

# Compendio sobre las Tormentas de Arena y Polvo

Resumen para los responsables  
de la adopción de decisiones



**Naciones Unidas**  
Convención de Lucha contra  
la Desertificación



**Naciones Unidas**  
Convención de Lucha contra  
la Desertificación

La Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CLD) es un acuerdo internacional sobre la buena gestión de la tierra. Al garantizar que los usuarios de las tierras disponen de un entorno propicio para su gestión sostenible, ayuda a las personas, a las comunidades y a los países a generar riqueza, lograr el crecimiento económico y obtener suficientes alimentos, agua limpia y energía. Mediante alianzas, los 197 Estados parte de la Convención establecen sistemas sólidos para gestionar la sequía con diligencia y eficacia. Una buena gestión de la tierra basada en la ciencia y en políticas firmes ayuda a integrar y acelerar la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), genera resiliencia al cambio climático y evita la pérdida de diversidad biológica.

Este *Compendio sobre las Tormentas de Arena y Polvo: Resumen para los responsables de la adopción de decisiones*, preparado y editado conjuntamente por Utchang Kang y Charles Kelly, es un extracto de la versión íntegra del *Compendio sobre las Tormentas de Arena y Polvo: información y orientación sobre la manera de evaluar los riesgos que plantean las tormentas de arena y polvo y cómo hacerles frente*.

El *Compendio sobre las Tormentas de Arena y Polvo* es el resultado de un esfuerzo conjunto dirigido por la Secretaría de la CLD en colaboración con la Interfaz Ciencia-Política (ICP) de la CLD, la Organización Meteorológica Mundial (OMM), la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), ONU-Mujeres, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR) y expertos y asociados externos.

## Colaboradores



**National Forestry and  
Grassland Administration  
of P.R.China**



Sara Basart (Centro Nacional de Supercomputación) revisó la traducción en español del present documento.

Diseño gráfico: Strategic Agenda  
Maquetación y diseño: Strategic Agenda

Todos los derechos reservados. © Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación, 2022  
© Mapas, fotografías e ilustraciones según lo especificado.

Publicado en 2022 por la CLD, Bonn (Alemania). Secretaría de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CLD), Platz der Vereinten Nationen, 53113 Bonn (Alemania),  
Tel.: +49-228 / 815-2800, Fax: +49-228 / 815-2898/99, [www.unccd.int](http://www.unccd.int), [secretariat@unccd.int](mailto:secretariat@unccd.int).

Cómo citar este documento: Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CLD). 2022. *Compendio sobre las Tormentas de Arena y Polvo: Resumen para los responsables de la adopción de decisiones*. Bonn (Alemania).

# **Compendio sobre las Tormentas de Arena y Polvo**

Resumen para los responsables  
de la adopción de decisiones

# Descargos de responsabilidad

Las denominaciones empleadas y la presentación del material incluido en este producto de información no conllevan la expresión de opinión alguna por parte de la CLD sobre la condición jurídica o de desarrollo de ningún país, territorio, ciudad o región, o de sus autoridades, ni sobre la delimitación de sus fronteras o límites. La mención de determinadas empresas o de productos de fabricantes, estén o no patentados, no implica que hayan sido aprobados o recomendados por la CLD con preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan. Las opiniones expresadas en este material de información son las de sus autores o colaboradores y no reflejan necesariamente las opiniones o políticas de la CLD o las de las respectivas organizaciones afiliadas a las que pertenecen los autores o colaboradores.

La CLD promueve el uso, la reproducción y la difusión del material contenido en este producto de información. Salvo que se especifique lo contrario, este material se puede copiar, descargar e imprimir únicamente con fines pedagógicos, de estudio privado e investigación, o para su uso en productos o servicios de carácter no comercial, siempre que se reconozca debidamente a la CLD como fuente y titular de los derechos de autor, y que ello no implique en modo alguno que la CLD aprueba las opiniones, productos o servicios de los usuarios. La CLD agradecería recibir una copia de cualquier publicación que utilice este documento como fuente.

No se podrá utilizar la presente publicación para su reventa ni con cualquier otro fin comercial sin la autorización previa por escrito de la CLD. Las solicitudes de autorización a tal efecto, acompañadas de una declaración del propósito y la extensión de la reproducción, deben dirigirse al Secretario Ejecutivo de la CLD, UN Campus Platz der Vereinten Nationen 1, 53113 Bonn (Alemania).

Los valores monetarios citados en este documento no se han ajustado teniendo en cuenta la inflación o deflación a los valores de 2020, salvo que se indique lo contrario.

Impreso en papel FSC.

Foto de la portada: Imagen del Observatorio de la Tierra de la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA), tomada por Joshua Stevens, utilizando datos de Espectrómetro de Formación de Imágenes de Resolución Moderada (MODIS) de la capacidad en tiempo casi real en la tierra y la atmósfera (LANCE, por sus siglas en inglés) del Sistema de Información de Datos del Sistema de Observación de la Tierra (EOSDIS, por sus siglas en inglés) y los servicios de búsqueda de imágenes globales (GIBS, por sus siglas en inglés) de la aplicación Worldview de la NASA.

ISBN: 978-92-95118-10-2 (copia impresa)  
ISBN: 978-92-95118-11-9 (copia electrónica)

# Índice

1 – Introducción.....	1
2 – La naturaleza de las tormentas de arena y polvo.....	5
3 – Comprensión de las tormentas de arena y polvo como un riesgo de desastres.....	7
4 – Género y reducción del riesgo de desastres .....	9
5 – Marco de evaluación del riesgo de tormentas de arena y polvo.....	11
6 – Evaluación y cartografía de la vulnerabilidad a las tormentas de arena y polvo sobre la base de un sistema de información geográfica.....	13
7 – Marco de evaluación de las repercusiones económicas de las tormentas de arena y polvo .....	15
8 – Las tormentas de arena y polvo y la salud .....	19
9 – Cartografía de las fuentes de tormentas de arena y polvo .....	20
10 – Observación, vigilancia y modelización de las tormentas de arena y polvo.....	20
11 – Predicción de las tormentas de arena y polvo.....	26
12 – Alerta temprana de las tormentas de arena y polvo .....	26
13 – Gestión de las fuentes de las tormentas de arena y polvo y mitigación de sus efectos.....	30
14 – Preparación y mitigación de los efectos de las tormentas de arena y polvo.....	34
15 – Referencias.....	36





# Mensajes clave

## Desafíos de las tormentas de arena y polvo

**Las tormentas de arena y polvo reciben muchos nombres dependiendo del lugar, entre otros, *sirocco, haboob, polvo amarillo, tormentas blancas o harmattan*. Se trata de un fenómeno natural estacional y habitual en ciertas regiones que se ve agravado por la mala gestión de la tierra y del agua, las sequías y el cambio climático.** La combinación de vientos fuertes y partículas de polvo mineral en suspensión en el aire puede tener graves consecuencias para la salud humana y las sociedades. Las fluctuaciones de intensidad, magnitud o duración de estas tormentas pueden hacer de ellas un fenómeno impredecible y peligroso.

**En algunas regiones, la frecuencia de las tormentas de arena y polvo ha aumentado considerablemente en los últimos años. Se cree que el cambio climático antropogénico, la desertificación, la degradación de las tierras y la sequía juegan un papel en todo ello.** Si bien estas tormentas pueden fertilizar los ecosistemas terrestres y marinos, también presentan toda una serie de peligros para la salud humana, los medios de vida y el medio ambiente. Los efectos se observan tanto en las regiones áridas donde se originan como en las zonas remotas afectadas directa e indirectamente por la deposición de polvo en la superficie. Los peligros asociados a las tormentas de arena y polvo suponen un reto considerable para lograr el desarrollo sostenible.

**Las tormentas de arena y polvo no suelen provocar daños físicos graves ni catastróficos. No obstante, la acumulación de efectos puede ser significativa.** En las zonas donde se originan, estos fenómenos dañan los cultivos, acaban con el ganado y destruyen la capa superior del suelo. En las zonas de deposición, el polvo atmosférico, especialmente cuando se junta con la contaminación industrial local, puede provocar o agravar algunos problemas de salud humana como las enfermedades respiratorias. Las comunicaciones, la producción de energía, el transporte y las cadenas de suministro también pueden verse interrumpidas por la baja visibilidad y los fallos mecánicos ocasionados por el polvo.

**Las tormentas de arena y polvo no son un fenómeno nuevo. De hecho, algunas regiones del mundo llevan mucho tiempo expuestas a sus peligros.** Suelen originarse en zonas áridas y subhúmedas de latitudes bajas, donde la cubierta vegetal es escasa o inexistente. También pueden presentarse en otros entornos, como en zonas agrícolas y en latitudes altas de regiones húmedas, donde confluyen determinadas condiciones atmosféricas y de viento.

**Las tormentas de arena y polvo pueden tener efectos transfronterizos importantes a lo largo de miles de kilómetros.** Se necesitan respuestas políticas unificadas y coherentes a nivel mundial y regional, especialmente centradas en la mitigación de las fuentes, los sistemas de alerta temprana y la vigilancia.

**Los efectos de las tormentas de polvo y arena son multidimensionales, intersectoriales y transnacionales y afectan directamente a 11 de los 17 ODS. Sin embargo, el reconocimiento en el ámbito mundial de este fenómeno como un peligro es generalmente escaso.** La complejidad y el efecto acumulativo estacional de estas tormentas, además de la escasez de datos, son factores que contribuyen a ello. La falta de información y de evaluaciones de estos efectos dificulta la adopción de decisiones y la planificación eficaces para abordar en la práctica las fuentes y las repercusiones de este fenómeno.





## 1 – Introducción

Las tormentas de arena y polvo son peligros naturales de tipo meteorológico e hidrológico que afectan prácticamente a todos los sectores de la sociedad y al medio ambiente (Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres y Consejo Internacional de Ciencias, 2020). Se estima que todos los años entran en la atmósfera unos 2.000 millones de toneladas de arena y polvo. La mayor parte de la arena y el polvo generados se debe a causas naturales, aunque las actividades humanas, concretamente las prácticas no sostenibles de gestión de las tierras y de uso del agua, contribuyen significativamente a estas tormentas.

Las tormentas de arena y polvo repercuten en la meteorología, el ciclo de nutrientes y la productividad de la biomasa a nivel local y mundial, si bien algunos de sus efectos se consideran positivos. También pueden afectar negativamente a la calidad del aire y del agua, la higiene y el saneamiento, la salud humana y la sanidad animal, el transporte, la educación, la agricultura y el comercio y la industria.

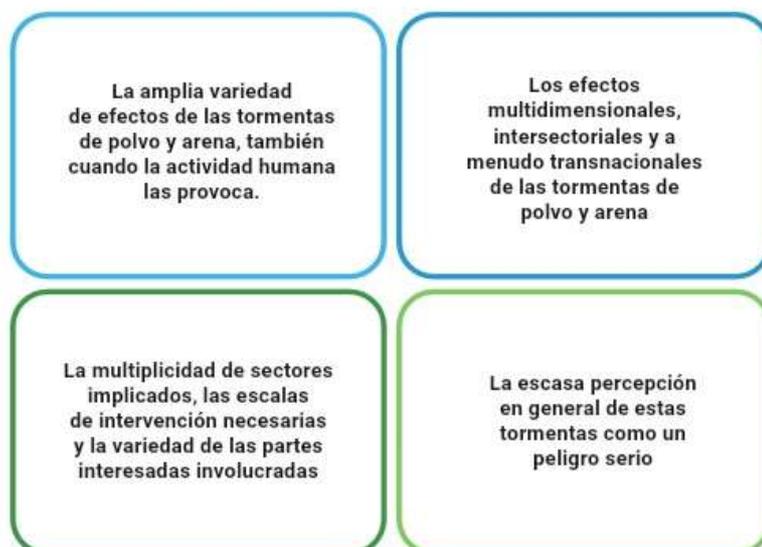
Las tormentas de arena y polvo suelen tener importantes repercusiones económicas. Se estima, por ejemplo, que el costo anual que suponen para el sector petrolero de Kuwait es de unos 190 millones de dólares de los Estados Unidos. Por otro lado, se calcula que, en 2009, una única tormenta de arena y polvo en Australia causó daños por un valor de entre 229 y 243 millones de dólares de los Estados Unidos.

Las tormentas de arena y polvo afectan a todo el mundo —hombres, mujeres, niños y niñas—, pero no a todos por igual. Las diferencias obedecen a los papeles asignados por razón de género que se desempeñan en las esferas productiva, económica, familiar y social. Estos fenómenos, además, pueden poner en peligro la vida de las personas con problemas de salud.

Hacer frente a los efectos negativos de las tormentas de arena y polvo plantea varios desafíos (**Figura 1**):

- la amplia variedad de efectos de estas tormentas, también cuando la actividad humana las provoca;
- sus efectos multidimensionales, intersectoriales y a menudo transnacionales, que exigen enfoques a su vez intersectoriales, multidisciplinarios y transnacionales además de la cooperación entre las partes interesadas en todos los niveles;
- la multiplicidad de sectores implicados, las escalas de intervención necesarias y la variedad de las partes interesadas involucradas, lo que hace que el intercambio eficaz de información sobre las tormentas de arena y polvo sea fundamental para gestionarlas con éxito;
- la escasa percepción en general de estas tormentas como un peligro serio y la insuficiencia de datos sólidos sobre sus efectos, lo que favorece que estos fenómenos susciten una atención limitada en el marco de las principales iniciativas de gestión del riesgo de desastres.

**Figura 1.**  
Desafíos para hacer frente a los efectos negativos de las tormentas de arena y polvo



El presente compendio reúne información y orientaciones procedentes de una amplia gama de fuentes para que los usuarios puedan: 1) definir el alcance de los efectos de las tormentas de arena y polvo, y 2) establecer planes para hacer frente a esos efectos. El documento está destinado principalmente a los funcionarios de las administraciones locales, subnacionales y nacionales y a los responsables de la gestión de emergencias, la asistencia sanitaria, la gestión de los recursos naturales, la agricultura, la ganadería, la silvicultura y el transporte (incluido el aéreo), así como a partes interesadas de las comunidades y de la sociedad civil. El Compendio será especialmente útil para los responsables de la toma de decisiones y otras partes interesadas, puesto que les ayudará a definir las políticas y los enfoques que pueden adoptarse para

mitigar los efectos y las fuentes de las tormentas de arena y polvo.

La finalidad del Compendio es apoyar la aplicación del **Marco de Promoción de Políticas para Luchar contra las Tormentas de Arena y Polvo de la CLD** (Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación, 2017). Este Marco tiene por objetivo reducir la vulnerabilidad a las tormentas de arena y polvo haciendo hincapié en: 1) la gestión de las crisis después del impacto (procedimientos de respuesta de emergencia); 2) la gobernanza antes del impacto para reforzar la resiliencia, disminuir la vulnerabilidad y reducir al mínimo los efectos (mitigación), y 3) los planes y políticas de preparación, incluidas la vigilancia, la predicción y la alerta temprana (**Figura 2**).



**Figura 2.** Marco de Promoción de Políticas para Luchar contra las Tormentas de Arena y Polvo: objetivo y ámbitos de actuación

La utilización del Compendio para hacer frente a las tormentas de arena y polvo contribuirá al logro de ocho ODS, en concreto los ODS 1, 2, 3, 6, 11, 13, 15 y 17 (**Figura 3**). El Compendio también brinda apoyo al Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres, ya que:

eficaz mediante el fortalecimiento de la capacidad de predicción, alerta temprana, preparación y respuesta a las tormentas de arena y polvo (prioridad 4 de Sendai).

- mejora la comprensión del riesgo de tormentas de arena y polvo (prioridad 1 de Sendai);
- refuerza la gobernanza del riesgo de tormentas de arena y polvo (prioridad 2 de Sendai) y
- aumenta los conocimientos sobre las medidas de prevención y las opciones de mitigación de los efectos;
- mejora la preparación ante los desastres para dar una respuesta

### Figura 3. Vínculos entre las tormentas de arena y polvo y los ODS



Reducir la contaminación atmosférica causada por las tormentas de arena y polvo puede contribuir a que las familias gocen de mejor salud, ahorren en gastos médicos y mejoren su productividad.



Las tormentas de arena y polvo pueden dañar los cultivos, lo que tiene un impacto negativo en la calidad y cantidad de los alimentos y en la seguridad alimentaria. Reducir la desertificación y la degradación de las tierras (incluida la erosión del suelo) en las zonas de emisión contribuirá a mejorar la productividad agrícola.



La contaminación del aire causada por las tormentas de arena y polvo supone una grave amenaza para la salud humana. Numerosos estudios relacionan la exposición al polvo con un aumento de la mortalidad y las hospitalizaciones por enfermedades respiratorias y cardiovasculares.



Las deposiciones de polvo pueden comprometer la calidad del agua, ya que el polvo del desierto suele estar contaminado por microorganismos, sales o contaminantes antropogénicos.



La mitigación de los desastres causados por las tormentas de arena y polvo reducirá considerablemente el número de personas afectadas y las pérdidas económicas sufridas, contribuyendo así a que los asentamientos humanos sean más seguros, sostenibles y resilientes a los desastres.



Mejorar el uso y la gestión del suelo y el agua en las zonas de emisión de las tormentas de arena y polvo contribuye a crear paisajes y comunidades resilientes al cambio climático.



Reducir la erosión eólica en las zonas de emisión de las tormentas de arena y polvo contribuye a la neutralización de la degradación de las tierras, mejorando así el uso sostenible de los ecosistemas terrestres.

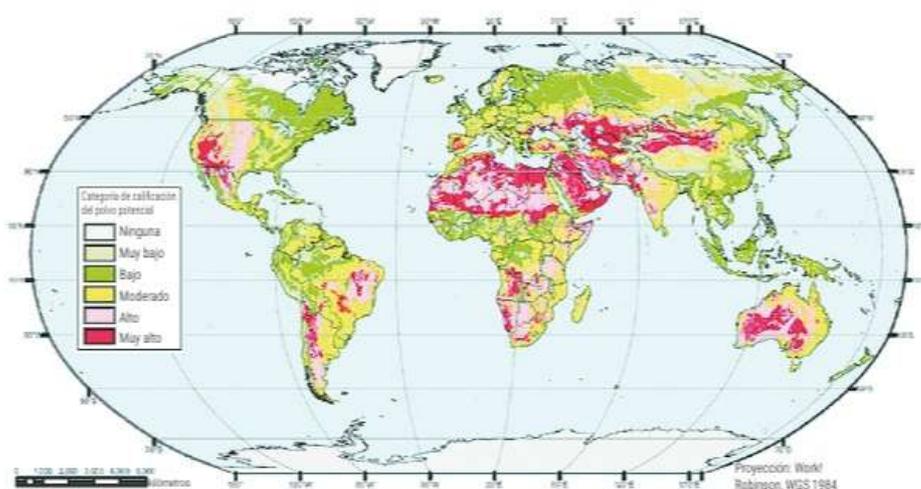


Las actividades relacionadas con las tormentas de arena y polvo pueden ser parte de los esfuerzos para reforzar los medios de aplicación y revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible.

Fuente: Adaptado de <https://sdgs.un.org/es/goals>.

Este Compendio es el resultado de un esfuerzo conjunto dirigido por la Secretaría de la CLD, en colaboración con la ICP de la CLD, la OMM, la OMS, el PNUMA, la UNDRR, ONU-Mujeres, la FAO y asociados externos.

Sobre la base de las aportaciones de diversos autores y colaboradores, este recurso pretende ofrecer información actualizada de todos los sectores y disciplinas. Ciertamente, como en todo buen trabajo de investigación u obra científica, hay margen para profundizar y mejorarlo a medida que se disponga de más pruebas, datos, estudios de caso y mejores prácticas.



**Figura 4.**  
**Zonas de emisión**  
**de tormentas de**  
**arena y polvo a**  
**nivel mundial**

Fuente: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Organización Meteorológica Mundial y Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación, 2016.

## 2 – La naturaleza de las tormentas de arena y polvo

Las tormentas de arena y polvo están compuestas por polvo mineral arrastrado a la atmósfera desde la superficie terrestre por un proceso mecánico en el que interviene el viento. En general, el polvo mineral se considera natural cuando procede de regiones áridas y semiáridas caracterizadas por una vegetación escasa y, antropogénico, cuando las actividades humanas son la causa directa de su emisión.

Las principales fuentes mundiales de polvo mineral se encuentran en el hemisferio norte, en una zona que comprende el Norte de África, Oriente Medio y Asia Oriental. En el hemisferio sur, las fuentes de polvo son menos extensas y se localizan principalmente en Australia, América del Sur y África Meridional (Figura 4). A nivel mundial, las principales regiones con grandes fuentes de polvo son aquellas que albergan lagos secos, aunque pueden encontrarse fuentes locales de polvo en cualquier lugar donde los suelos puedan ser levantados por la acción del viento,

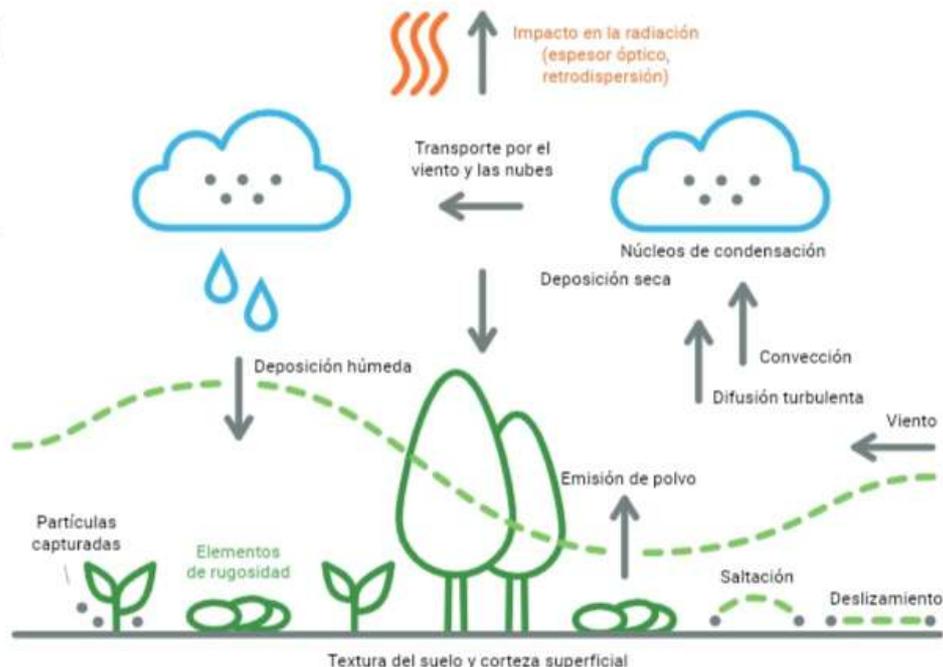
por ejemplo, en las llanuras glaciares, las zonas cubiertas de ceniza volcánica o los campos recién arados.

La facilidad con la que la arena o el polvo pasan a la atmósfera depende de aspectos como la humedad y la textura del suelo, la existencia o no de corteza superficial, los elementos de rugosidad, la vegetación o la velocidad del viento. Las condiciones que propician la emisión de polvo en un lugar determinado pueden cambiar en distintos momentos del año, e incluso variar considerablemente de un año a otro.

Las tormentas de arena y polvo conllevan la emisión, el transporte y el depósito de polvo en una amplia gama de escalas espaciales y temporales (Figura 5). La liberación de arena y polvo a la atmósfera se produce mediante:

- el bombardeo por saltación de partículas de entre 60  $\mu\text{m}$  y 2 mm;
- el arrastre aerodinámico o la suspensión de partículas más finas que 60  $\mu\text{m}$ ;
- la desintegración agregada de partículas rodantes de más de 2 mm.

**Figura 5.**  
Resumen  
de los procesos  
de tormentas  
de arena y  
polvo

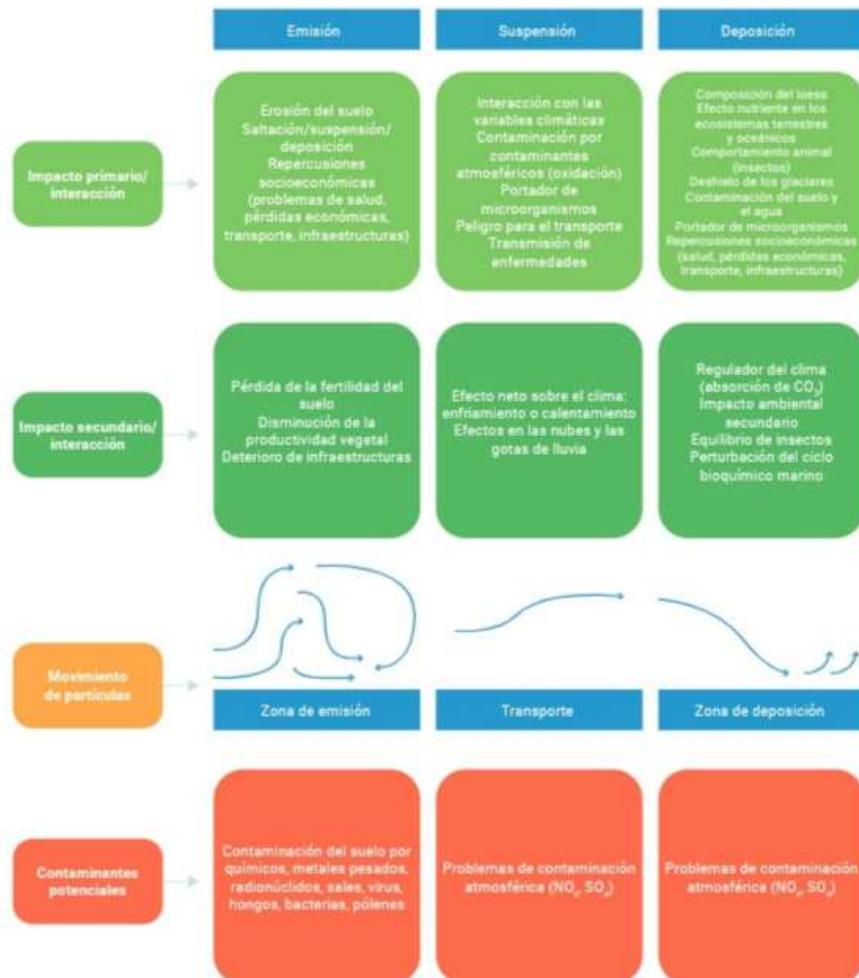


Fuente: Lu y Shao, 2001.

Las partículas finas de polvo se elevan por difusión y convección turbulenta hacia las capas más altas de la troposfera (que se eleva varios kilómetros de altura en la atmósfera), donde los vientos pueden transportarlas a largas distancias. El tiempo de residencia de las partículas de polvo en la troposfera depende de su tamaño: por lo general, las más pequeñas tardan más que las grandes en volver a depositarse en la superficie del suelo.

Existen seis tipos de condiciones que pueden desencadenar una tormenta de arena y polvo, en la que el viento levante el polvo mineral existente:

1. las grandes corrientes de aire (por ejemplo, el *harmattan*, asociado a una zona de alta presión del Sáhara);
2. los sistemas meteorológicos de escala sinóptica, como son los ciclones, los anticiclones y sus frentes fríos, que pueden provocar episodios puntuales de polvo de gran magnitud e intensidad;
3. la convección húmeda, que da lugar a tormentas de polvo convectivas de mesoescala, a menudo denominadas *haboob*;
4. la convección seca de microescala, que se produce en la capa límite planetaria en condiciones diurnas sobre los desiertos, creando una circulación turbulenta que genera remolinos de viento y penachos de polvo;
5. los efectos topográficos, como las depresiones en las cadenas montañosas, que pueden canalizar el viento y provocar tormentas de arena y polvo localizadas; y
6. los ciclos diurnos, que pueden desplazar el polvo mediante el desarrollo y la subsiguiente desintegración de corrientes en chorro nocturnas a baja altura.



**Figura 6.** Resumen de la interacción del polvo con los factores medioambientales

### 3 – Comprensión de las tormentas de arena y polvo como un riesgo de desastres

El reconocimiento de las tormentas de arena y polvo como un riesgo de desastres parece bastante elevado en Asia Nororiental, partes de Asia Occidental y América del Norte, pero es menor en el resto del mundo. Su escaso reconocimiento como un riesgo de desastres obedece probablemente a que, en muchos casos, los episodios concretos de tormentas de arena y polvo no provocan lesiones ni pérdidas humanas directas e inmediatas de consideración y, también, a que la información documentada disponible sobre sus efectos a largo plazo en la salud, la economía y otros ámbitos es escasa.

Gestionar el riesgo de desastres que plantean las tormentas de arena y polvo exige: 1) determinar la naturaleza física del peligro y la variabilidad de los factores físicos en espacio y tiempo; 2) evaluar la vulnerabilidad social y los niveles de riesgo asociados al peligro; 3) diseñar y aplicar medidas de preparación, respuesta y recuperación y, sobre todo, medidas para reducir de manera proactiva el riesgo de tormentas de arena y polvo; y 4) vigilar los efectos y las intervenciones de mitigación de estas tormentas.

Se trata de un proceso intersectorial que exige intervenciones a corto y largo plazo, supone la participación de múltiples partes interesadas e implica un mayor grado de conciencia por parte de las poblaciones afectadas de que las tormentas de arena y polvo son un peligro y un riesgo de desastres.

Como peligro natural, las tormentas de arena y polvo se producen por una combinación de determinadas condiciones meteorológicas, la presencia geofísica de polvo y arena minerales y la existencia de formas geográficas específicas. Para definir y afrontar el riesgo que plantean, es esencial comprender de qué manera se combinan —a menudo con otros factores— la velocidad precisa del viento y las partículas de arena y polvo del tamaño justo sobre las formas geográficas adecuadas para generar las tormentas de arena y polvo.

Partiendo del **Marco de Promoción de Políticas para Luchar contra las Tormentas de Arena y Polvo de la CLD**, las medidas para reducir los daños causados por estas tormentas se dividen en dos categorías: mitigación de las fuentes y mitigación de los efectos. En conjunto, las actividades de mitigación de las fuentes y de los efectos ofrecen un enfoque integral para gestionar los riesgos potenciales de desastres que plantean las tormentas de arena y polvo a escala local y mundial, como se muestra en la **figura 7**.

**Figura 7.**  
Un doble enfoque de la mitigación del riesgo de tormentas de arena y polvo para la reducción del riesgo de desastres



Fuente: Adaptado de Middleton y Kang, 2017.

Habida cuenta de la diversidad espacial y temporal del fenómeno de las tormentas de arena y polvo, el manejo de sus efectos y sus fuentes requiere un enfoque intersectorial unificado y coordinado. Como se resume en la **figura 8**, este enfoque incluye tres grupos principales de actores:

- los organismos, instituciones y autoridades responsables de definir las políticas de gestión del riesgo de tormentas de arena y polvo y de poner en práctica planes de reducción de riesgos, preparación, alerta y respuesta;
- la comunidad académica y de investigación científica;
- las comunidades en situación de riesgo afectadas por las tormentas de arena y polvo, a las que se debe capacitar de forma directa para reducir los riesgos asociados a esas tormentas. En este grupo se incluye al sector privado, que puede participar en diversos enfoques, tecnologías y acciones para reducir los efectos de las tormentas de arena y polvo.

El proceso, como se indica en la **figura 8**, es iterativo y supone un intercambio constante entre los tres grupos para tratar de encontrar las mejores políticas y iniciativas para reducir los efectos de las tormentas de arena y polvo. Este proceso también tiene en cuenta las cuestiones de género, al reconocer que el fenómeno no afecta por igual a hombres, mujeres, niños y niñas y que estos deben enfrentarse de forma distinta a la reducción de sus efectos según sus funciones y las expectativas sociales o culturales. Los niños pequeños y las personas mayores, así como las personas con problemas de salud, reciben una atención similar al sufrir más los efectos de las tormentas de arena y polvo que la población general.



**Figura 8. Marco de coordinación y cooperación para la gestión del riesgo de tormentas de arena y polvo**

## 4 — Género y reducción del riesgo de desastres

El Marco de Sendái para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030 establece lo siguiente: "La participación de las mujeres es fundamental para gestionar eficazmente el riesgo de desastres, así como para diseñar, dotar de recursos y poner en práctica políticas, planes y programas de reducción del riesgo de desastres con perspectiva de género; es necesario que se adopten medidas de creación de capacidad con el fin de empoderar a las mujeres para la preparación ante los desastres y desarrollar su capacidad para asegurar medios alternativos de vida en situaciones posteriores a los desastres" (Naciones Unidas, 2015a, párrafo 36 a i)).

Los efectos relacionados con los desastres afectan de forma diferente a mujeres, niñas, niños y hombres. Las desigualdades de género pueden reducir la influencia y el control de las mujeres y las niñas sobre las decisiones que rigen sus vidas, así como su acceso a recursos como las finanzas, los alimentos, los insumos agrícolas, la tierra y la propiedad, la tecnología, la educación, la salud, la vivienda segura y el empleo. Además, las expectativas sociales en torno a las funciones según el género y los factores económicos que hacen que las mujeres y las niñas tengan una participación limitada en la adopción de decisiones y en la educación, a lo que se suma su acceso limitado a la financiación y a la información, pueden exponerlas a una mayor vulnerabilidad a las tormentas de arena y polvo en comparación con los hombres y los niños.

A pesar de los avances en el desarrollo de medidas de reducción del riesgo de desastres que tengan en cuenta las cuestiones de género, los planes y estrategias de preparación ante desastres, las evaluaciones de la vulnerabilidad y el riesgo y los sistemas de alerta temprana rara vez incorporan una perspectiva de género (Naciones Unidas, 2015b). El resultado es que muchas instituciones y organizaciones, tanto nacionales como locales, que trabajan en la reducción del riesgo de desastres no involucran a mujeres, niñas, niños y hombres por igual.

En consecuencia:

- no se reconocen los efectos del peligro sobre las mujeres y las niñas, ni el correspondiente riesgo de desastre al que se enfrentan;
- no se tienen en cuenta las necesidades y capacidades de las mujeres y las niñas en la planificación, la reducción de riesgos, la respuesta de emergencia y las actividades de recuperación.

Estos resultados perpetúan los estereotipos de género y conducen a una mayor vulnerabilidad de las mujeres y las niñas. Teniendo en cuenta que estas representan aproximadamente la mitad de la población, los planes de reducción de riesgos y de respuesta que no tienen en cuenta las cuestiones de género son, en el mejor de los casos, parcialmente eficaces.

Las leyes y los acuerdos internacionales ponen la igualdad de género en el centro de la reducción del riesgo de desastres y del aumento de la resiliencia. A nivel normativo, la comunidad internacional se ha comprometido a poner el acento en la igualdad de género y los derechos de las mujeres en la reducción del riesgo de desastres. Estos compromisos se sustentan en la **Convención sobre la Eliminación de Todas las Formas de Discriminación contra la Mujer**<sup>1</sup>, la **Declaración y Plataforma de Acción de Beijing**<sup>2</sup>, las resoluciones sobre la igualdad de género y el empoderamiento de la mujer en los desastres naturales de la Comisión de la Condición Jurídica y Social de la Mujer y otros acuerdos internacionales<sup>3</sup>.

1 Convención sobre la Eliminación de Todas las Formas de Discriminación contra la Mujer, <http://www.un.org/womenwatch/daw/cedaw/cedaw.htm>.

2 Declaración y Plataforma de Acción de Beijing, <https://www.un.org/womenwatch/daw/beijing/pdf/BDPfA%20S.pdf>.

3 Por ejemplo: Marco de Acción de Hyogo para 2005-2015. Aumento de la Resiliencia de las Naciones y las Comunidades ante los Desastres, <https://www.unisdr.org/we/inform/publications/1037>; Resolución 56/2 y Resolución 58/2 sobre igualdad entre los géneros y empoderamiento de la mujer en los desastres naturales de la Comisión de la Condición Jurídica y Social de la Mujer, [http://www.un.org/ga/search/view\\_doc.asp?symbol=E/2012/27&Lang=S](http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=E/2012/27&Lang=S), [http://www.un.org/ga/search/view\\_doc.asp?symbol=E/2014/27&Lang=S](http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=E/2014/27&Lang=S).

El **Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030** destaca la importancia de involucrar a las mujeres en el desarrollo de la resiliencia ante los desastres (Naciones Unidas, 2015a). Además, la participación de las mujeres y las niñas en el desarrollo de la resiliencia de las comunidades es fundamental para lograr los ODS, en particular el **ODS 5: Lograr la igualdad de género y empoderar a todas las mujeres y las niñas**. La igualdad de género y el empoderamiento de la mujer son cuestiones transversales y requisitos previos para la consecución de muchos otros ODS, como el **ODS 1: Fin de la pobreza**, el **ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles** y el **ODS 13: Acción por el clima (Figura 3)**.

Las siguientes medidas (adaptadas del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2013) son clave para garantizar un enfoque con perspectiva de género en todo el proceso de planificación de la gestión integrada del riesgo de tormentas de arena y polvo:

1. Incorporar la perspectiva de género en las iniciativas de gestión del riesgo de tormentas de arena y polvo a nivel nacional, local y comunitario, inclusive en las políticas, estrategias, planes de acción y programas.
2. Aumentar la participación y la representación de las mujeres en todos los niveles del proceso de adopción de decisiones.
3. Analizar los datos sobre las tormentas de arena y polvo y el clima desde una perspectiva de género y recopilar datos desglosados por sexo.
4. Llevar a cabo un análisis de género dentro de la definición del perfil de riesgo, documentando las diferentes funciones que desempeñan hombres y mujeres en los sectores pertinentes relativos a las tormentas de arena y polvo. Por ejemplo:
  - a. ¿De qué manera afectan las tormentas de arena y polvo a los medios de vida de las mujeres y los hombres?
  - b. ¿Cómo las diferencias de género relativas al poder de decisión y a la propiedad de activos o el acceso a estos pueden derivar en diferentes capacidades de respuesta a los peligros?
  - c. ¿Qué tipo de información tienen y necesitan las mujeres para prepararse mejor ante las tormentas de arena y polvo?
  - d. ¿Qué implicaciones tiene esto en lo que a diferencias de vulnerabilidad y de capacidad de afrontamiento respecta entre hombres y mujeres?

5. Garantizar que las mujeres ocupan un lugar destacado como agentes de cambio en todos los niveles de la preparación ante las tormentas de arena y polvo, incluidos los sistemas de alerta temprana, la educación, la comunicación, la información y las oportunidades de creación de redes.
6. Considerar la reasignación de recursos de las medidas planificadas para lograr resultados en materia de igualdad de género.
7. Adoptar medidas para reducir los efectos negativos de las tormentas de arena y polvo en las mujeres, especialmente en relación con su papel esencial en las zonas rurales para el aprovisionamiento de agua, alimentos y energía, proporcionando apoyo, servicios de salud, información y tecnología.
8. Reforzar la capacidad de los grupos nacionales y locales de mujeres y crear una plataforma adecuada donde se visibilicen sus necesidades y opiniones.
9. Incluir indicadores específicos de género y datos desglosados por sexo y edad para supervisar y hacer un seguimiento de los avances registrados en materia de igualdad de género.



## Recuadro 1. Conceptos y definiciones

El **género** hace referencia a las funciones, comportamientos, actividades y atributos que una sociedad determinada considera apropiados para los hombres y las mujeres en un momento concreto. Aparte de los atributos sociales y las oportunidades asociadas a ser hombre o mujer y de las relaciones entre hombres y mujeres y niñas y niños, el género también se refiere a las relaciones entre mujeres y entre hombres. Estos atributos, oportunidades y relaciones son construcciones sociales y se aprenden en los procesos de socialización. Además, son cambiantes y específicos del contexto y del tiempo. El género determina lo que se espera, se permite y se valora en una mujer o en un hombre en un contexto determinado. En la mayoría de las sociedades existen diferencias y desigualdades entre las mujeres y los hombres respecto a las responsabilidades asignadas, las actividades emprendidas, el acceso y el control de los recursos, así como las oportunidades de participación en la adopción de decisiones. El género es parte de un contexto sociocultural más amplio, al igual que otros criterios importantes para el análisis sociocultural, como la clase, la raza, el nivel de pobreza, el grupo étnico, la orientación sexual o la edad.

Fuente: ONU-Mujeres, sin fecha: ["OSAGI Gender Mainstreaming - Concepts and definitions"](#)

Por **enfoque con perspectiva de género** se entiende que en el diseño, implementación y evaluación de actividades se reconocen y abordan adecuadamente las necesidades particulares, las prioridades, las estructuras de poder, el estado y las relaciones entre hombres y mujeres. Este enfoque busca garantizar que las mujeres y los hombres tengan las mismas oportunidades de participar en una intervención y beneficiarse de ella y promueve medidas específicas para abordar las desigualdades y promover el empoderamiento de la mujer.

Fuente: Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM), 2017, ["Política sobre la Igualdad de Género"](#).

### 5 – Marco de evaluación del riesgo de tormentas de arena y polvo

Comprender el riesgo que suponen las tormentas de arena y polvo es fundamental en la gestión de la posibilidad de desastres derivados de este fenómeno. Los resultados de la evaluación del riesgo de tormentas de arena y polvo, derivados de un análisis sistemático y dotado de perspectiva de género, pueden orientar las medidas de prevención y reducción de riesgos, la preparación y la alerta, así como la respuesta y la recuperación en relación con este fenómeno.

El riesgo es la combinación de:

- un peligro de una magnitud, intensidad, extensión espacial y frecuencia (un episodio peligroso);
- la exposición directa o indirecta de la sociedad a ese episodio;
- el nivel de vulnerabilidad social y física ante dicho episodio; y

- la capacidad de hacer frente a los efectos de ese episodio específico. La capacidad se considera lo contrario, a nivel práctico, de la vulnerabilidad.

Para evaluar el riesgo pueden adoptarse varios enfoques. Las evaluaciones de riesgo deben suponer un equilibrio entre la necesidad de precisión, el costo y la obtención oportuna de resultados. El Compendio presenta dos enfoques para la evaluación de riesgos: uno basado en la realización de una encuesta a las poblaciones expuestas y el otro basado en una evaluación estructurada, realizada por expertos, de los factores que definen el riesgo de tormentas de arena y polvo. La evaluación basada en encuestas (**Figura 9A**) puede llevar unas semanas e incluso más de un mes, dependiendo del tamaño de la muestra y del número de equipos que realicen la encuesta. Dicha evaluación no deben llevarla a cabo necesariamente expertos en tormentas de arena y polvo, aunque su participación puede ser útil para comprender los resultados y definir las medidas de gestión de riesgos.

Figure 9A

**Las nueve etapas del proceso de evaluación basado en encuestas**

- Etapa 1 – Definir por qué es necesaria la evaluación
- Etapa 2 – Definir la zona de evaluación
- Etapa 3 – Recopilar datos de referencia
- Etapa 4 – Diseñar la encuesta
- Etapa 5 – Elaborar un cuestionario y planificar la encuesta sobre el terreno
- Etapa 6 – Obtener la autorización para realizar la encuesta
- Etapa 7 – Llevar a cabo la encuesta
- Etapa 8 – Analizar y presentar los datos
- Etapa 9 – Difundir y validar los resultados

Figure 9B

**Las siete etapas del proceso de evaluación basado en las contribuciones de expertos**

- Etapa 1 – Definir por qué es necesaria la evaluación
- Etapa 2 – Definir la zona de evaluación
- Etapa 3 – Diseñar el taller de evaluación
- Etapa 4 – Recopilar datos de referencia
- Etapa 5 – Intercambiar información antes de la celebración del taller
- Etapa 6 – Impartir el taller
- Etapa 7 – Documentar, difundir y validar los resultados

**Figura 9A, 9B. Etapas del proceso de evaluación basado en encuestas**

El proceso de evaluación por expertos (**Figura 9B**) implica la participación de expertos en tormentas de arena y polvo y campos conexos (por ejemplo, meteorólogos, geógrafos, sociólogos, agrónomos, expertos en desarrollo local, género, envejecimiento y discapacidad; funcionarios de salud, como médicos y especialistas en salud pública; e ingenieros a cargo de las infraestructuras afectadas por el riesgo de tormentas de arena y polvo) para desarrollar una comprensión estructurada del riesgo de estas tormentas. La evaluación realizada por expertos puede llevarse a cabo en una reunión de un solo día, con varios días adicionales para preparar la reunión y redactar un informe posterior a la misma.

Los dos enfoques contemplan la posibilidad de que no se disponga de datos detallados sobre la naturaleza del peligro de las tormentas de arena y polvo y la vulnerabilidad a esas tormentas cuando sea necesario realizar una evaluación del riesgo para valorar la situación y definir las medidas de reducción de riesgos. El Compendio incluye un cuestionario preliminar y otras recomendaciones

Ambos métodos de evaluación proporcionan resultados que permiten determinar la importancia del riesgo y pueden orientar las intervenciones para su gestión, entre otras cosas:

- Política de gestión del riesgo de tormentas de arena y polvo: utilizando una definición del riesgo basada en evidencias para proporcionar un marco a la política de reducción del riesgo de esas tormentas.
- Alerta de tormentas de arena y polvo: identificando los factores desencadenantes más pertinentes para las poblaciones en situación de riesgo.
- Respuesta a las tormentas de arena y polvo: definiendo las opciones de respuesta y dándoles mayor relieve y, con ello, determinando dónde podría ser más eficaz cada respuesta concreta para reducir los efectos de esas tormentas y formulando estrategias de respuesta y adaptación para las poblaciones en situación de riesgo.
- Reducción del riesgo: determinando los fines a los que pueden dirigirse los esfuerzos de reducción y aportando pruebas que justifiquen el costo y la naturaleza de esas medidas. Los resultados de la evaluación del riesgo de tormentas de arena y polvo también pueden utilizarse en evaluaciones y estrategias más amplias relacionadas con otros peligros, como las inundaciones o las sequías.

## Recuadro 2. Términos clave de la evaluación de riesgos

- **Desastre:** "Grave alteración del funcionamiento de una comunidad o sociedad a cualquier escala, debida a fenómenos peligrosos que interactúan con las condiciones de exposición, vulnerabilidad y capacidad, ocasionando uno o más de los siguientes efectos: pérdidas e impactos humanos, materiales, económicos y medioambientales".
- **Gestión del riesgo:** "Planes [que] establecen los objetivos y las metas específicas para reducir los riesgos de desastres, así como las acciones relacionadas para alcanzar estos objetivos".
- **(de desastres) Evaluación del riesgo:** "Enfoque cualitativo o cuantitativo para determinar la naturaleza y el alcance del riesgo de desastres mediante el análisis de las posibles amenazas y la evaluación de las condiciones existentes de exposición y vulnerabilidad que, en conjunto, podrían resultar en daños para la población y para los bienes y servicios, los medios de subsistencia y el medio ambiente de los que dependen".
- **Mitigación:** "[...] Atenuar o minimizar los efectos adversos de un fenómeno peligroso".
- **Peligro:** "Episodio [...] capaz de causar pérdida de vidas humanas, daños personales y otros efectos en la salud, daños materiales, perturbaciones sociales y económicas o degradación del medio ambiente".
- **Reducción de riesgos:** "[...] Prevención de nuevos riesgos de desastres, reducción de los que ya existen y gestión del riesgo residual, contribuyendo con ello al fortalecimiento de la resiliencia y, por tanto, al logro del desarrollo sostenible".
- **Resiliencia:** "Capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuesta a amenazas para resistir, absorber, atender, adaptarse, transformarse y recuperarse de los efectos de un fenómeno peligroso de manera oportuna y eficaz, en particular mediante la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas esenciales a través de la gestión del riesgo".
- **(de desastres) Riesgo:** "Pérdida potencial de vidas, daños personales o bienes destruidos o dañados que podría sufrir un sistema, sociedad o comunidad en un período de tiempo concreto, determinado de forma probabilística en función de la amenaza, la exposición, la vulnerabilidad y la capacidad".
- **Vulnerabilidad:** "Condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos y ambientales que aumentan la susceptibilidad de un individuo, comunidad, propiedad o sistema a los efectos de las amenazas".

Fuente: Informe del grupo de trabajo intergubernamental de expertos de composición abierta sobre los indicadores y la terminología relacionados con la reducción del riesgo de desastres: [https://www.preventionweb.net/files/50683\\_oiewgreportenglish.pdf](https://www.preventionweb.net/files/50683_oiewgreportenglish.pdf)

### 6 — Evaluación y cartografía de la vulnerabilidad a las tormentas de arena y polvo sobre la base de un sistema de información geográfica

Mapas de vulnerabilidad social pueden proporcionar una comprensión detallada de: 1) quién es vulnerable a las tormentas de arena y polvo (con un análisis por género, edad y discapacidad); 2) el grado de vulnerabilidad, y 3) las razones de esa vulnerabilidad. Estos mapas orientan a los responsables de la adopción de decisiones y la formulación de políticas sobre la gravedad y el alcance del riesgo de tormentas de arena y polvo y los colectivos más vulnerables y ofrecen información a las autoridades locales, los responsables

de las emergencias, la salud y el bienestar social, la sociedad civil y otras partes interesadas sobre los objetivos hacia los que deben dirigirse los esfuerzos de la gestión del riesgo de tormentas de arena y polvo.

La vulnerabilidad social presenta una gran variabilidad en el espacio y el tiempo, lo que puede abordarse con eficacia mediante una plataforma interactiva basada en un sistema de información geográfica (SIG). La vulnerabilidad no es una propiedad intrínseca de un sistema que pueda observarse o medirse directamente, sino que se deduce de un conjunto de variables (indicadores) que estiman la exposición, la sensibilidad y la capacidad de adaptación.

### Recuadro 3. Terminología esencial utilizada en los procesos de evaluación de la vulnerabilidad basada en un sistema de información geográfica (SIG)

- **Vulnerabilidad:** función que depende de tres componentes interactivos: 1) la exposición al cambio; 2) la sensibilidad asociada, y 3) las capacidades de adaptación relacionadas. Cuanto mayor sea la exposición o la sensibilidad, mayor será la vulnerabilidad.
- **Exposición:** la naturaleza y el grado en que los elementos de un sistema están expuestos a fenómenos peligrosos de origen natural o humano.
- **Sensibilidad:** el grado en que un sistema se modifica o se ve afectado por los estímulos de una amenaza.
- **Capacidad de adaptación:** la capacidad de hacer frente, gestionar, recuperarse y adaptarse a posibles efectos adversos. El género, la edad y el estado de salud deben tenerse en cuenta a la hora de definir la capacidad de adaptación.

Una práctica habitual para estimar la vulnerabilidad consiste en realizar medidas indirectas de sus componentes, que posteriormente se agregarán para obtener la "puntuación" general de la vulnerabilidad. Los indicadores relacionados con la salud humana, la situación socioeconómica, el medio ambiente y el ecosistema agrícola se consideran fundamentales en el proceso de evaluación de la vulnerabilidad.

Para seleccionar indicadores específicos, debe responderse a tres preguntas:

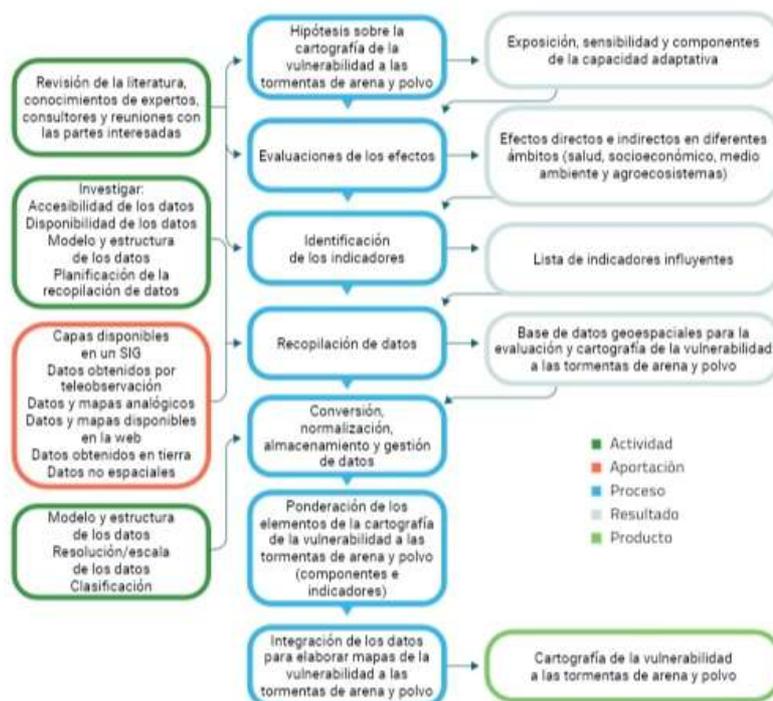
- Pregunta 1: ¿Cómo contribuyen los indicadores en cuestión (capa de datos del SIG) a la vulnerabilidad a las tormentas de arena y polvo?
- Pregunta 2: ¿A qué componente o componentes de la vulnerabilidad (exposición, sensibilidad, capacidad de adaptación) pertenece el indicador en cuestión?

- Pregunta 3: ¿A qué nivel de análisis (local, sectorial, nacional o internacional) pertenece el indicador en cuestión?

En el proceso de evaluación y elaboración de mapas deben tenerse en cuenta una serie de cuestiones técnicas, como: la conformidad de los datos en el mismo modelo y la misma estructura de datos geométricos; la conversión de los datos de fuentes no geométricas en una representación espacial; la unificación de las diversas escalas de medición de indicadores, entre otras cosas mediante reducción a una escala común y normalización; y el proceso de ponderación de datos (**Figura 10**).



**Figura 10.**  
Resumen del  
proceso de  
elaboración de  
una cartografía de  
la vulnerabilidad  
basada en un  
sistema de  
información  
geográfica (SIG)



## 7 – Marco de evaluación de las repercusiones económicas de las tormentas de arena y polvo

La medición de las repercusiones económicas de las tormentas de arena y polvo es fundamental, ya que permite al gobierno de un país determinar si los costos derivados de este fenómeno pueden reducirse a través de la inversión en proyectos de mitigación. Los gobiernos deben incluir también los costos de las tormentas de arena y polvo en los informes presentados en el marco del proceso de seguimiento de Sendái<sup>4</sup>.

Es importante recordar que la población es la principal beneficiaria de las medidas de mitigación y que la mayor parte de los costos los asumen los gobiernos o los organismos públicos. En este sentido, si bien puede haber un beneficio neto, el organismo encargado de la financiación tal vez carezca de fondos suficientes para costear el programa de mitigación.

Es posible que los proyectos de mitigación del polvo se lleven a cabo en regiones de origen situadas fuera de las fronteras del país afectado, ya que se ha demostrado que el aire puede transportar las partículas de polvo en suspensión a largas distancias. Así pues, puede haber una distancia significativa entre la región de origen

y la región afectada. En consecuencia, los países que se benefician o financian un programa de mitigación no siempre son los más afectados. No obstante, el principal criterio de decisión es que el beneficio neto del programa (la suma de los beneficios en las regiones afectadas y en las regiones de origen) supere su costo.

Hay una serie de costos que deben tenerse en cuenta a la hora de evaluar las repercusiones económicas, a saber: 1) los costos directos, es decir, los asociados al efecto inmediato de un desastre, y 2) los costos indirectos, es decir, los que recaen sobre una economía debido a la alteración de la actividad empresarial o a otros efectos similares causados por una catástrofe. Los costos de las tormentas de arena y polvo también se calculan dependiendo de si se producen *in situ* o *ex situ*.

Los **costos *in situ*** suelen asociarse a la pérdida de suelo y arena y, en consecuencia, de materia orgánica y nutrientes, como el carbono contenido en el suelo. Todo ello puede tener efectos considerables a largo plazo en la producción agrícola de las zonas de emisión. Otros costos *in situ* en las regiones de origen están asociados a los daños en las infraestructuras, como los sistemas de riego o de agua, la destrucción de vallas, la pérdida de ganado y del forraje

<sup>4</sup> Véase: <https://sendaimonitor.undrr.org/>.

para el ganado, la destrucción de cultivos por el impacto de la arena y la limpieza de las carreteras. El polvo también puede contener carbono del suelo, lo que podría tener valor para los propietarios de tierras, sobre todo si en el futuro el secuestro de carbono y los mercados de carbono se vuelven más funcionales.

Los **costos ex situ** (**recuadro 4**) dependen de muchos factores, principalmente del nivel de actividad económica de la región afectada. Entre los sectores específicos sujetos a costos *ex situ* figuran el transporte, la salud, la limpieza de los hogares, el comercio y la fabricación industrial, la agricultura, incluida la pérdida de cosechas y animales, y el deterioro de la calidad.

## Recuadro 4. Sectores específicos sujetos a costos *ex situ*

- **Transporte.** Cualquier episodio que limite la capacidad del transporte o la circulación de vehículos puede provocar sustanciales pérdidas económicas. Con todo, el impacto de las tormentas de arena y polvo en la velocidad de los desplazamientos y en los costes de transporte puede ser difícil de estimar.
- **Salud.** Los efectos de las tormentas de arena y polvo sobre la salud son difíciles de medir y cuantificar en términos de costos, debido a las diferencias en materia de presentación de informes entre países o regiones y a las diferencias en el análisis de los datos. Una cuestión que se plantea en muchas investigaciones relacionadas con los efectos del polvo en la salud es la atribución de efectos. Por ejemplo, puede que parte de la población en situación de riesgo, especialmente las personas con problemas cardiopulmonares previos, registre una mayor mortalidad o morbilidad durante una tormenta de polvo, al agravar el polvo atmosférico su condición preexistente. La cuestión es si el polvo tiene efectos directos en la salud o si debe considerarse un modificador indirecto de los efectos sobre la salud.
- **Limpieza de los hogares.** Las investigaciones han demostrado que los hogares afrontan los mayores costes directos de las tormentas de arena y polvo asociados a la limpieza interior y exterior, así como a las reparaciones y al mantenimiento de estructuras y vehículos.
- **Comercio y producción industrial.** Medir los efectos de las tormentas de arena y polvo en el sector del comercio presenta muchos desafíos. Algunos gastos que no se realizaron durante el episodio de tormenta pueden realizarse después, lo que supone que no hay pérdida de ingresos para algunos operadores comerciales. Por otro lado, puede que no se realicen compras de productos de temporada (alimentos frescos, por ejemplo) durante el episodio de tormentas de arena y polvo, lo que implicará la pérdida de ingresos para los minoristas y el descarte de los productos. Del mismo modo, es posible que no se realicen compras discrecionales, como el café para llevar, reduciendo aún más los ingresos del comercio. Otros costes indirectos en el sector comercial pueden producirse debido a los retrasos en la entrega de los bienes necesarios para la producción o en el traslado de los bienes fuera de las instalaciones de producción.
- **El sector industrial.** Puede verse afectado por las tormentas de arena y polvo si las partículas penetran en las instalaciones de fabricación o si los materiales necesarios para la producción son retenidos en tránsito. Otro costo es el absentismo. En efecto, puede darse el caso de que los empleados se ausenten para cuidar a sus hijos (si las escuelas están cerradas durante el episodio de tormentas de arena y polvo) o a otras personas que necesiten atención. Se ha demostrado que el absentismo reduce la productividad y, dado que es una consecuencia de las tormentas de arena y polvo, deberá añadirse a los costos.
- **Agricultura.** Las tormentas de arena y polvo pueden imponer costos al sector agrícola debido a:
  1. la destrucción de cultivos o la reducción de los rendimientos,
  2. la reducción de la producción ganadera debido a la muerte de animales o a la reducción de los rendimientos de la leche o la carne, y
  3. los daños a las infraestructuras.

En el caso de los cultivos anuales, las pérdidas se deben al enterramiento de las plántulas o los cultivos bajo las deposiciones de arena, a la pérdida de tejido vegetal y a la reducción de la actividad fotosintética debido al impacto de la arena. Todo ello puede ocasionar la pérdida total de los cultivos en una zona determinada o la reducción de los rendimientos debido a pérdidas parciales o a la reducción o retraso de las tasas de crecimiento. El impacto en los cultivos perennes puede ser similar

al de los cultivos anuales y dar lugar a pérdidas en las cosechas del año en curso o a una reducción de los rendimientos. No obstante, también puede haber un efecto a más largo plazo en algunos cultivos perennes debido a los daños sufridos por los árboles o las plantas (daños en las coronas de alfalfa, por ejemplo), lo que se traduce en una reducción de la producción en años futuros.

La producción ganadera también puede verse afectada de varias maneras. Durante la tormenta de arena y polvo puede producirse una reducción de la producción de leche, lo que provocará una pérdida de ingresos para el productor sin una reducción compensatoria de los costes. El ganado que no esté protegido ante estas tormentas puede resultar herido y el estrés generado por el entorno físico puede reducir su productividad y crecimiento.

Las tormentas de arena y polvo pueden provocar la pérdida de animales, ya sea por muerte (principalmente por asfixia en episodios graves) o por la incapacidad de los productores de localizarlos tras huir a raíz de las tormentas. Otro de los efectos a los que pueden enfrentarse los ganaderos es la destrucción o el daño causado en las reservas de pienso (pastos o cultivos forrajeros), lo que los llevará a comprar nuevos piensos que en otras circunstancias no habrían comprado.

**Otros efectos negativos** son los daños a la infraestructura agrícola (enterramiento de los canales de riego por los sedimentos y vías de transporte cubiertas de arena y polvo), la reducción de la calidad del agua de ríos y arroyos y el empeoramiento de la calidad del aire.

Otros costos derivados de las tormentas de arena y polvo en la región afectada son los siguientes: 1) la disminución de las actividades de construcción y explotación minera debido a problemas relacionados con la salud y la seguridad en las zonas de construcción o en los yacimientos mineros; 2) el incremento de la actividad de los servicios de emergencia causado por los accidentes de tráfico y de los servicios de ambulancias para transportar a los pacientes a los hospitales por problemas de salud relacionados con el polvo; y 3) los daños sufridos por las infraestructuras de servicios públicos, como las líneas eléctricas o las torres de alta tensión. Las tormentas de arena y polvo también pueden afectar a las actividades culturales, de ocio y deportivas. El coste que ello suponga para la economía dependerá del tipo de eventos que se vean afectados.

En general, los beneficios inmediatos de las tormentas de arena y polvo son escasos y relativamente pequeños en comparación con los costos *ex situ*. Los beneficios derivados de estas tormentas provienen de dos fuentes principales: el depósito de nutrientes sobre la tierra y el depósito de minerales y nutrientes en el agua, en particular en los mares y océanos. El polvo mineral que conforma estas tormentas puede contener nutrientes del suelo, como nitrógeno, fósforo y potasio, además de carbono orgánico. Al depositarse, este polvo puede aportar nutrientes a los cultivos y pastos de las zonas hacia donde haya soplado el viento.

Existen numerosos enfoques para medir las repercusiones económicas de las tormentas

de arena y polvo y los costos y beneficios de los programas de mitigación (**tabla 1**). No obstante, dada la gran variedad de recursos disponibles en todos los países para recopilar y analizar los datos sobre las repercusiones económicas de este fenómeno, se recomienda adoptar un enfoque relativamente sencillo. El método más recomendable es una combinación de contabilidad de costos y encuestas donde estas últimas se utilizan para determinar los costos que no están fácilmente disponibles, como los derivados de la limpieza de los hogares. Este método permitirá realizar comparaciones entre países, ya que todos los países o regiones aplicarán el mismo marco de trabajo.



Metodología para determinar el impacto	Necesidad de datos	Habilidades del analista	Ventajas del método	Limitaciones del método	Aplicaciones al análisis de impacto de las tormentas de arena y polvo
Equilibrio general computable (EGC)	Muy alta. Se necesita un conjunto de datos que incluya toda la economía.	Muy alta. Requiere poder construir una matriz de contabilidad social.	Adecuado para el análisis de un único episodio.	Requiere un año de seguimiento.	No hay aplicaciones a las tormentas de arena y polvo. Se ha aplicado a episodios únicos de desastres: Rose y Lim (2002), terremoto de California; Horridge, Madden y Wittwer (2005), sequía en Australia.
Modelo de insumo-producto (IP)	Muy alta. Se necesita un conjunto de datos que incluya toda la economía.	Muy alta. Requiere poder construir una matriz de contabilidad social.	Adecuado para el análisis de un único episodio.	Requiere un año de seguimiento.	Ai y Polenske (2008), efectos de tormentas de arena y polvo en Beijing.
Encuestas	Media. Se necesita un buen índice de respuesta a las encuestas.	Media, pero alta en cuanto al diseño de la encuesta y la selección de la muestra.	Sencillo y fácil para analistas poco cualificados. Puede extrapolarse de eventos individuales a eventos múltiples.	Puede ser costoso reunir datos de calidad y en cantidad suficiente para un análisis completo.	Huszar y Piper (1986), efectos de eventos múltiples de tormentas de arena y polvo en Nuevo México.
Híbrido	Media-alta.	Media-alta. Requiere habilidades para identificar datos y lagunas de datos.	Relativamente sencillo. Puede reflejar todos los efectos, siempre que no haya huecos en los datos. Puede extrapolarse de eventos individuales a eventos múltiples.	Si hay huecos en los datos o una recopilación deficiente de datos, los resultados serán insuficientes.	Tozer y Leys (2013), episodio individual de tormentas de arena y polvo en Australia; Miri et al. (2009), evento múltiple en la región de Sistán (Irán).

**Tabla 1. Resumen de las metodologías, los requisitos relativos a los datos y las habilidades necesarias**

Una dificultad importante en el análisis de la relación costo-beneficio radica en estimar los costos o beneficios para los atributos que pueden verse afectados por las tormentas de arena y polvo pero que no tienen un valor de mercado determinado ni pueden someterse a un método de valoración con técnicas basadas en el mercado. Es el caso, por ejemplo, de los beneficios ambientales, los servicios ecosistémicos o los beneficios sociales derivados de las mejoras en materia de salud o igualdad de género.

Existen dos tipos de técnicas de valoración no relacionadas con el mercado: la de las preferencias reveladas y la de las preferencias declaradas. En el caso de las preferencias reveladas se dispone de varios métodos, como el de los precios hedónicos, el del costo del viaje, el de la valoración contingente, el de la modelización de elección y el del análisis experimental (**recuadro 5**).

## Recuadro 5. Métodos de preferencias reveladas en el análisis costo-beneficio de la evaluación de las repercusiones económicas de las tormentas de arena y polvo

- **Precios hedónicos.** El análisis de los precios hedónicos considera un "producto" no como un producto individual, sino como un conjunto de atributos, cualidades y características que los consumidores desean y por los que están dispuestos a pagar. El precio que el consumidor paga por un producto refleja el "valor" que otorga a cada atributo del producto (Costanigro y McCluskey, 2011).
- **Método del costo del viaje.** El método del costo del viaje utiliza el comportamiento del consumidor para medir el valor que otorga a "bienes", tales como lugares importantes desde el punto de vista medioambiental y cultural (Hanley y Spash, 1993). Este método mide lo que los consumidores están dispuestos a pagar para "viajar" a un lugar, lo que incluye los costos del viaje (en avión o en coche), el precio de las entradas, el costo del alojamiento, los equipos básicos (material de acampada, por ejemplo) y los gastos *in situ*, como comida y bebida. Así, el "valor" del lugar puede estimarse sumando los costos del viaje por el número previsto de visitantes al lugar.
- **Método de valoración contingente (MVC).** Este método utiliza encuestas a consumidores, normalmente en algún tipo de experimento controlado, a los que se les pregunta cuánto estarían dispuestos a pagar por un producto o servicio determinado con atributos específicos. En el análisis de ecosistemas o análisis medioambientales se pregunta a los "consumidores" cuánto estarían dispuestos a pagar por los servicios prestados por el ecosistema o la zona ambientalmente sensible y, por otro lado, hasta dónde estarían dispuestos a aceptar la pérdida de los servicios prestados (Ninan, 2014).
- **Modelización de elección.** La modelización de elección es similar al MVC, salvo que, en lugar de evaluar el servicio prestado por el ecosistema o la zona ambientalmente sensible, se pide a los "consumidores" que evalúen los atributos ambientales específicos de la zona y que luego elijan entre las diferentes opciones que proporcionan distintos niveles de atributos (Ninan, 2014).
- **Análisis experimental.** Este método se utiliza para resolver algunas de las deficiencias de los métodos de preferencias reveladas, tales como la diferencia entre lo que la gente dice en las encuestas (su disposición declarada a pagar) y lo que realmente hace (su comportamiento real), lo que se conoce como "sesgo hipotético". En algunos análisis experimentales, los consumidores utilizan dinero real para determinar una disposición a pagar más precisa. Este hecho puede eliminar algunos de los sesgos hipotéticos que pueden aparecer en las respuestas de las encuestas, en las cuales las decisiones tomadas no tienen efecto alguno.

## 8 – Las tormentas de arena y polvo y la salud

Las repercusiones de las tormentas de arena y polvo en la salud son objeto de una investigación creciente desde finales del siglo XX. En particular, se han estudiado los cambios en la contaminación atmosférica de las zonas afectadas por este fenómeno con el fin de comprender sus efectos en la salud.

Para comprender las repercusiones de las tormentas de arena y polvo en la salud, lo primero que debe estudiarse es la caracterización de la exposición de los individuos y las poblaciones. Esta caracterización puede hacerse de varias maneras. Una segunda consideración es que en muchas zonas afectadas por estas tormentas se dispone de muy pocos datos de salud. Hasta la fecha, la mayoría de los estudios en este ámbito se han llevado a cabo en Asia Oriental, Europa y Oriente Medio, pero se han hecho muy pocos en África Occidental.

Muchos problemas de salud se han examinado, tanto en términos de mortalidad como de morbilidad, en estudios epidemiológicos centrados principalmente en los efectos a corto plazo de las tormentas de arena y polvo, mientras que los resultados de las revisiones sistemáticas indican conclusiones diferentes. En términos de aumento del riesgo, las poblaciones afectadas por las tormentas de arena y polvo tienen un mayor riesgo de mortalidad y morbilidad por enfermedades cardiovasculares debido a problemas respiratorios y el asma infantil.

La relación causal entre el contenido de arena y polvo en la atmósfera y los problemas de salud sigue sin aclararse y requiere investigaciones más exhaustivas. Por esta razón, junto con los huecos en los datos sobre la morbilidad y la mortalidad asociadas a estas tormentas, sigue siendo necesario elaborar estimaciones exhaustivas y específicas de los efectos de este fenómeno en la salud y de la carga que suponen.

## 9 — Cartografía de las fuentes de tormentas de arena y polvo

Una fuente de tormentas de arena y polvo se define como una zona con una capa superficial del suelo relativamente seca, desprotegida, desprovista de vegetación y de nieve, hielo o agua y no congelada, con presencia de partículas de tierra que pueden levantarse en condiciones de viento favorables. La erosionabilidad o la dinámica de las zonas de emisión se ven afectadas por el clima, las condiciones meteorológicas (por ejemplo, la velocidad del viento o la sequía), las condiciones y las características de la superficie del suelo y la actividad humana.

La dinámica de las zonas de emisión de las tormentas de arena y polvo está relacionada con los cambios estacionales en la cubierta vegetal y de nieve, la existencia de cambios en la extensión de las masas de agua y el hecho de que el suelo esté o no congelado. Estas variaciones provocan cambios significativos en la distribución geográfica de estas zonas de emisión. Un suelo es más vulnerable a la erosión eólica si contiene partículas de tierra más pequeñas, en general arcilla, y partículas de limo con un diámetro no superior a 50 o 60  $\mu\text{m}$ . La emisión de polvo aumenta cuando el suelo está removido y suelto.

Es fundamental conocer las zonas en las que se originan las tormentas de arena y polvo para poder llevar a cabo la evaluación del riesgo y los efectos, la planificación de las medidas de mitigación y la predicción, así como el establecimiento de sistemas de alerta temprana en relación con este fenómeno. Para elaborar mapas de la distribución espacial y temporal de las fuentes, es necesario entender por qué y cómo se forman y se activan.

Existen dos enfoques para cartografiar las zonas donde se originan las tormentas de arena y polvo. El primero, basado en datos procedentes de tormentas anteriores, resulta más eficaz cuanto más prolongado es el período de tiempo cubierto por esos conjuntos de datos. Este enfoque ofrece una buena visión general de las fuentes principales y más activas, incluidas las más importantes a escala regional o mundial. Entre sus limitaciones pueden mencionarse: 1) la discontinuidad de la cobertura espacial y temporal de las observaciones; 2) una resolución cartográfica relativamente inferior que cuando se utilizan parámetros relativos al suelo; y 3) la posibilidad de pasar por alto o subestimar fuentes localizadas o episodios de corta duración.

El otro enfoque para cartografiar las fuentes está basado en datos sobre las condiciones de la superficie, con especial atención a la evaluación de la capacidad de los vientos para provocar la erosión del suelo.

Entre los parámetros relacionados con el suelo que son necesarios para elaborar mapas de las fuentes figuran características como la textura y la estructura, la distribución del tamaño de las partículas, la humedad y la temperatura, la cubierta terrestre y la existencia o no de suelo congelado.

Entre las ventajas que presenta este enfoque puede mencionarse que: 1) incorpora información sobre el estado de la superficie del suelo, como características del suelo y datos sobre el uso de la tierra; 2) permite detectar y delimitar fuentes localizadas; y 3) permite detectar fuentes estacionales latentes o no significativas. Sin embargo, esta opción requiere una compleja combinación de información procedente de diferentes fuentes de datos y se enfrenta a la escasa información disponible sobre las características del suelo y sobre los datos de análisis de suelos.

## 10 — Observación, vigilancia y modelización de las tormentas de arena y polvo

Las mediciones del polvo se pueden dividir en dos grupos: las mediciones por teledetección y las mediciones *in situ*. Para la vigilancia y predicción del polvo, los meteorólogos encargados de tareas operativas suelen utilizar productos multiespectrales generados a partir de mediciones realizadas por instrumentos instalados en satélites geoestacionarios. Las imágenes de los satélites geoestacionarios de última generación (**Figura 11**) constituyen una herramienta esencial para la vigilancia atmosférica, ya que combinan las ventajas de las órbitas geosíncronas (captura frecuente de imágenes de áreas amplias) con las capacidades de los radiómetros de alta resolución y ofrecen una disponibilidad en tiempo casi real. A pesar de ello, las imágenes proporcionadas por los satélites que se utilizan para vigilar los fenómenos relacionados con el polvo se enfrentan a desafíos como: 1) la determinación de la elevación de las partículas de polvo; 2) la baja detectabilidad de los aerosoles sobre superficies brillantes como los desiertos; y 3) la falta de información sobre las capas de polvo situadas bajo las nubes.

**Figura 11.  
Tormenta  
de polvo en  
el desierto  
de Gobi**



Nota: El 8 de marzo de 2013, desde el desierto de Gobi se levantaron unas columnas de polvo que soplaron a lo largo de la frontera entre China y Mongolia. Los vientos fuertes provocaron que el polvo quedara en suspensión en el aire durante varios días. El 13 de marzo, el polvo alcanzó el este de la provincia de Henan y el sur de la cuenca de Sichuan. El sensor MODIS a bordo del satélite Terra de la NASA captó esta imagen en color. Fuente: NASA/GSFC/Jeff Schmaltz/ MODIS Land Rapid Response Team, 2013.

Para llevar a cabo una vigilancia y una predicción eficaces también es necesario recopilar información *in situ* sobre las tormentas de arena y polvo. Esto exige disponer de estaciones de medición en tierra, redes de medición de la calidad del aire, registros meteorológicos y observaciones de la visibilidad. Estas mediciones presentan ventajas e inconvenientes, según la ubicación y la metodología de medición empleada. Por ejemplo, las observaciones de la visibilidad que se incluyen en los registros meteorológicos pueden utilizarse para identificar tormentas de polvo pasadas. Los informes de las estaciones meteorológicas basados en el código sinóptico de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) pueden utilizarse para detectar las partículas de arena y polvo en suspensión en el aire.

En el documento de análisis de Rodríguez *et al.* (2012) y sus referencias correspondientes se puede encontrar información detallada sobre los métodos utilizados para la vigilancia

y caracterización del polvo (granulometría, composición global y propiedades ópticas). El Programa de Vigilancia de la Atmósfera Global (VAG) de la OMM proporciona a escala mundial observaciones de aerosoles completas, integradas y constantes, todo ello en el marco de un consorcio de redes de investigación sobre aerosoles ya existentes que complementan las redes de aeronaves, satélites y agencias medioambientales (Organización Meteorológica Mundial, 2009).

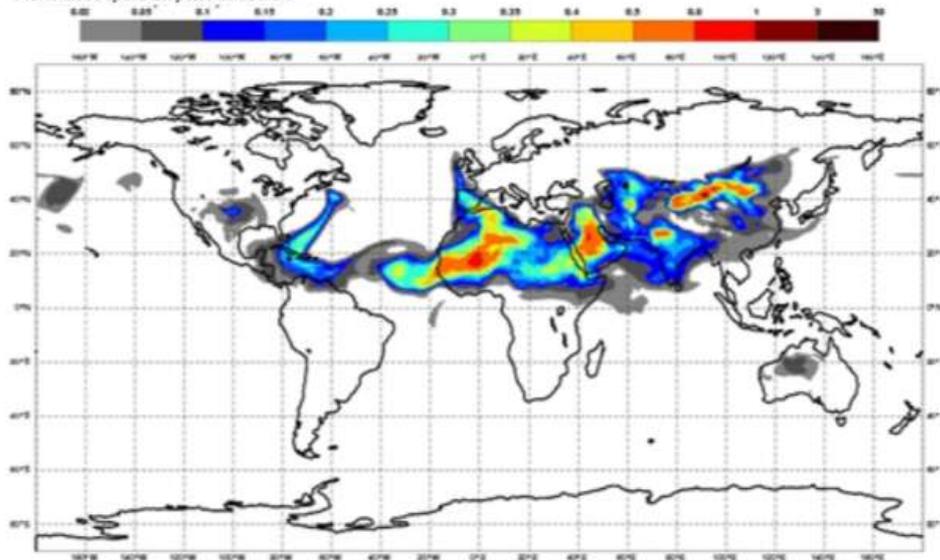
Desde 2004 y a petición de más de 40 países, la OMM ha asumido el liderazgo en este ámbito. La organización ha creado el Sistema de Evaluación y Asesoramiento para Avisos de Tormentas de Arena y Polvo (SDS-WAS, por sus siglas en inglés) con el fin de desarrollar, perfeccionar y sentar las bases de la distribución a la comunidad mundial de productos que puedan utilizarse para reducir los efectos adversos de las tormentas de arena y polvo, así como para evaluar los efectos de estos fenómenos en la sociedad y el medio ambiente.

## Recuadro 6. Servicio de Vigilancia Atmosférica de Copernicus: una iniciativa europea

Desde 2008, el Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Plazo Medio (CEPMPM) ha venido ofreciendo a diario predicciones de aerosoles (incluidas predicciones de polvo) en el marco de sucesivos proyectos financiados por la Unión Europea. Puede consultarse una descripción detallada del modelo de predicción y análisis, que incluye los procesos asociados a los aerosoles atmosféricos, en Morcrette *et al.* (2009) y Benedetti *et al.* (2009).

Estas iniciativas han posibilitado la incorporación de las predicciones de polvo en el Servicio de Vigilancia Atmosférica de Copernicus (SVAC), el cual proporciona diariamente y a escala mundial predicciones de polvo con hasta cinco días de antelación y contribuye al Sistema de Evaluación y Asesoramiento para Avisos de Tormentas de Arena y Polvo (SDS-WAS) de la Organización Meteorológica Mundial. Todos los datos están disponibles públicamente en línea en <https://atmosphere.copernicus.eu> y en los sitios web de los centros SDS-WAS de la OMM, en <https://public.wmo.int/en/our-mandate/focus-areas/environment/SDS/warnings>. A continuación, mostramos un ejemplo. Actualmente, además del SVAC y el CEPMPM, otros seis modelos mundiales de predicción del polvo de diferentes centros contribuyen al SDS-WAS de la OMM (OMM, 2020).

Predicción a 36 horas para el jueves 25 de mayo de 2017 a las 12 GMT, emitida por el SVAC. Viernes 26 de mayo de 2017 12 GMT  
Profundidad óptica del polvo de 550 nm



**Figura 12.** Predicción a 36 horas de la profundidad óptica de los aerosoles para el 26 de mayo de 2017 a las 12 GMT, emitida por el SVAC.

Fuente: SVAC, 2017: <https://atmosphere.copernicus.eu/>

La capacidad de los modelos meteorológicos de predicción numérica se ha desarrollado al incluir modelos de transporte y transformación de la composición de la atmósfera (incluyendo el polvo). Estos modelos numéricos pueden predecir la concentración de los componentes atmosféricos, tales como el polvo mineral, y superar las limitaciones de la observación *in situ*.

Estos modelos numéricos están estrechamente relacionados con la predicción de las tormentas de arena y polvo. A escala mundial, el SDS-WAS de la OMM funciona desde 2007. La dinámica anual de las tormentas de arena y polvo y la descripción de episodios graves de tormentas de polvo se publican en los boletines de la OMM sobre el polvo en suspensión en el aire (Organización Meteorológica Mundial, 2017-2020).

El sistema SDS-WAS mejora la capacidad de los países de proporcionar a los usuarios; con la puntualidad y calidad necesarias; predicciones, observaciones, información y conocimientos sobre las tormentas de arena y polvo por medio de una asociación internacional de comunidades dedicadas a la investigación y al trabajo operativo (Nickovic *et al.*, 2015; Terradellas *et al.*, 2015; Basart *et al.*, 2019; Organización Meteorológica Mundial, 2020). Funciona como una plataforma internacional de centros de investigación y predicción así como usuarios finales (<https://public.wmo.int/en/our-mandate/focus-areas/environment/SDS>) y se organiza a través de nodos regionales:

- el nodo regional para el Norte de África, Oriente Medio y Europa, coordinado por un centro regional en Barcelona (España) y gestionado por la Agencia Estatal de Meteorología de España (AEMET) y el Barcelona Supercomputing Center - Centro Nacional de Supercomputación (BSC-CNS) (**recuadro 7**);
- el nodo regional para Asia, coordinado por un centro regional en Beijing (China) y gestionado por la Administración Meteorológica de China (**recuadro 8**);
- el nodo regional para todo el continente americano, coordinado por un centro regional en Bridgetown (Barbados) y gestionado por el Instituto de Meteorología e Hidrología del Caribe (**recuadro 9**).

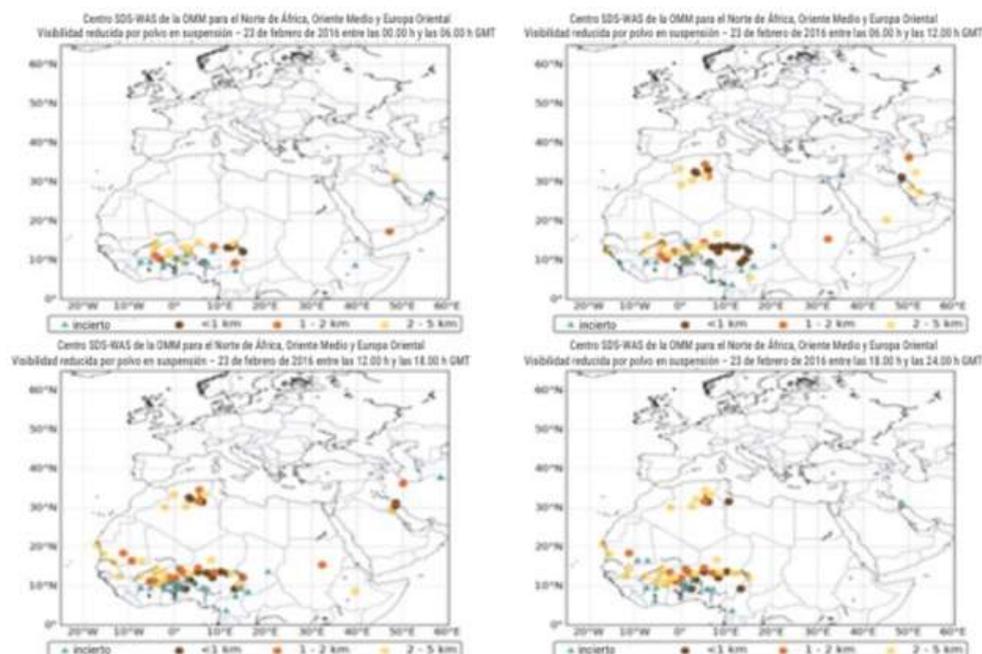
## Recuadro 7. Centro Regional del SDS-WAS de la OMM para el Norte de África, Oriente Medio y Europa

El centro regional del SDS-WAS de la OMM para el Norte de África, Oriente Medio y Europa, con sede en Barcelona, recoge y distribuye diariamente a través de su página web (<https://dust.aemet.es/>) productos de predicción basados en diferentes modelos numéricos. La iniciativa ha crecido considerablemente con la incorporación de más y más asociados.

Actualmente, 15 grupos de modelización ofrecen cada 3 horas predicciones sobre la concentración de polvo en superficie y la profundidad óptica del polvo (DSD y DOD, respectivamente, por sus siglas en inglés) en una zona de referencia que se extiende desde los 25° O hasta los 60° E de longitud y desde los 0° hasta los 65° N de latitud. La zona de referencia pretende abarcar las principales zonas de emisión de tormentas en el Norte de África y Oriente Medio, así como las principales rutas de transporte y zonas de depósito desde el ecuador hasta la península escandinava. Las predicciones tienen un alcance de hasta 72 horas y se proporcionan con una frecuencia de cada 3 horas.

Los productos multimodelo (a saber, basados en un conjunto de modelos) son generados diariamente por el centro regional de Barcelona tras la interpolación bilineal de todas las predicciones en una malla de cuadrícula común de 0,5° x 0,5°.

Desde octubre de 2015, el centro regional SDS-WAS de la OMM para el Norte de África, Oriente Medio y Europa publica mapas cada 6 horas en los que las estaciones meteorológicas de su ámbito geográfico informan sobre la reducción de la visibilidad en un rango inferior a 5 km asociada a la presencia de arena y al polvo en suspensión (**Figura 13**).



**Figura 13.** Mapas de la visibilidad reducida a menos de 5 km asociada a la arena y al polvo en suspensión publicados con una frecuencia de seis horas para el 23 de febrero de 2016

Fuente: Centro Regional del SDS-WAS para el Norte de África, Oriente Medio y Europa, 2016:  
<https://dust.aemet.es/products/daily-dust-products>

## Recuadro 8. Centro regional SDS-WAS de la OMM para Asia

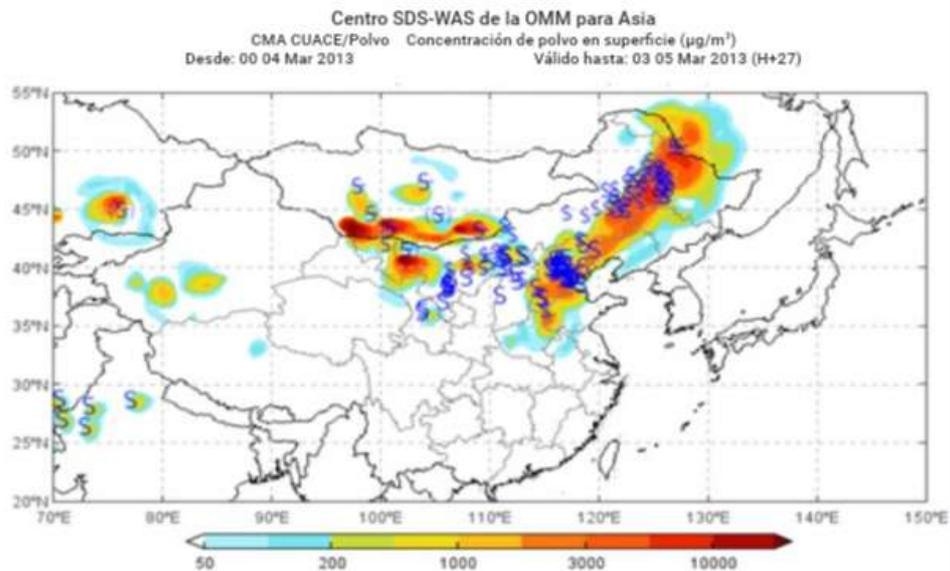
El Centro Regional del SDS-WAS de la OMM para Asia ([http://eng.nmc.cn/sds\\_was\\_asian\\_rc/](http://eng.nmc.cn/sds_was_asian_rc/)), con sede en Beijing, funciona de forma similar al centro regional de Barcelona. Los datos sobre arena y polvo se recogen diariamente y se utilizan en cinco modelos numéricos para elaborar informes diarios. El centro de Beijing cubre las principales fuentes de polvo de Asia Central y Oriental, así como las rutas de transporte y las zonas de depósito hasta el Pacífico Central. Al igual que el centro regional de Barcelona, sus predicciones incluyen la concentración de polvo en superficie (DSC) y la profundidad óptica del polvo (DOD) y se publican cada 3 horas, con una antelación de hasta 72 horas. El objetivo de la iniciativa es facilitar el desarrollo de técnicas de predicción y mejorar la exactitud de los pronósticos en la región.

Las predicciones de polvo se evalúan con un enfoque diferente al que se utiliza en el centro de Barcelona. En un sistema de información geográfica se ha integrado un sistema de puntuación de amenazas basado en diferentes fuentes de observación. El conjunto de datos de observación lo conforman informes meteorológicos de superficie periódicos, datos de concentración de la masa de partículas, recuperaciones de datos sobre la profundidad óptica de los aerosoles (AOD) de la Red china de teledetección de aerosoles (CARSNET), datos del satélite Fēngyún (FY) y datos del sistema de medición y detección de objetos mediante láser (LIDAR, por sus siglas en inglés).

Se han definido cuatro categorías de episodios de polvo:

- polvo en suspensión (visibilidad horizontal de menos de 10 km y velocidad del viento muy baja);
- nube de polvo (visibilidad entre 1 y 10 km);
- tormenta de arena y polvo (visibilidad de menos de 1 km); y
- tormenta de arena y polvo severa (visibilidad de menos de 500 m) (Wang et al., 2008).

**Figura 14.**  
**Verificación de**  
**una predicción**  
**de polvo emitida**  
**por el modelo**  
**CUACE<sup>34</sup> con datos**  
**de observación**  
**de las tormentas**  
**de arena y polvo**  
**en la superficie**  
**procedentes**  
**de estaciones**  
**meteorológicas**



Nota: CUACE son las siglas de Chinese Unified Atmospheric Chemistry Environment for Dust (Modelo ambiental y químico atmosférico unificado de la Administración Meteorológica de China [CMA] para el polvo)

Fuente: Wang et al., 2008.

### Recuadro 9. Centro regional SDS-WAS de la OMM para el continente americano

El centro regional del SDS-WAS de la OMM para el continente americano (<http://sds-was.cimh.edu.bb/>), con sede en Barbados, lleva a cabo tareas similares a las de los otros dos centros regionales. No obstante, además del enfoque regional, el centro de Barbados ofrece predicciones mundiales del SDS-WAS basadas en tres modelos mundiales estadounidenses gestionados por la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA), la NASA y la Marina de los Estados Unidos, así como en el conjunto de modelos operacionales a escala mundial de la Cooperativa Internacional para la Predicción de Aerosoles (ICAP, por sus siglas en inglés).

De acuerdo con los objetivos del SDS-WAS de la OMM, el centro de Barbados es un nodo de colaboración en toda América que trabaja con otros centros del SDS-WAS para:

- desarrollar, perfeccionar y distribuir a la comunidad mundial productos útiles para reducir los efectos adversos de las tormentas de arena y polvo; y
- evaluar los efectos de estos fenómenos en la sociedad y el medio ambiente.

Su máxima prioridad es abordar las consecuencias adversas para la salud del polvo en suspensión en la región, en la cual se registra tanto polvo de origen local, procedente de desiertos como los de Mojave, Sonora y Atacama, como polvo importado de tierras áridas de otros continentes, como los desiertos de África y Asia.

## 11 — Predicción de las tormentas de arena y polvo

Las predicciones basadas en los efectos y centradas en las personas incorporan a la información que se facilita al público indicaciones acerca de los efectos de las condiciones meteorológicas previstas en la población que pueda resultar afectada. Hay que distinguir entre la predicción típica, que alerta de la llegada de una tormenta de polvo en los días venideros, y un pronóstico basado en los efectos y centrado en las personas, que indica el momento en que se producirá el episodio y los posibles efectos del polvo sobre la población, recomendando por ejemplo a las personas con problemas respiratorios que tomen medidas para protegerse de la tormenta prevista.

Los pronósticos basados en los efectos se apoyan en:

- una excelente comprensión en tiempo casi real de la evolución de las condiciones meteorológicas, basada en modelos que incorporan datos meteorológicos precisos y actualizados procedentes de fuentes terrestres y de la teledetección;
- una clasificación clara de las condiciones meteorológicas que corresponden a los diferentes niveles de impacto;
- una evaluación del riesgo que permita determinar los efectos en lugares específicos o sobre colectivos presentes en esos lugares (por ejemplo, los niños).

Habitualmente, la información para los pronósticos se genera a partir de modelos numéricos de predicción meteorológica. Existen varios modelos a nivel nacional, regional y mundial. La predicción por conjuntos es uno de los métodos que se han desarrollado para mejorar los resultados de las predicciones. En este método se describe el estado futuro de la atmósfera desde un punto de vista probabilístico. Consiste en llevar a cabo múltiples simulaciones para reflejar la incertidumbre del estado inicial o la inexactitud de los modelos y los métodos matemáticos utilizados en el proceso de simulación (Palmer *et al.*, 1993).

Los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN) son los encargados de elaborar los pronósticos sobre tormentas de arena y polvo a nivel nacional. En función del tamaño del país y de la

capacidad de su SMHN, los pronósticos pueden elaborarse a nivel subnacional (provincial o estatal). Estos pronósticos y la información de las alertas asociadas deben ser comunicadas a las autoridades subnacionales (provinciales o estatales) encargadas de la gestión de desastres y a otras organizaciones y actores que participan en la gestión de las tormentas de arena y polvo.

La capacidad de los SMHN para gestionar el proceso de análisis de datos y predicción de las tormentas de arena y polvo puede variar considerablemente. Cuando la capacidad de modelización y pronóstico de los SMHN es limitada, se les pueden facilitar los recursos mundiales y regionales generados por los centros SDS-WAS, a través sitio web de la OMM (<https://public.wmo.int/es/nuestro-mandato/esferas-de-inter%C3%A9s/medio-ambiente/tormentas-de-arena-y-polvo>), con el fin de apoyar las predicciones locales. Este material, junto con la modelización realizada por los SMHN, puede utilizarse en la predicción diaria y a corto plazo (tres días) de las tormentas de arena y polvo.

Para garantizar que los pronósticos de tormentas de arena y polvo sean coherentes y que las alertas sean oportunas y precisas y estén coordinadas, los SMHN pueden colaborar con entidades de predicción privadas para elaborar un plan coordinado de difusión de predicciones y alertas. También puede ser necesario que este plan incluya predicciones de otros países en los casos en que las alertas se transmitan habitualmente a través de canales extranjeros, por ejemplo, a través de medios de comunicación de difusión mundial.

## 12 — Alerta temprana de las tormentas de arena y polvo

La eficacia de los sistemas y planes de alerta para las tormentas de arena y polvo depende menos del grado de precisión y sofisticación del sistema de predicción y modelización que de la idoneidad de las medidas adoptadas por las poblaciones afectadas por esos fenómenos para evitar o reducir sus consecuencias. Para que una alerta sea útil es esencial garantizar que sus destinatarios comprendan la información proporcionada y las medidas que procede adoptar para reducir los efectos de la tormenta prevista.

El enfoque centrado en las personas, con perspectiva de género y basado en los efectos facilita que la población en situación

de riesgo adopte, a raíz de una alerta, medidas concretas que reduzcan los efectos de las tormentas de arena y polvo en las personas y en la sociedad en su conjunto.

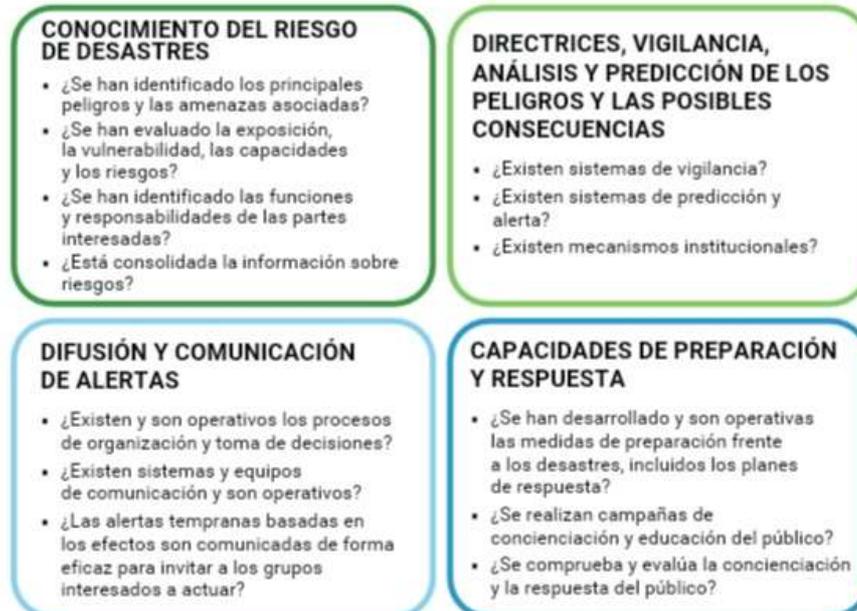
Un sistema de alerta basado en los efectos determina de qué manera una tormenta de arena y polvo puede afectar a una persona en riesgo por un episodio de este tipo y qué medidas se pueden tomar para reducir la amenaza.

La **figura 15** muestra los cuatro componentes en los que debe basarse un sistema de alerta centrado en las personas, con perspectiva de género y basado en los efectos para ser eficaz: 1) conocimiento

del riesgo de desastre; 2) detección, vigilancia, análisis y predicción de los peligros y de las posibles consecuencias; 3) difusión y comunicación de la alerta; y 4) capacidad de preparación y de respuesta.

Un sistema de alerta eficaz para las tormentas de arena y polvo debe contar con un enfoque "de toda la comunidad", en el que todas las partes interesadas, incluidas las poblaciones en situación de riesgo (**recuadro 10**), participen en un único enfoque para garantizar que las alertas se emitan de forma oportuna y específica y se adopten las medidas adecuadas para reducir o evitar los efectos.

**Figura 15.**  
**El concepto de la predicción centrada en las personas y basada en los efectos**



Fuente: Basado en Estrategia Internacional para la Reducción de los Desastres (EIRD) y Ministerio Federal de Asuntos Exteriores de Alemania, 2006.

Un sistema de alerta para las tormentas de arena y polvo debe basarse en un plan de alerta completo que incluya fuentes de información y análisis, métodos de difusión y procedimientos operativos estándar que garanticen que las alertas se reciban a tiempo. Este plan general se complementa con planes secundarios para sectores específicos (por ejemplo, el de la salud) o instalaciones específicas (por ejemplo, hospitales) o que contemplen fines específicos (por ejemplo, alertas relativas al transporte por carretera o la aviación). Normalmente, la planificación y la coordinación general de los procesos de alerta se encomienda a la autoridad nacional de gestión de desastres.

Dado que los procedimientos de alerta para las tormentas de arena y polvo

pueden variar notablemente de un país a otro, es necesario que todas las partes interesadas dispongan de la siguiente información:

- ¿Quién tiene la autoridad legal para emitir alertas?
- ¿Quién se encarga de que se adopten medidas ante una alerta? (La entidad responsable de emitir una alerta, por ejemplo, la oficina meteorológica local, podría no ser la encargada de asegurar el seguimiento de la alerta, por ejemplo, el presidente del gobierno local, el personal de la oficina de desastres o la policía.)
- ¿A quién y cómo el SMHN o las oficinas subnacionales proporcionan información sobre los pronósticos y las alertas para garantizar que estas se emiten a tiempo?

## Recuadro 10. Partes interesadas en la alerta temprana

En el proceso de predicción de tormentas de arena y polvo intervienen una serie de partes interesadas con importantes funciones en el desarrollo, la difusión y el uso de información de alerta sobre estos fenómenos. Entre ellas se incluyen:

- los grupos de riesgo específicos que pueden verse afectados por importantes efectos negativos en la salud o de otro tipo debido a las tormentas de arena y polvo;
- los centros regionales de predicción, en los que se incluyen analistas, modelizadores e investigadores de las tormentas de arena y polvo;
- los SMHN, en los que se incluyen analistas, modelizadores y especialistas en educación meteorológica;
- los Organismos Nacionales de Gestión de Desastres (NDMA, por sus siglas en inglés) y sus interlocutores subnacionales, entre ellos, los planificadores, los gestores de sistemas de alerta temprana, los gestores de respuesta y los formadores;
- los gestores de telecomunicaciones, entre ellos, los técnicos encargados de velar por la fiabilidad del sistema y la gestión de los mensajes (incluido el envío de mensajes a lugares o públicos específicos);
- los proveedores de asistencia sanitaria, entre otros, los especialistas en salud, los gestores de instalaciones, los servicios de gestión de pacientes y los proveedores de asistencia sanitaria de emergencia;
- las autoridades encargadas de gestionar los sistemas de transporte (aéreo, terrestre y marítimo), incluidos planificadores, equipos de mantenimiento y policía, y de garantizar la seguridad durante los episodios de tormentas de arena y polvo;
- los medios de comunicación (radio, televisión e Internet) y las personas que trabajan en esos sistemas (por ejemplo, locutores, presentadores y blogueros);
- las personas que trabajan en el sector agrícola y ganadero (agrónomos, especialistas en ganadería, servicios de extensión agrícola y gestores de infraestructuras) para minimizar los daños y las pérdidas provocadas por las tormentas de arena y polvo;
- la industria, donde se incluyen instalaciones que pueden verse afectadas por elevadas cargas de arena o polvo en el aire ambiente, como es el caso de las que se dedican a la producción de alta precisión o baja contaminación;
- los proveedores de servicios de educación, incluidos los centros de formación, los profesores que imparten conocimientos sobre las tormentas de arena y polvo o los directores de las escuelas, que deben tomar medidas para garantizar la seguridad de los alumnos durante esas tormentas;
- los grupos de protección o de atención a la población, centrados en ayudar a las personas más propensas a verse afectadas por las tormentas de arena y polvo.

La forma en que se emiten los pronósticos o las alertas puede variar de un país a otro. En algunos, los avisos y alertas escritas son la norma, mientras que en otros se recurre a colores o números para indicar la importancia de las alertas. Los canales más comunes para la difusión de alertas son la prensa, la radio, la televisión e Internet, incluido el correo electrónico, las redes sociales o sitios web de alertas y los mensajes enviados a los teléfonos móviles.

Los pronósticos y las alertas de tormentas de arena y polvo contribuyen a mejorar la preparación ante estos fenómenos de tres maneras:

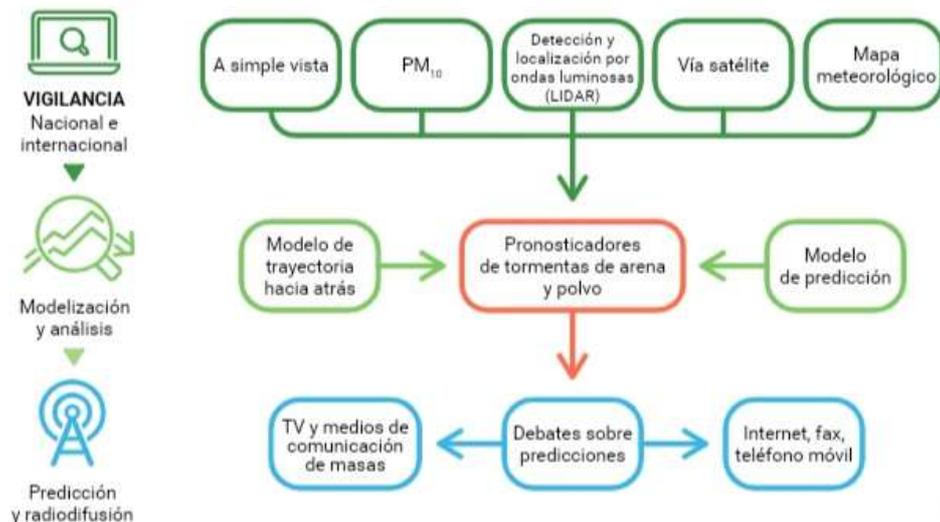
- Comprender la naturaleza de estas tormentas ayuda a crear conciencia de que se trata de un peligro para el que es necesario estar preparado.
- Los pronósticos pueden originar alertas que, a su vez, dan lugar a otras medidas necesarias para limitar los efectos de una tormenta de arena y polvo.
- Educar a las personas expuestas al riesgo de tormentas de arena y polvo hace que las alertas sean más eficaces, refuerza la capacidad de respuesta cuando se recibe una y mejora el nivel de preparación individual y colectivo ante esos episodios.

## Recuadro 11. Sistema de vigilancia y predicción de episodios de polvo de la Administración Meteorológica de Corea

La Administración Meteorológica de Corea (KMA, por sus siglas en inglés) vigila y predice en cuatro etapas los episodios relacionados con el polvo en Asia.

- En primer lugar, la KMA utiliza las observaciones de polvo asiático realizadas a simple vista, así como las concentraciones de  $PM_{10}$  procedentes de la Red de Vigilancia Conjunta de China y la KMA sobre las tormentas de arena y polvo, localizadas en las regiones de origen de estas tormentas y lo largo de diferentes puntos de acceso a Corea.
- En segundo lugar, la KMA utiliza información meteorológica internacional del Sistema Mundial de Telecomunicación (SMT) en intervalos de tres horas e imágenes satelitales del Satélite de Comunicaciones, Oceanográfico y Meteorológico (COMS, por sus siglas en inglés), la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés), Himawari-8 y Aqua & Terra/MODIS, para determinar la ubicación e intensidad del polvo asiático.
- En tercer lugar, los resultados del Modelo de Aerosoles y Polvo Asiático (ADAM, por sus siglas en inglés), simulado por supercomputadora, se transmiten a la intranet de la KMA para su uso en las predicciones de polvo asiático y al centro SDS-WAS de la OMM para Asia para su inclusión en el conjunto regional.
- Por último, se utilizan las concentraciones de  $PM_{10}$  de 29 emplazamientos y los datos del contador de partículas de 7 emplazamientos para determinar el ritmo y la intensidad del polvo asiático.

El sistema de alerta de polvo asiático de la KMA utiliza los resultados del sistema de vigilancia y predicción para emitir alertas cuando se prevé que la concentración media de polvo por hora ( $PM_{10}$ ) supere los  $800 \mu\text{g}/\text{m}^3$  durante más de dos horas. Cuando la KMA emite un aviso, la información se difunde al público y a las empresas de radiodifusión en línea, entre ellas los servicios de redes sociales.



### 13 — Gestión de las fuentes de las tormentas de arena y polvo y mitigación de sus efectos

Las medidas encaminadas a mitigar los efectos de las tormentas de arena y polvo se dividen en dos grupos, según busquen reducir: 1) las emisiones de polvo y arena en las fuentes (medidas preventivas y gestión de las fuentes), y 2) los efectos de la arena y el polvo desplazados en las zonas donde se depositan (medidas de protección y mitigación de efectos).

Existen tres tipos de medidas de control preventivo, según se apliquen en ecosistemas naturales, bosques y pastizales; tierras de cultivo; y entornos industriales, como las minas. Las medidas de protección abarcan la protección física de bienes valiosos, como las ciudades, las infraestructuras o los sistemas de riego; los sistemas de predicción y alerta temprana; y los procedimientos de preparación y respuesta ante emergencias.

Las medidas de control que se aplican en los ecosistemas naturales, pastizales y tierras de cultivo se centran en reducir la velocidad del viento y la erosionabilidad del suelo. También se controla la acción del viento sobre la arena y el desplazamiento de las dunas, aunque la arena puede desplazarse con una velocidad del viento inferior a la necesaria para generar una tormenta de arena y polvo.

La ordenación sostenible de las tierras (OST, **recuadro 12**) y el manejo integrado del paisaje (MIP, **recuadro 13**) son conceptos importantes para garantizar la aplicación coordinada de estas medidas de control. En las potenciales zonas de emisión debe prestarse la máxima atención a un manejo integrado del paisaje, que comprende la gestión sostenible de todos sus elementos, incluida una estrategia de uso del agua y de reducción del polvo en los emplazamientos industriales, como las escombreras o las zonas de almacenamiento al aire libre.

Dados los diversos factores que agravan la erosión eólica y la incidencia de las tormentas de arena y polvo, las estrategias de control más eficaces deberían consistir en sistemas de OST que contribuyan a:

- reducir la eliminación de la cubierta vegetal en grandes zonas;
- reducir la extensión de zonas sin vegetación para disminuir el impulso generado por el viento;
- aumentar la cohesión o la estabilidad de los agregados del suelo y la resistencia de la superficie del suelo para evitar que el viento levante partículas de suelo;
- reducir la velocidad del viento cerca del suelo y desviar su dirección; y
- controlar la fuente del material que contribuye a la formación de dunas (Ben Salem, sin fecha).

Dependiendo de las condiciones biofísicas de una zona determinada, podría implementarse una combinación de prácticas de OST para reducir la erosión del suelo provocada por el viento y mejorar la gestión de las fuentes con el fin de controlar las tormentas de arena y polvo.

La ordenación sostenible de pastizales también influye considerablemente en la reducción de las zonas de emisión de las tormentas de arena y polvo. Los métodos de control de la erosión eólica y de la degradación del suelo en los pastizales suele adoptar la forma de medidas preventivas, como el descanso de los pastizales y el pastoreo rotativo o controlado, la reducción de la tasa de aprovisionamiento o el mantenimiento o apoyo a sistemas de pastoreo trashumante ecológicamente viables.

Sin embargo, este tipo de gestión de pastizales requiere que sus usuarios dispongan de derechos de uso seguros, que se les ofrezcan incentivos adecuados y que se les apoye en sus capacidades organizativas y acciones colectivas, especialmente en los sistemas de pastoreo de acceso libre. Cada vez está más admitido que para una gestión sostenible de los pastizales en las zonas áridas deben tenerse en cuenta factores biofísicos, sociales, culturales y económicos específicos de cada lugar en una multitud de escalas temporales y espaciales.

## Recuadro 12. Principios de la ordenación sostenible de las tierras

La alianza TerraAfrica (<http://terrafrica.org/>) muestra tres principios de la OST y una serie de principios para ampliar la OST (<https://www.wocat.net/library/media/26/>):

Principio 1 de la OST: aumento de la productividad de la tierra

- Aumentar la productividad y la eficiencia en el uso del agua (reducción de las pérdidas, aumento del almacenamiento, mejora del riego).
- Aumentar la fertilidad del suelo y mejorar los ciclos de nutrientes y materia orgánica.
- Mejorar el material de plantación y la gestión de las plantas, en particular la gestión integrada de plagas.
- Mejorar las condiciones microclimáticas.
- Principio clave: mejora de la cobertura del suelo.

Principio 2 de la OST: mejora de los medios de vida y del bienestar humano

- Apoyar a los pequeños usuarios de tierras en las inversiones iniciales en las que a menudo hay altos costes iniciales y no hay beneficios inmediatos.
- Asegurar el mantenimiento a través de la iniciativa propia de los usuarios de tierras.
- Tener en cuenta los valores y las normas culturales.

Principio 3 de la OST: mejora de los ecosistemas

- Prevenir y mitigar la degradación de las tierras y rehabilitar las tierras degradadas.
- Conservar y mejorar la biodiversidad.
- Mitigar y adaptarse al cambio climático (aumentar las reservas de carbono sobre y bajo tierra, por ejemplo, mediante la mejora de la cubierta vegetal y la materia orgánica del suelo).

Principios para ampliar la OST

1. Crear un entorno propicio: marco institucional, político y jurídico.
2. Garantizar la participación local, así como la planificación regional.
3. Desarrollar capacidades y formar a las personas.
4. Supervisar y evaluar las prácticas de OST y sus efectos.
5. Proporcionar apoyo a la adopción de decisiones a nivel local y regional para:
  - identificar, documentar y evaluar las prácticas de OST;
  - seleccionar y adaptar las prácticas de OST; y
  - seleccionar las esferas prioritarias para las intervenciones.

## Recuadro 13. Manejo integrado del paisaje (MIP)

Existen cinco elementos clave que caracterizan el MIP y que facilitan los procesos de desarrollo participativo. Se tratan de los siguientes:

1. Objetivos de gestión comunes o acordados que abarcan los múltiples beneficios que aporta el paisaje.
2. Prácticas sobre el terreno diseñadas para contribuir a múltiples objetivos.
3. Gestión de las interacciones ecológicas, sociales y económicas para lograr sinergias positivas y mitigar las contrapartidas negativas.
4. Procesos de planificación, gestión y vigilancia colaborativos y basados en la comunidad.
5. La reconfiguración de los mercados y las políticas públicas para lograr diversos objetivos paisajísticos (Scherr *et al.*, 2012).

En Sayer *et al.* (2013) se proponen 10 principios para el MIP. Un enfoque paisajístico pretende proporcionar herramientas y conceptos para asignar y gestionar la tierra con el fin de lograr objetivos sociales, económicos y medioambientales en zonas donde la agricultura, la minería y otros usos productivos de la tierra compiten con los objetivos medioambientales y de biodiversidad. Estos principios hacen hincapié en la gestión adaptativa, la participación de las partes interesadas y los objetivos múltiples:

1. Aprendizaje continuo y gestión adaptativa
2. Preocupación común como punto de partida
3. Múltiples escalas de intervención
4. Multifuncionalidad
5. Múltiples partes interesadas
6. Lógica de cambio negociada y transparente
7. Clarificación de derechos y responsabilidades
8. Vigilancia participativa y sencilla
9. Resiliencia
10. Refuerzo de las capacidades de las partes interesadas

Las políticas de OST y MIP se implementan mejor en contextos de puesta en marcha de procesos de neutralidad de la degradación de las tierras (NDT) para abordar las fuentes de tormentas de arena y polvo en las zonas afectadas a nivel nacional. El proceso de establecimiento de objetivos para la NDT ofrece la oportunidad de examinar colectivamente las opciones para mitigar las fuentes antropogénicas de tormentas de arena y polvo en particular, entre ellas, la evaluación de las tendencias en materia de degradación de las tierras y la identificación de los factores que la impulsan, todo ello con la participación de partes interesadas relevantes ligadas a los recursos terrestres e hídricos.

Un enfoque integrado y mundial de OST y MIP pueden ser parte integrante —además de maximizar las sinergias entre ambos elementos— de diversas acciones para reducir, a mayor escala y a largo plazo, las emisiones de polvo antropogénico.

La estabilización de las dunas y la forestación son prácticas esenciales para proteger los suelos de la erosión eólica en las zonas áridas y desérticas y constituyen un paso inicial importante hacia la restauración del paisaje (**Figura 16**).

La cooperación regional es crucial para gestionar las emisiones de polvo antropogénico a nivel de paisaje, entre otras cosas, mediante el uso sostenible del agua. Por ello, se necesitan mecanismos regionales basados en un fuerte compromiso político para coordinar las políticas relativas a las fuentes y las políticas centradas en las zonas de depósito.

**Figura 16.**  
**Estabilización**  
**de las dunas**  
**de arena en**  
**el desierto**  
**de Kubuqi, en**  
**el norte de**  
**China**



Nota: Las imágenes muestran el uso de vallas hechas con paja y de tallos de arbustos dispuestos en cuadrícula, además de la plantación de arbustos autóctonos resistentes a la sequía dispuestos mediante una técnica de chorros de agua a presión. El resultado, 25 años más tarde, es un cinturón de protección a lo largo de la carretera. Al fondo pueden verse las dunas típicas de la zona.

Fuente: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2015.

## 14 — Preparación y mitigación de los efectos de las tormentas de arena y polvo

Las medidas de preparación y respuesta en casos de emergencia desempeñan un papel fundamental en la reducción del riesgo de desastres, ya que contribuyen a mitigar el riesgo y sus efectos. En el contexto de los episodios de tormenta de arena y polvo, estas medidas pueden adoptarse a nivel individual, comunitario y organizativo. Para desarrollar estrategias de preparación y establecer medidas de mitigación de los efectos y medidas de protección, es necesario definir y cartografiar el riesgo en cuestión, analizar la vulnerabilidad y evaluar la amenaza, teniendo en cuenta las cuestiones de género. La eficacia de cada una de las medidas y la relación costo-beneficio deben evaluarse en función del contexto local.

Una preparación eficaz reduce la vulnerabilidad, aumenta los niveles de mitigación y permite dar una respuesta oportuna y eficaz a un episodio de desastre. Todo ello acorta el período de recuperación, a la vez que aumenta la resiliencia de la población local. Una preparación eficaz también requiere comprender las especificidades de la población, incluidas las desigualdades de género que son relevantes en la gestión de desastres.

Cualquier plan de gestión de desastres por tormentas de arena y polvo para un lugar o actividad concreta (por ejemplo, una ciudad, una escuela, una fábrica) debe seguir el esquema de otros planes de gestión de riesgos de desastres para lugares o actividades similares. Actualmente, la buena práctica general consiste en elaborar planes ante desastres o emergencias a nivel de la familia, la ciudad, el condado, la provincia o el estado y también a nivel nacional, además de planes específicos para la industria y las empresas.

Estos planes suelen seguir un patrón similar: los planes familiares se centran en la supervivencia inmediata tras un desastre (con el almacenamiento de alimentos, agua y medicinas, por ejemplo) y cada nivel superior del plan se centra en prestar apoyo al nivel inmediatamente inferior: por ejemplo, el plan para un condado define el apoyo que debe prestarse a las ciudades, pueblos y aldeas; el plan estatal o provincial determina el respaldo a los condados dentro del estado o la provincia, etc.

Sobre la base de las buenas prácticas actuales, cabe esperar que un plan de desastres por encima del nivel familiar incluya los siguientes elementos:

- Autoridades responsables (pueden incluirse en el plan general para todos los desastres).
- Una visión general de las tormentas de arena y polvo como elemento de peligro en la zona cubierta por el plan.
- Una evaluación de los riesgos.
- Un análisis de la situación desde una perspectiva de género.
- Medidas específicas de mitigación de las fuentes y los efectos basadas en la evaluación del riesgo. Esta sección puede incluir referencias a planes subsidiarios específicos para sectores concretos, por ejemplo, para un hospital o para el transporte por carretera.
- Procedimientos de alerta, difusión de información y sensibilización de la población. Los procedimientos de alerta pueden incluir procedimientos operativos estándar para la difusión eficaz de alertas basadas en el enfoque de predicción basado en los efectos.
- Umbrales que desencadenan la activación del plan de preparación.
- Ejemplos de medidas de mitigación, si procede.
- Vínculos con otros programas (por ejemplo, para la conservación del suelo) que podrían tener alguna incidencia en la mitigación de las tormentas de arena y polvo.
- Fuentes de información y contacto.

Los anexos del plan pueden incluir procedimientos específicos para mitigar las fuentes y los efectos e indicar quién ostenta la responsabilidad principal y secundaria en la aplicación de estos procedimientos. Los planes sectoriales suelen abarcar los principales sectores económicos o sociales, como la agricultura, la construcción, la educación, la electricidad, la salud, la higiene, la ganadería, la industria manufacturera, la concienciación pública, el deporte y el ocio, el transporte o el agua y el saneamiento. Por regla general, los planes ante los desastres por tormentas de arena y polvo incluyen información suficiente para permitir que se tomen las medidas necesarias, aunque hay que procurar no añadir excesivos detalles que puedan dificultar la utilización del plan.

Para mitigar los efectos de las tormentas de arena y polvo se pueden adoptar

una serie de medidas. Para la elección de medidas específicas debe tenerse en cuenta el tipo de tormenta de arena y polvo que puede producirse, el alcance en que la alerta es posible y la naturaleza de las acciones llevadas a cabo ante la amenaza de un episodio de tormenta de arena y polvo. En todos los casos, hay que educar sobre estas tormentas y las medidas para luchar contra sus efectos a cualquier persona en situación de riesgo, aunque sea por poco tiempo, y estar sustentadas en planes de alerta y preparación.

El Plan de Mitigación de Peligros Naturales de Oregón de 2015 (Estado de Oregón, 2015) incluye un ejemplo de planificación estatal (o provincial) ante desastres por tormentas de arena y polvo. Dicho plan incluye una evaluación de estas tormentas, además de ejemplos históricos de los efectos, referencias a alertas y efectos y medidas de mitigación de las fuentes.



## 15 – Referencias

- Ai, Ning y Karen R. Polenske (2008). "Socioeconomic impact analysis of yellow dust storms: An approach and case study for Beijing". *Economic Systems Research*, vol. 20, n.º 2, pp. 187-203.
- Basart, Sara et al. (2019). "The WMO SDS-WAS Regional Center for Northern Africa, Middle East and Europe". E3S Web Conf., 99 (2019) 04008, doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199904008>.
- Ben Salem, Brahim (sin fecha). "Prevention and control of wind erosion in arid regions". Disponible en: <http://www.fao.org/3/u1510e/u1510e07.htm>.
- Benedetti, Angela et al. (2009). "Aerosol analysis and forecast in the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts Integrated Forecast System: 2. Data assimilation". *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, vol. 114, n.º D13.
- Benedetti, Angela et al. (2014). "Operational dust prediction". En *Mineral Dust: A Key Player in the Earth System*, P. Knippertz y J.-B.W. Stuut eds., Dordrecht: Springer, pp. 223-265, doi:10.1007/978-94-017-8978-3\_10.
- Costanigro, Marco y Jill J. McCluskey (2011). "Hedonic price analysis in food markets". En *The Oxford Handbook of the Economics of Food Consumption and Policy*. Jayson L. Lusk, Jutta Roosen y Jason F. Shogren editores. Oxford: Oxford University Press.
- Hanley, Nick y Clive L. Spash (1993). "Cost-benefit analysis and the environment". Cheltenham: Edward Elgar Publishing.
- HorrIDGE, Mark J., John Madden y Glyn Wittwer (2005). "The impact of the 2002-2003 drought on Australia". *Journal of Policy Modelling*, vol. 27, n.º 3, pp. 285-308.
- Huszar, Paul C. y Steven L. Piper (1986). "Estimating the off-site costs of wind erosion in New Mexico". *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 41, n.º 6, pp. 414-416.
- Estrategia Internacional para la Reducción de los Desastres (EIRD) y Ministerio Federal de Asuntos Exteriores de Alemania, 2006. "Developing Early Warning Systems: A Key Checklist. Working Draft". Third International Conference on Early Warning. From Concept to Action, Bonn. <https://www.unisdr.org/2006/ppew/info-resources/ewc3/Checklist-english.pdf>.
- Lu, Hua y Yaping Shao (2001). "Toward quantitative prediction of dust storms: an integrated wind erosion modeling system and its applications". *Environmental Modelling & Software*, vol. 16, n.º 3, pp. 233-249.
- Middleton, Nick y Utchang Kang (2017). "Sand and dust storms: impact mitigation". *Sustainability*, vol. 9, No. 6:1053.
- Miri, Abbas et al. (2009). "Environmental and socio-economic impacts of dust storms in Sistan Region, Iran". *International Journal of Environmental Studies*, vol. 66, n.º 3, pp. 343-355.
- Morcrette, Jean-Jacques et al. (2009). "Aerosol analysis and forecast in the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts Integrated Forecast System: Forward modeling". *Journal of Geophysical Research*, vol. 114, No. D06206.
- Nickovic, Slobodan et al. (2015). "WMO Sand and Dust Storm Warning Advisory and Assessment System (SDS-WAS). Science and Implementation Plan 2015-2020". Organización Meteorológica Mundial: WWRP 2015-5 Report. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/323384367\\_WMO\\_Sand\\_and\\_Dust\\_Storm\\_Warning\\_Advisory\\_and\\_Assessment\\_System\\_SDS-WAS\\_Science\\_and\\_Implementation\\_Plan\\_2015-2020](https://www.researchgate.net/publication/323384367_WMO_Sand_and_Dust_Storm_Warning_Advisory_and_Assessment_System_SDS-WAS_Science_and_Implementation_Plan_2015-2020).
- Ninan, Karachepone N. (2014). "Valuing ecosystem services: methodological issues and case studies". Cheltenham: Edward Elgar Publishing.
- Palmer, T. N. et al. (1993). "Ensemble prediction". En *Proceedings of the ECMWF Seminar on Validation of Models over Europe*, vol. 1, pp. 21-66.
- Rodríguez, Sergio, Andrés Alastuey y Xavier Querol (2012). "A review of methods for long term in situ characterization of aerosol dust". *Aeolian Research*, vol. 6, pp. 55-74.
- Rose, Adam y Dongsoon Lim (2002). "Business interruption losses from natural hazards: conceptual and methodological issues in the case of the Northridge earthquake". *Environmental Hazards*, vol. 4, pp. 1-14. Disponible en: [doi.org/10.3763/ehaz.2002.0401](https://doi.org/10.3763/ehaz.2002.0401).
- Sayer, Jeffrey et al. (2013). "Ten principles for a landscape approach to reconciling agriculture, conservation, and other competing land uses". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 110, No. 21.
- Scherr, Sara J., Seth Shames y Rachel Friedman (2012). "From climate-smart agriculture to climate-smart landscapes". *Agriculture & Food Security*, vol. 1.
- State of Oregon (2015). Natural Hazards Mitigation Plan 2015.

- Terradellas, Enric, Slobodan Nickovic y Xiao-Ye Zhang (2015). "Airborne dust: a hazard to human health, environment and society". *WMO Bulletin*, vol. 64, n.º 2, 44-48.
- Tozer, Peter R. y John F. Leys (2013). "Dust storms – What do they really cost?" *The Rangeland Journal*, vol. 35, pp. 131-142.
- Naciones Unidas (2015a). *Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030*. Disponible en: <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030>.
- Naciones Unidas (2015b). *Gender Responsive Disaster Risk Reduction. A Contribution by the United Nations to the Consultation Leading to the Third UN World Conference on Disaster Risk Reduction*. Version 2. Disponible en: [https://www.preventionweb.net/files/40425\\_gender.pdf](https://www.preventionweb.net/files/40425_gender.pdf).
- Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (2017). "Draft advocacy policy frameworks: gender, drought, and sand and dust storms". Conference of the Parties. ICCD/COP(13)19.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2013). "Gender and disaster risk reduction". Policy Brief 3. Disponible en: <http://www.undp.org/content/dam/undp/library/gender/Gender%20and%20Environment/PB3-AP-Gender-and-disaster-risk-reduction.pdf>.
- Programa de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente (2015). "Review of the Kubuqi Ecological Restoration Project: A Desert Green Economy Pilot Initiative". Nairobi.
- Programa de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente, Organización Meteorológica Mundial, Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (2016). "Global Assessment of Sand and Dust Storms". Programa de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente, Nairobi.
- Asamblea General de las Naciones Unidas (2016). "Report of the open-ended intergovernmental expert working group on indicators and terminology relating to disaster risk reduction". 1 de diciembre. A/71/644.
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction and International Science Council (2020). *Hazard Definition & Classification Review. Technical Report*. Suiza: Naciones Unidas. <https://www.undrr.org/media/47681/download>.
- Wang, Y. Q. et al. (2008). "Surface observation of sand and dust storm in East Asia and its application in CUACE/dust". *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 8, n.º 3, pp. 545-553.
- Organización Meteorológica Mundial (2009). *Recommendations for a Composite Surface-Based Aerosol Network*. GAW Report No. 207. Suiza. Disponible en: <https://www.wmo-gaw-wcc-aerosol-physics.org/files/gaw-207.pdf>.
- Organización Meteorológica Mundial (2017-2020). *Airborne Dust Bulletins No.1-4*. Ginebra (Suiza). Disponible en: [https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice\\_display&id=19826](https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=19826).
- Organización Meteorológica Mundial (2020). "Sand and Dust Storm Warning Advisory and Assessment System. Science Progress Report". Editado por el Prof. Alexander Baklanov (OMM) y el Prof. Xiaoye Zhang (CMA). Organización Meteorológica Mundial (OMM), GAW Report No. 254 & WWRP Report 2020-4. Ginebra (Suiza), junio de 2020, 55 pp. disponible en: [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=10346](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10346).





**Naciones Unidas**  
Convención de Lucha contra  
la Desertificación

**Secretaría de la Convención de las Naciones Unidas  
de Lucha contra la Desertificación (CLD)**

Platz der Vereinten Nationen 1,  
D-53113 Bonn, Alemania  
Tel: +49 (0) 228 815 2873

[www.unccd.int](http://www.unccd.int)