierra y la atmósfera (LANCE)

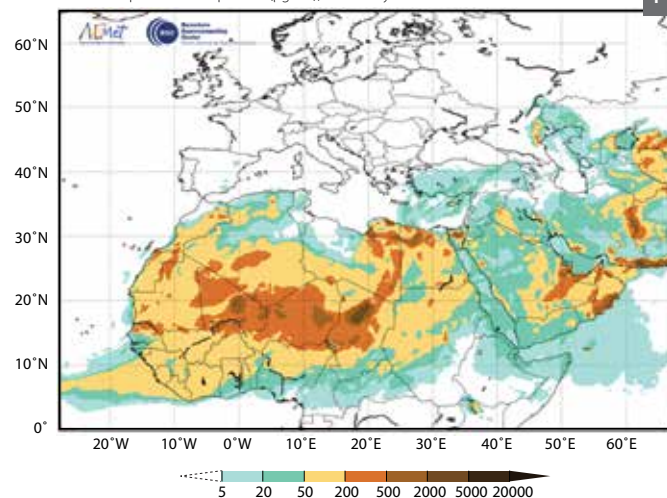
meta. 15.3: «De aquí a 2030, luchar contra la desertificación, rehabilitar las tierras y los suelos degradados, incluidas las tierras afectadas por la desertificación, la sequía y las inundaciones, y procurar lograr un mundo con efecto neutro en la degradación de las tierras». Los marcos, acuerdos y planes de acción regionales —por ejemplo, el Plan Regional Maestro para la Prevención y el Control de las Tormentas de Arena y Polvo en Asia Nororiental— y los planes de acción nacionales —como los exigidos por la UNCCD— también establecen políticas conducentes a reducir las amenazas de las tormentas de arena y polvo.

La Organización Meteorológica Mundial ha puesto en marcha el Sistema de evaluación y asesoramiento para avisos de tormentas de polvo y arena con vistas a aumentar la capacidad de los países para pronosticar de forma temprana y precisa las tormentas de arena y polvo, observarlas, informar acerca de ellas y facilitar conocimientos a los usuarios⁴³. El sistema ofrece pronósticos mundiales y regionales sobre la amenaza del polvo y ha creado centros regionales en América, Asia, y África Septentrional, el Oriente Medio y Europa⁴⁴.

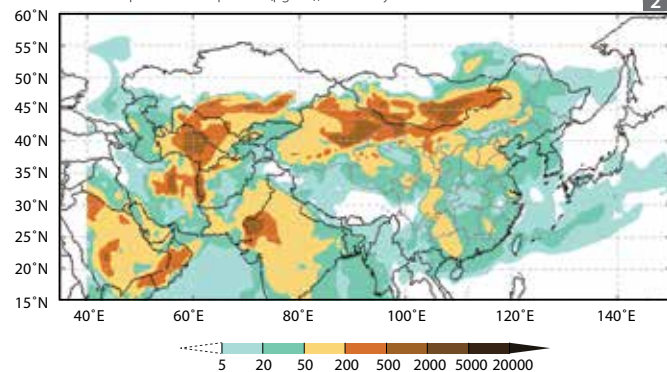


Pronóstico en línea sobre la concentración de polvo proporcionada por los centros regionales del Sistema de evaluación y asesoramiento para avisos de tormentas de polvo y arena de la Organización Meteorológica Mundial

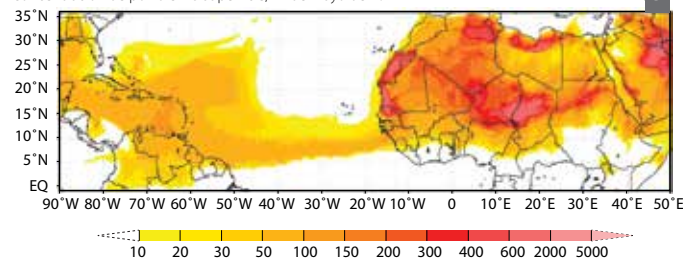
Concentración de polvo en la superficie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), 18 de mayo de 2017



Concentración de polvo en la superficie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), 18 de mayo de 2017



Concentración de polvo en la superficie, 21 de mayo de 2017



Las iniciativas de ordenación integrada de la tierra y los recursos hídricos dan cabida a las actividades agrícolas; asimismo, la Organización para la Alimentación y la Agricultura promueve la agricultura de conservación con el propósito de hacer frente a las amenazas que se ciernen sobre las regiones áridas. En 1992, una red denominada Reseña Mundial de Enfoques y Tecnologías de la Conservación (WOCAT) empezó a recopilar información de especialistas en las prácticas de agricultura de conservación y ordenación sostenible de la tierra. En 2014, la red adquirió la forma de consorcio y fue reconocida por la UNCCD como fuente recomendada de datos sobre mejores prácticas. En 2017, la WOCAT cuenta con más de 2.000 usuarios registrados, más de 60 instituciones participantes y unas 30 iniciativas nacionales y regionales⁴⁵.

La agricultura es responsable de casi el 70% de todas las extracciones de agua dulce⁴⁶. La agricultura de conservación también promueve prácticas de uso de los recursos hídricos que previenen su escasez y la desertificación y reducen la formación de tormentas de arena y polvo. El Grupo de Recursos Hídricos 2030 ha recopilado estudios de casos de todo el mundo sobre soluciones disponibles, reproducibles y prácticas para la gestión hídrica. Esas soluciones se han recogido en el catálogo en línea «Managing Water Use in Scarce Environments» («gestionar el uso del agua en entornos de escasez»), concebido para alentar la acción y la utilización por parte de los responsables de las políticas y decisiones⁴⁷. Muchas de las soluciones son claramente pertinentes de cara a la reducción de las tormentas de arena y polvo.

Por último, es necesario mejorar la integración y coordinación internacional de las investigaciones a fin de paliar una serie de dudas fundamentales sobre la interacción del polvo con los procesos biogeoquímicos y los sistemas climáticos mundiales; optimizar los métodos de monitoreo, predicción y alerta temprana; evaluar los efectos económicos y el costo de las tormentas de arena y polvo y las medidas de mitigación conexas; y aumentar la eficacia de las medidas antes y después de las intervenciones y durante estas.

1 Centro para África Septentrional, Oriente Medio y Europa Central
<https://sds-was.aemet.es/>

2 Centro para Asia del Sistema de evaluación y asesoramiento para avisos de tormentas de polvo y arena de la Organización Meteorológica Mundial
http://eng.nmc.cn/sds_was.asian_rc/

3 Centro Regional Panamericano
<http://sds-was.cimh.edu.bb/>

Bibliografía

- BBC (2010). China sandstorm leaves Beijing shrouded in orange dust. *BBC*, 20 March 2010. <http://news.bbc.co.uk/2/hi/asia-pacific/8577806.stm>
- Tehran Times (2016). Sand storm buries 16 villages in southeastern Iran. *Tehran Times*, 18 May 2016. <http://www.tehrantimes.com/news/402617/Sand-storm-buries-16-villages-in-southeastern-Iran>
- Emirates 24/7 News (2016). NCMS warns of active winds, low visibility. *Emirates 24/7 News*, 4 August 2016. <http://www.emirates247.com/news/emirates/ncms-warns-of-active-winds-low-visibility-2016-08-04-1.637979>
- The National (2016). Asthma attacks on the rise in UAE as winds whip up sand and dust. *The National*, 19 July 2016. <http://inbusiness.ae/2016/07/19/asthma-attacks-on-the-rise-in-uae-as-winds-whip-up-sand-and-dust>
- McLeman, R., Dupre, J., Berrang Ford, L., Ford, J., Gajewski, K. and Marchildon, G. (2014). What We Learned from the Dust Bowl: Lessons in Science, Policy, and Adaptation. *Population and Environment*, 35, 417–440. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24829518>
- Goudie, A.S. and Middleton, N.J. (2006). *Desert Dust in the Global System*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- Grousset, F.E., Ginoux, P. and Bory, A. (2003). Case study of a Chinese dust plume reaching the French Alps. *Geophysical Research Letters*, 30(6), 1277. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2002GL016833/full>
- Pye, K. (1987). *Aeolian dust and dust deposits*. Academic Press, London
- Wang, F., Zhao, X., Gerlein-Safdi, C., Mu, Y., Wang, D. and Lu, Q. (2017). Global sources, emissions, transport and deposition of dust and sand and their effects on the climate and environment: a review. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 11, 13. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11783-017-0904-z>
- Yu, H., Chin, M., Yuan, T., Bian, H., Remer, L.A., Prospero, J.M., Omar, A., Winker, D., Yang, Y., Zhang, Y., Zhang, Z. and Zhao, C. (2015). The fertilizing role of African dust in the Amazon rainforest: A first multiyear assessment based on data from Cloud–Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations. *Geophysical Research Letters*, 42, 1984–1991. https://www.researchgate.net/publication/272754426_The_Fertilizing_Role_of_African_Dust_in_the_Amazon_Rainforest_A_First_Multiyear_Assessment_Based_on_CALIPSO_Lidar_Observations
- Chadwick, O.A., Derry, L.A., Vitousek, P.M., Huebert, B.J. and Hedin, L.O. (1999). Changing sources of nutrients during four million years of ecosystem development. *Nature*, 397, 491–497. <http://www.nature.com/nature/journal/v397/n6719/pdf/397491a0.pdf>
- Garrison, V.H., Shinn, E.A., Foreman, W.T., Griffin, D.W., Holmes, C.W., Kellogg, C.A., Majewski, M.S., Richardson, L.L., Ritchie, K.B. and Smith, G.W. (2003). African and Asian dust: from desert soils to coral reefs. *BioScience*, 53, 469–480. <https://academic.oup.com/bioscience/article/53/5/469/241414/African-and-Asian-Dust-From-Desert-Soils-to-Coral>
- Derbyshire, E. (2007). Natural minerogenic dust and human health. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 36, 73–77. https://www.wou.edu/las/phycsi/taylor/g473/med_geo/derbyshire_2007.pdf
- García-Pando, C.P., Stanton, M.C., Diggle, P.J., Trzaska, S., Miller, R.L., Perlwitz, J.P., Baldasano, J.M., Cuevas, E., Ceccato, P., Yaka, P. and Thomson, M.C. (2014). Soil dust aerosols and wind as predictors of seasonal meningitis incidence in Niger. *Environmental Health Perspectives*, 122(7), 679–686. <https://ehp.niehs.nih.gov/wp-content/uploads/122/7/ehp.1306640.pdf>
- WHO (2013). *Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project*. World Health Organization Regional Office for Europe, Copenhagen. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0020/182432/e96762-final.pdf
- Tozer, P. and Leys, J. (2013). Dust storms – what do they really cost? *The Rangeland Journal*, 35, 131–142. <http://www.publish.csiro.au/rj/pdf/RJ12085>
- Miri, A., Ahmadi, H., Ekhtesasi, M.R., Panjehkeh, N. and Ghanbari, A. (2009). Environmental and socio-economic impacts of dust storms in Sistan Region, Iran. *International Journal of Environmental Studies*, 66(3), 343–355. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207230902720170?journalCode=genv20>
- Almasi, A., Mousavi, A.R., Bakhshi, S. and Namdari, F. (2014). Dust storms and environmental health impacts. *Journal of Middle East Applied Science and Technology*, 8, 353–356. https://www.researchgate.net/publication/271211840_Dust_storms_and_environmental_health_impacts
- Stefanski, R. and Sivakumar, M.V.K. (2009). Impacts of Sand and Dust Storms on Agriculture and Potential Agricultural Applications of a SDSWS. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 7(1), 012016. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1307/7/1/012016/pdf>
- Shao, Y., Klose, M. and Wyrwoll, K.H. (2013). Recent global dust trend and connections to climate forcing. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118, 1–12. https://www.researchgate.net/publication/263182073_Recent_global_dust_trend_and_connections_to_climate_forcing_GLOBAL_DUST_TREND
- Prospero, J.M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S.E. and Gill, T.E. (2002). Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the Nimbus 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product. *Reviews of Geophysics*, 40, 2–31. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2000RG000095/full>
- Ginoux, P., Prospero, J.M., Gill, T.E., Hsu, N.C. and Zhao, M. (2012). Global-scale attribution of anthropogenic and natural dust sources and their emission rates based on MODIS Deep Blue aerosol products. *Reviews of Geophysics*, 50. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2012RG000388/epdf>
- Stanelle, T., Bey, I., Raddatz, T., Reick, C. and Tegen, I. (2014). Anthropogenically induced changes in twentieth century mineral dust burden and the associated impact on radiative forcing. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119, 526–546. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2014JD022062/epdf>

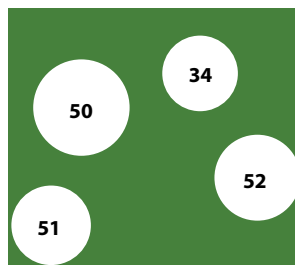
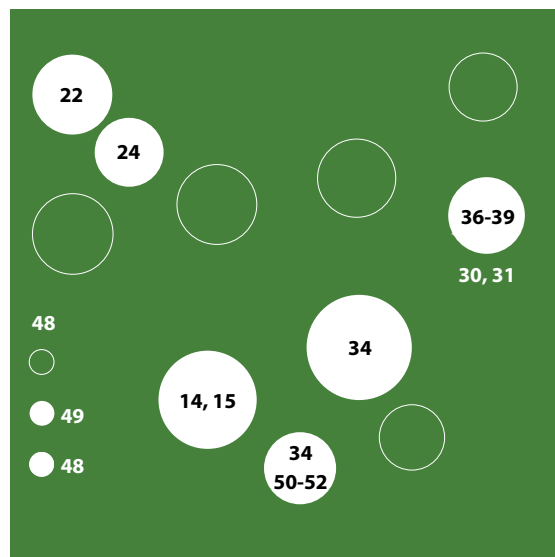


24. Mahowald, N.M., Kloster, S., Engelstaedter, S., Moore, J.K., Mukhopadhyay, S., McConnell, J.R., Albani, S., Doney, S.C., Bhattacharya, A., Curran, M.A.J. and Flanner, M.G. (2010). Observed 20th century desert dust variability: impact on climate and biogeochemistry. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10, 10875–10893. https://www.mpimet.mpg.de/fileadmin/staff/klostersilvia/Mahowald_et_al_ACPD_2010.pdf
25. Gill, T.E. (1996). Eolian sediments generated by anthropogenic disturbance of playas: Human impacts on the geomorphic system and geomorphic impacts on the human system. *Geomorphology*, 17, 207–228. https://www.researchgate.net/publication/222233193_Eolian_sediments_generated_by_anthropogenic_disturbance_of_playas_Human_impacts_on_the_geomorphic_system_and_geomorphic_impacts_on_the_human_system
26. McConnell, J.R., Aristarain, A.J., Banta, J.R., Edwards, P.R. and Simões, J.C. (2007). 20th-Century doubling in dust archived in an Antarctic Peninsula ice core parallels climate change and desertification in South America. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(14), 5743–5748. <http://www.pnas.org/content/104/14/5743.full.pdf>
27. Marx, S.K., Kamber, B.S., McGowan, H.A. and Denholm, J. (2011). Holocene dust deposition rates in Australia's Murray-Darling Basin record the interplay between aridity and the position of the mid-latitude westerlies. *Quaternary Science Reviews*, 30(23), 3290–3305. https://www.researchgate.net/publication/232391398_Holocene_dust_deposition_rates_in_Australia's_Murray-Darling_Basin_record_the_interplay_between_aridity_and_the_position_of_the_mid-latitude_westerlies
28. Groll, M., Opp, C. and Aslanov, I. (2012). Spatial and temporal distribution of the dust deposition in Central Asia – results from a long term monitoring program. *Aeolian Research*, 9, 49–62. https://www.researchgate.net/publication/257708671_Spatial_and_temporal_distribution_of_the_dust_deposition_in_Central_Asia_-_results_from_a_long_term_monitoring_program
29. Ataniyazova, O.A. (2003). *Health and ecological consequences of the Aral Sea crisis*. In the 3rd World Water Forum, Regional Cooperation in Shared Water Resources in Central Asia, Kyoto, March 18 2003, Panel III: Environmental Issues in the Aral Sea Basin. http://www.cae.utexas.edu/prof/mckinney/ce385d/papers/atanizaova_wwf3.pdf
30. Christensen, J.H., Hewitson, B., Busuoiu, A., Chen, A., Gao, X., Held, I., Jones, R., Kolli, R.K., Kwon, W.-T., Laprise, R., Magaña Rueda, V., Mearns, L., Menéndez, C.G., Räisänen, J., Rinke, A., Sarr, A. and Whetton, P. (2007). Regional Climate Projections. In *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter11.pdf>
31. IPCC (2013). Summary for Policymakers. In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_TS_FINAL.pdf
32. Han, Y., Dai, X., Fang, X., Chen, Y. and Kang, F. (2008). Dust aerosols: a possible accelerant for an increasingly arid climate in North China. *Journal of Arid Environments*, 72(8), 1476–1489. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196308000372>
33. Twohy, C. H., Kreidenweis, S. M., Eidhammer, T., Browell, E. V., Heymsfield, A. J., Bansemer, A. R., Anderson, B. E., Chen, G., Ismail, S., DeMott, P. J. and Van den Heever, S. C. (2009). Saharan dust particles nucleate droplets in eastern Atlantic clouds. *Geophysical Research Letters*, 36, L01807. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2008GL035846/epdf>
34. UNEP, WMO and UNCCD (2016). *Global Assessment of Sand and Dust Storms*. United Nations Environment Programme, Nairobi. https://onlive.unep.org/media/docs/assessments/global_assessment_of_sand_and_dust_storms.pdf
35. Xu, J. (2011). China's new forests aren't as green as they seem: impressive reports of increased forest cover mask a focus on non-native tree crops that could damage the ecosystem. *Nature*, 477(7365), 371–372. <http://www.nature.com/news/2011/110921/full/477371a.html>
36. Ouyang, Z., Zheng, H., Xiao, Y., Polasky, S., Liu, J., Xu, W., Wang, Q., Zhang, L., Xiao, Y., Rao, E. and Jiang, L. (2016). Improvements in ecosystem services from investments in natural capital. *Science*, 352(6292), 1455–1459. http://csis.msu.edu/sites/csis.msu.edu/files/Ecosystems_China_2016.pdf
37. Tan, M. and Li, X. (2015). Does the Green Great Wall effectively decrease dust storm intensity in China? A study based on NOAA NDVI and weather station data. *Land Use Policy*, 43, 42–47. https://www.researchgate.net/publication/268692474_Does_the_Green_Great_Wall_effectively_decrease_dust_storm_intensity_in_China_A_study_based_on_NOAA_NDVI_and_weather_station_data
38. Viña, A., McConnell, W.J., Yang, H., Xu, Z. and Liu, J. (2016). Effects of conservation policy on China's forest recovery. *Science advances*, 2(3), e1500965. <http://advances.sciencemag.org/content/2/3/e1500965.full>
39. UNEP (2015). Review of the Kubuqi Ecological Restoration Project: A Desert Green Economy Pilot Initiative. United Nations Environment Programme, Nairobi. http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/8652/-Review_of_the_Kubuqi_Ecological_Restoration_Project_A_Desert_Green_Economy_Pilot_Initiative-2015Review_of_the_Kubuqi_Ecological_Restoration_Project..pdf?sequence=2&isAllowed=y

40. UNCCD (2017). Great Green Wall. United Nations Convention to Combat Desertification Secretariat, Bonn. <http://www.greatgreenwall.org/great-green-wall/>
41. Sacande, M. and Berrahmouni, N. (2016). Community participation and ecological criteria for selecting species and restoring natural capital with native species in the Sahel. *Restoration Ecology*, 24(4), 479-488. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/rec.12337/abstract>
42. UNCCD (2005). *A Master Plan for Regional Cooperation for the Prevention and Control of Dust and Sandstorms*. The Regional Master Plan for the Prevention and Control of Dust and Sandstorms in North East Asia Volume 1. United Nations Convention to Combat Desertification Secretariat, Bonn. http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/Publications/dustsandstorms_northeastasia.pdf
43. WMO (2015). *Sand and Dust Storm Warning Advisory and Assessment System (SDS-WAS): Science and Implementation Plan 2015-2020*. World Weather Research Programme Report 2015-5. World Meteorological Organization, Geneva. https://www.wmo.int/pages/prog/arep/wwrp/new/documents/Final_WWRP_2015_5_SDS_IP.pdf
44. WMO (2017). Sand and Dust Storm Warnings website. World Meteorological Organization, Geneva. <https://public.wmo.int/en/ourmandate/focus-areas/environment/sand-and-dust-storm/sand-and-dust-storm-warnings>
45. WOCAT SLM (2017). The Global Database on Sustainable Land Management of the World Overview of Conservation Approaches and Technologies website. University of Bern, Berne. <https://qcat.wocat.net/en/wocat/>
46. FAO (2016). AQUASTAT website. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/index.stm
47. 2030 WRG (2015). The 2030 Water Resources Group website. <https://www.waterscarcitysolutions.org/#>

Referencias bibliográficas de los gráficos

48. WHO (2006). *WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide - Global update 2005*. Summary of risk assessment. World Health Organization, Geneva. http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69477/1/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf
49. Financial Tribune (2017). Dust Storms Slam Khuzestan Again. *Financial Tribune*, 29 January 2017. <https://financialtribune.com/articles/environment/58374/dust-storms-slam-khuzestan-again>
50. Tozer, P. and Leys, J. (2013). Dust storms - what do they really cost? *The Rangeland Journal*, 35, 131-142. <http://www.publish.csiro.au/rj/pdf/RJ12085>



51. Jugder, D., Shinoda, M., Sugimoto, N., Matsui, I., Nishikawa, M., Park, S-U., Chun, Y-S. and Park, M-S. (2011). Spatial and temporal variations of dust concentrations in the Gobi Desert of Mongolia. *Global and Planetary Change*, 78, 14-22. https://www.researchgate.net/publication/241100103_Spatial_and_temporal_variations_of_dust_concentrations_in_the_Gobi_Desert_of_Mongolia
52. Miri, A., Ahmadi, H., Ekhtesasi, M.R., Panjehkeh, N. and Ghanbari, A. (2009). Environmental and socio-economic impacts of dust storms in Sistan Region, Iran. *International Journal of Environmental Studies*, 66, 343-355. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207230902720170?journalCode=genv20>

Un penacho de polvo se dirige desde el oeste de África hacia la cuenca del Amazonas y el golfo de México, 25 de junio de 2014. Al menos 40 millones de toneladas de polvo sahariano alcanzan la cuenca del Amazonas cada año. 

Fotografía: Norman Kuring/Grupo OceanColor de la NASA

