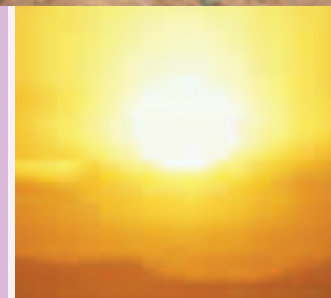


El clima y la degradación de las tierras



información climatológica – conservación de los recursos – gestión sostenible de la tierra



**Organización
Meteorológica
Mundial**

Tiempo • Clima • Agua

OMM-N° 989

2006

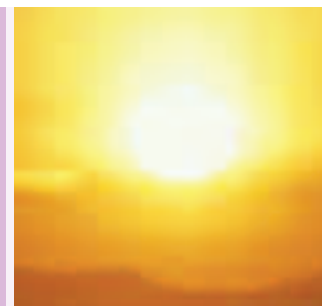
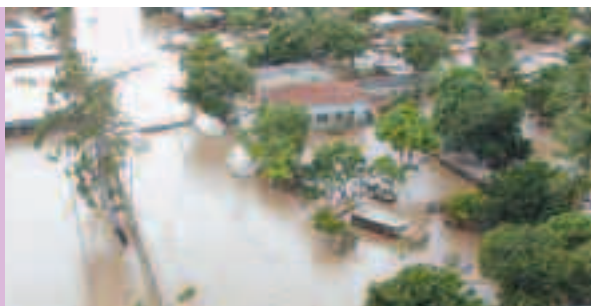
El clima y la degradación de las tierras



**Organización
Meteorológica
Mundial**

Tiempo • Clima • Agua

OMM-N° 989



información climatológica – conservación de los recursos – gestión sostenible de la tierra

OMM-N° 989
© 2006, Organización Meteorológica Mundial
ISBN 92-63-30989-2

NOTA:

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, de parte de la Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial, juicio alguno sobre la condición jurídica de ninguno de los países o territorios, ciudades o zonas citados o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de su fronteras o límites.



ÍNDICE

Prólogo	4
Introducción	6
Alcance y rapidez de la degradación de las tierras	6
Causas de la degradación de las tierras	8
Consecuencias climáticas de la degradación de las tierras	9
Factores climáticos de la degradación de las tierras	10
Precipitación	12
Crecidas	15
Sequías	15
Radiación solar, temperatura y evaporación	19
Viento	20
Causas de la erosión eólica	21
Implicaciones climáticas de las tormentas de polvo	23
Incendios forestales, degradación de tierras y emisiones atmosféricas	25
El cambio climático y la degradación de las tierras	25
El secuestro de carbono como atenuador del cambio climático y como freno a la degradación de la tierra	27
Estudio de las interacciones entre el clima y la degradación de la tierra: el papel de la OMM	27
Perspectivas para el futuro	32

PRÓLOGO

La Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CLD) entró en vigor el 26 de diciembre de 1996, y en marzo de 2002 más de 179 países eran Partes en ella. La Convención define la desertificación como “la degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas resultante de diversos factores, tales como las variaciones climáticas y las actividades humanas”.

La desertificación afecta directamente a más de 250 millones de personas. Hay, además, unos mil millones de personas en más de cien países que pueden padecer sus efectos. Entre ellas se encuentran muchos de los ciudadanos más pobres, marginados y políticamente débiles del mundo. Por consiguiente, la lucha contra la desertificación es una prioridad urgente en los esfuerzos mundiales por garantizar la seguridad alimentaria y los medios de vida de millones de personas que viven en las tierras secas de nuestro planeta.

El desarrollo sostenible de los países afectados por la sequía y la desertificación sólo podrá conseguirse mediante una serie de esfuerzos concertados, basados en un conocimiento a fondo de los factores que contribuyen a la degradación de las tierras en todo el mundo. Las variaciones climáticas están consideradas como uno de los principales factores que contribuyen a la degradación de las tierras, según se define en la Convención. Tiene más importancia prestar atención al clima como factor subyacente de la degradación de las tierras que tratar de ocuparse solamente de las consecuencias de ella. Por ejemplo, el desarrollo y adopción de prácticas de gestión sostenible de las tierras es una de las principales soluciones contra este problema en las vastas extensiones secas del planeta, pero para evaluar con precisión esas prácticas es necesario conocer los recursos climáticos y el riesgo de desastres naturales relacionados con el clima o inducidos externamente en una región determinada.



Hasta ahora se han celebrado seis períodos de sesiones de la Conferencia de las Partes (COP), en los que se han abordado varias cuestiones importantes relativas a los problemas de la sequía y de la desertificación. En el artículo 5 de la Convención, los países Partes afectados se comprometen a ocuparse de las causas subyacentes de la desertificación, y sería oportuno realizar un mayor esfuerzo por entender mejor el papel que desempeñan los factores climáticos en la degradación de las tierras. Conviene señalar, asimismo, que el artículo 16, “Reunión, análisis e intercambio de información”, subraya la importancia de integrar y coordinar la recopilación, análisis e intercambio de datos e información pertinentes a corto y a largo plazo para hacer posible la observación sistemática de la degradación de las tierras en las áreas afectadas, y para entender mejor y evaluar los procesos y efectos de la sequía y de la desertificación. Es esencial investigar las causas y efectos de las variaciones climáticas y las predicciones climáticas a largo plazo con objeto de proporcionar alertas tempranas. Estas cuestiones requieren la atención del Comité de Ciencia y Tecnología (CCT) de la COP.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM), como organismo especializado de las Naciones Unidas, promueve las aplicaciones de la meteorología y la hidrología a varios sectores, tales como la agricultura y otras actividades humanas. A este respecto, la OMM promoverá la observación, recopilación, análisis e intercambio sistemáticos de información y datos meteorológicos, climatológicos e hidrológicos; la planificación, preparación y gestión en relación con las sequías; las investigaciones sobre las variaciones del clima y las predicciones climáticas; y la creación de capacidad y la transferencia de conocimientos y tecnología. Los programas de la OMM, en especial el Programa de Meteorología Agrícola y el Programa de Hidrología y Recursos Hídricos, seguirán apoyando esos esfuerzos.

Dada la importancia de las interacciones entre el clima y la desertificación, la OMM le ha otorgado la mayor prioridad a esta área, y su plan de lucha contra la desertificación, aprobado inicialmente en 1978 durante la decimotercera reunión del Consejo Ejecutivo de la OMM, ya ha pasado por varias revisiones.

La OMM continuará alentando la creciente participación de los Servicios Meteorológicos e

Hidrológicos Nacionales (SMHN) y de los centros meteorológicos e hidrológicos regionales y subregionales en la atención que ellos prestan a estos asuntos relevantes para la CLD, especialmente aquéllos estipulados en los artículos 10 y 16 al 19 de la Convención.

Con ocasión del séptimo período de sesiones de la COP, la OMM elaboró este folleto, en el que se explica el papel que desempeñan los diversos factores climáticos en la degradación de la tierra y la contribución de la OMM a la hora de abordar esta importante cuestión. Confiamos en que este documento ayude a las Partes a comprender mejor algunos de los problemas que aquí nos ocupan, a fin de poder abordarlos con conocimiento de causa.



(M. Jarraud)
Secretario General

Introducción

La desertificación se define en la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CLD) como “la degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas resultante de diversos factores, tales como las variaciones climáticas y las actividades humanas” (esta definición excluye las tierras hiperáridas). Asimismo, la CLD define la degradación de las tierras como “la reducción o la pérdida de la productividad biológica o económica y la complejidad de las tierras agrícolas de secano, las tierras de cultivo de regadío o las dehesas, los pastizales, los bosques y las tierras arboladas, ocasionada, en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, por los sistemas de utilización de la tierra o por un proceso o una combinación de procesos, incluidos los resultantes de actividades humanas y pautas de poblamiento, tales como: i) la erosión del suelo causada por el viento o el agua; ii) el deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas o de las propiedades económicas del suelo; y iii) la pérdida duradera de vegetación natural”.

Según la CLD, la degradación de las tierras afecta directamente a más de 250 millones de personas. Hay, además, unos mil millones en más de cien países que pueden padecer sus efectos. Entre esas personas se encuentran muchos de los ciudadanos más pobres, marginados y políticamente débiles del mundo.

Desde el punto de vista de la seguridad alimentaria y de la calidad del medio ambiente mundial, el problema de la degradación de la tierra cobra una importancia fundamental cuando se tiene en cuenta que sólo alrededor de un 11 por ciento de la superficie terrestre puede considerarse como tierra de excelente calidad o de primera clase, y que ésta tiene que alimentar a los 6 300 millones de personas actuales y a los 8 200 millones previstos para 2020. Por consiguiente, la degradación de las tierras seguirá siendo uno de los temas prioritarios de la agenda internacional en el siglo XXI.

Las prácticas de gestión sostenible de la tierra son necesarias para evitar la degradación de ésta. La degradación de las tierras suele estar causada por la aplicación continuada de prácticas de gestión de la tierra o de desarrollo humano no sosteni-

bles. Para evaluar con precisión las prácticas de gestión sostenible de las tierras, es necesario conocer los recursos climáticos y el riesgo de desastres naturales relacionados con el clima o inducidos externamente en una región determinada. Sólo cuando, además de los recursos climáticos, exista la posibilidad de aplicar prácticas de gestión o de desarrollo, se podrá evaluar la degradación potencial de las tierras y examinar la tecnología apropiada para atenuar los efectos de esa degradación. El uso de información climática es imprescindible para el desarrollo de prácticas sostenibles, ya que la variación del clima es uno de los principales factores que contribuyen a la degradación de las tierras e incluso la desencadenan, y es manifiestamente necesario examinar en detalle cómo ocasiona el clima la degradación de las tierras e influye en ella.

Alcance y rapidez de la degradación de las tierras

Una evaluación mundial de la degradación de las tierras no es tarea fácil, por lo que se utilizan métodos muy diversos, como la valoración por expertos, la teledetección y la modelización. Debido a los distintos términos y definiciones, existen también grandes diferencias en cuanto a las estadísticas disponibles sobre el alcance y rapidez con que se degradan las tierras. Además, la mayoría de las estadísticas hacen referencia a los riesgos de degradación o de desertificación (basándose en factores climáticos y en el uso de la tierra) y no al estado actual de la tierra.

Los distintos procesos de degradación de la tierra introducen confusión en las estadísticas existentes sobre la degradación de suelos y/o tierras. Algunos de los principales procesos de degradación de tierras son: la erosión por efecto del agua y el viento, la degradación química (que incluye la acidificación, la salinización, el agotamiento de la fertilidad y la disminución de la capacidad de retención de cationes), la degradación física (y en particular el “acortezamiento”, la compactación, el fraguado, etc.) y la degradación biológica (reducción del carbono total y de la biomasa, y disminución de la diversidad biológica de las tierras). La degradación biológica implica problemas importantes, como la eutrofización de las aguas



superficiales, la contaminación de las aguas subterráneas, o las emisiones a la atmósfera de oligogases (CO₂, CH₄, N₂O, NO_x) en ecosistemas terrestres/acuáticos. La estructura del suelo es la principal propiedad que afecta a todos los procesos de degradación. Algunos de los factores que determinan el tipo de degradación son la calidad de la tierra –en la medida en que resulta afectada por las propiedades intrínsecas del clima–, la situación del terreno y del paisaje, y el nivel máximo de vegetación y de diversidad biológica, en especial la diversidad biológica del suelo.

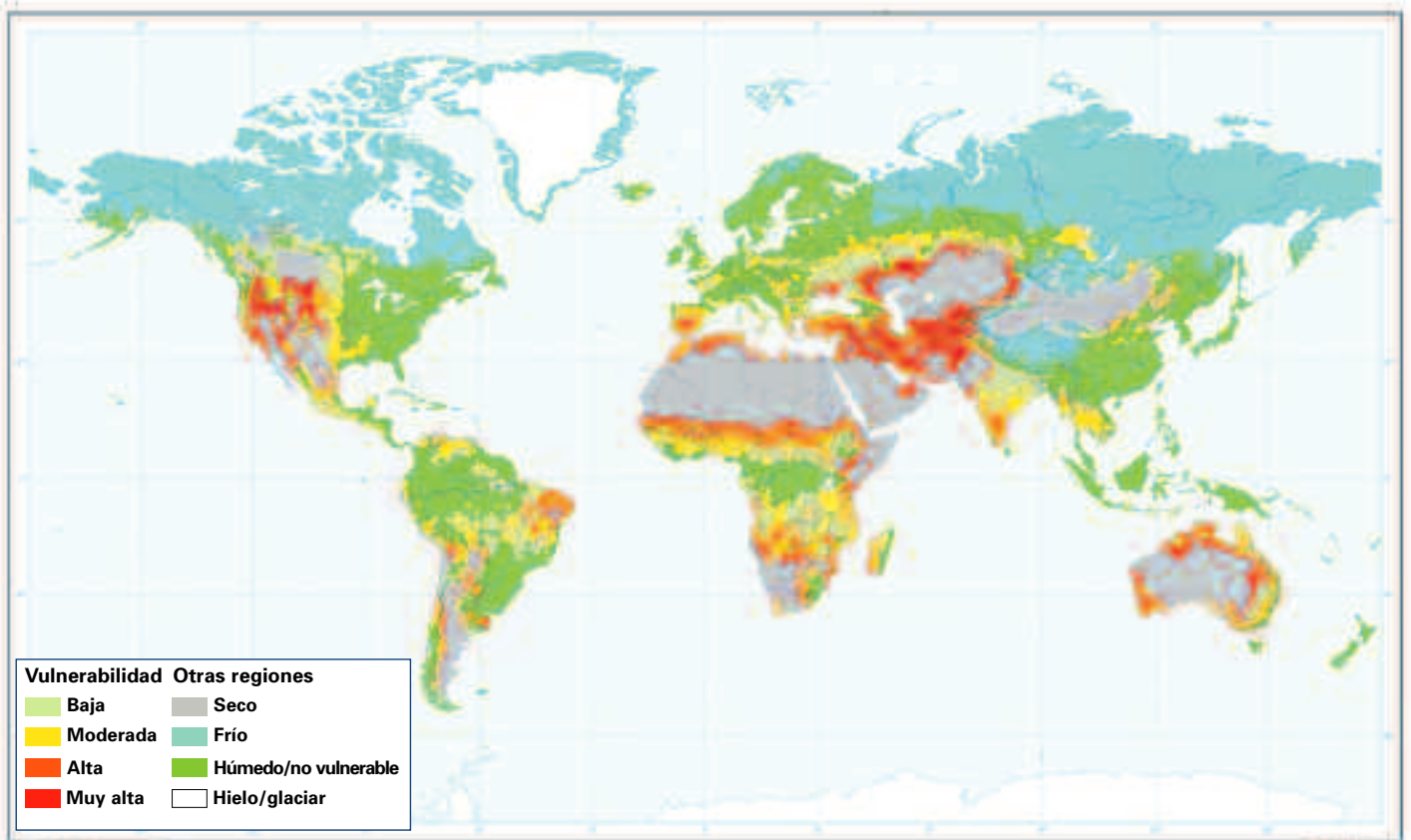
Tras evaluar los niveles de población en las tierras secas del planeta, la Oficina de Lucha contra la Desertificación y la Sequía (UNSO) del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) señaló que 54 millones de km², es decir, el 40 por ciento de la superficie terrestre del planeta, son tierras secas. Alrededor del 29,7 por ciento de esa área pertenece a la región árida; el 44,3 por ciento, a la región semiárida; y el 26 por ciento, a la región subhúmeda seca. La mayor parte de las tierras secas se encuentran en Asia (34,4 por ciento) y en África (24,1 por ciento), seguidas de las Américas (24 por ciento), Australia (15 por ciento), y Europa (2,5 por ciento).

Según puede verse en la Figura 1, las áreas del mundo vulnerables a la degradación de la tierra representan en torno al 33 por ciento de toda la superficie terrestre. A nivel mundial, se estima que los ingresos perdidos en las áreas directamente afectadas por la desertificación ascienden a unos 42 000 millones de dólares al año.

Las extensiones semiáridas a moderadamente áridas de África son especialmente vulnerables, ya que en ellas hay suelos frágiles, densidades demográficas localizadas muy elevadas y, por lo general, un tipo de agricultura de escasa aportación. Aproximadamente un 25 por ciento de las tierras de los países asiáticos son vulnerables.

La productividad alimentaria a largo plazo está amenazada por la degradación de los suelos, que es ya tan acentuada que reduce la producción en aproximadamente un 16 por ciento de las tierras agrícolas, especialmente en las tierras de cultivo de África y de América Central, y en los pastizales de África. El África subsahariana tiene la tasa de degradación de tierra más elevada. Se estima que las pérdidas de productividad en las tierras de cultivo del África subsahariana son del orden del 0,5–1 por ciento anual, lo cual parece indicar una

Figura 1. Zonas vulnerables a la desertificación en diferentes partes del mundo (Fuente: Departamento de Agricultura de los EE.UU., Servicio de Conservación de los Recursos Naturales)



pérdida de la productividad de al menos un 20 por ciento en los últimos 40 años.

África está particularmente amenazada, ya que los procesos de degradación de la tierra afectan a aproximadamente un 46 por ciento de ese continente. La importancia de esa extensa superficie se hace evidente cuando se considera que aproximadamente un 43 por ciento del continente se caracteriza como desierto extremo (los márgenes de los desiertos representan las áreas de muy alta vulnerabilidad). Tan sólo un 11 por ciento aproximadamente de la masa terrestre es húmeda y, por definición, queda excluida de los procesos de desertificación. Unos 2,5 millones de km² de superficie terrestre son de bajo riesgo; 3,6 millones de km², de riesgo moderado; 4,6 millones de km², de alto riesgo; y 2,9 millones de km², de muy alto riesgo. La región de mayor propensión se encuentra en las márgenes de los desiertos, y ocupa en torno a un 5 por ciento de la masa terrestre. Según se estima, habitan en esa área unos 22 millones de personas (el 2,9 por ciento de la población total). Las zonas de vulnerabilidad baja, moderada y alta ocupan el 14, el 16 y el 11 por ciento respectivamente, y afectan en su conjunto a unos 485 millones de personas.

La degradación de la tierra es también un problema grave en Australia, donde se estima que un 68 por ciento aproximadamente de las tierras se ha degradado (Tabla 1).

Según la CLD, son consecuencia de la degradación de la tierra el debilitamiento de la producción de alimentos, las hambrunas, el aumento de los costos sociales, la disminución de la cantidad y

calidad del suministro de agua dulce, el aumento de la pobreza y de la inestabilidad política, una menor resistencia de las tierras ante la variabilidad natural del clima, y una menor productividad de los suelos.

Causas de la degradación de las tierras

En la degradación de las tierras intervienen dos sistemas complejos conectados entre sí: el ecosistema natural, y el sistema social humano. Las fuerzas de la naturaleza, mediante el desgaste periódico causado por fenómenos climáticos extremos y persistentes, y el uso y abuso por los seres humanos de los ecosistemas sensibles y vulnerables de las tierras secas, suelen obrar de forma conjunta, dando con ello lugar a procesos de reforzamiento que no se entienden completamente. Las interacciones entre ambos sistemas determinan el éxito o el fracaso de los programas de gestión de recursos. Las causas de la degradación de las tierras no son sólo biofísicas, sino también socioeconómicas (por ejemplo, el régimen de tenencia de las tierras, la mercadotecnia, el apoyo institucional, los ingresos y la salud humana) y políticas (por ejemplo, los incentivos, la estabilidad política).

Una alta densidad demográfica no está necesariamente relacionada con la degradación de las tierras. Es, más bien, lo que la población hace con las tierras lo que determina el alcance de la degradación. Las personas pueden desempeñar un papel determinante a la hora de invertir la tendencia a la degradación. Es más, sólo se conseguirá atenuar los efectos de la degradación de las tierras si sus usuarios controlan y se comprometen a

Tipo	Superficie (en miles de km ²)
Total	443
No degradadas	142
Degradadas	301
i) Erosión por agua	206
ii) Erosión por viento	52
iii) Erosión por agua y viento	42
iv) Salinidad y erosión por agua	0,9
v) Otros	0,5

Tabla 1. Degradación de las tierras de cultivo en Australia
(Fuente: Woods, 1983; Mabbutt, 1992).



mantener la calidad de los recursos. Sin embargo, los usuarios han de ser prósperos y estar motivados política y económicamente para ocuparse de las tierras, ya que la agricultura de subsistencia, la pobreza y el analfabetismo pueden ser causas importantes de la degradación de la tierra y del medio ambiente.

Existen muchas razones, normalmente interrelacionadas, por las que los usuarios de las tierras permiten la degradación de éstas. Muchas de esas razones tienen que ver con la percepción social de la tierra y con el valor que se le atribuye. La ausencia de un régimen de tenencia de las tierras y la falta de protección que ello conlleva constituyen una de las principales limitaciones para cuidar debidamente de las tierras en algunos países. La degradación es, además, un proceso lento e imperceptible, por lo que muchas personas no son conscientes de que sus tierras se están degradando.

La pérdida de vegetación puede propagar aún más la degradación de las tierras mediante el efecto de reforzamiento recíproco entre la superficie terrestre y la atmósfera. Este efecto se produce cuando la disminución de la vegetación reduce la evaporación e incrementa la radiación reflejada a la atmósfera (albedo), frenando con ello el proceso de formación de nubes. Experimentos de gran escala mediante modelos numéricos de la circulación general con un valor de albedo artificialmente alto en tierras secas parecen indicar que el notable aumento del albedo en áreas subtropicales podría aminorar la precipitación.

Consecuencias climáticas de la degradación de las tierras

La superficie terrestre es una parte importante del sistema climático. La interacción entre la superficie terrestre y la atmósfera responde a múltiples procesos y efectos de respuesta, todos los cuales pueden variar simultáneamente. Se suele señalar que el cambio de tipo de vegetación puede modificar las características de la circulación atmosférica regional y los flujos de humedad externos en gran escala. Las variaciones del balance energético en la superficie como consecuencia de las variaciones en la superficie terrestre pueden influir enormemente en el clima de nuestro planeta.



Tras la deforestación, la evapotranspiración en la superficie y el flujo de calor detectable están relacionados con la estructura dinámica de las capas bajas de la atmósfera. Esas variaciones del flujo en la columna atmosférica pueden influir en la circulación atmosférica a escala regional y, posiblemente, mundial. En la cuenca del Amazonas, por ejemplo, los cambios en la cubierta forestal afectan al flujo de humedad hacia la atmósfera, a la convección a escala regional y, por consiguiente, a las precipitaciones regionales. Investigaciones más recientes evidencian que esos cambios de la cubierta forestal tienen repercusiones mucho más allá de la cuenca del Amazonas.

La fragmentación del paisaje puede afectar a los regímenes de flujo convectivo y a las pautas de precipitación a nivel local y mundial. Los episodios de El Niño, y simulaciones de cambios en la superficie terrestre realizadas mediante modelos climáticos, sugieren que en las regiones ecuatoriales, donde suelen producirse tormentas eléctricas de gran desarrollo vertical, una perturbación de centenares de kilómetros de longitud puede tener repercusiones en todo el planeta.

La utilización de un modelo de simulación numérico para estudiar las interacciones entre las nubes convectivas, la capa límite convectiva y una superficie forestada evidenció que parámetros de la superficie tales como la humedad del suelo, la cubierta forestal, o la transpiración y la rugosidad

Figura 2. La superficie de la Tierra constituye una parte importante del sistema climático y sus parámetros pueden afectar las precipitaciones

de la superficie, pueden afectar a la formación de nubes convectivas y a las precipitaciones mediante sus efectos sobre el crecimiento de la capa límite.

Se ha utilizado también un modelo de circulación general de la atmósfera con propiedades de la superficie terrestre realistas para investigar el efecto climático que tendría una duplicación de la extensión de los desiertos en la mayoría de las regiones de la Tierra. Este experimento evidenció una apreciable correlación entre las disminuciones de la evapotranspiración y la precipitación consiguiente. Se puso de manifiesto que África septentrional padece una fuerte sequía durante todo el año, mientras que África austral sufre una sequía algo menos intensa a lo largo del año. Algunas regiones, en particular el Sahel, registraron un aumento de la temperatura en superficie debido a la disminución de la humedad del suelo y del flujo de calor latente.

Los cambios de uso de la tierra y de la cubierta terrestre influyen en los flujos de carbono y en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que alteran directamente la composición de la atmósfera y las propiedades del forzamiento radiativo. También modifican las características de la superficie terrestre e, indirectamente, los procesos climáticos. Observaciones realizadas durante el proyecto HAPEX-Sahel parecen indicar que la transformación masiva de sabanas en barbecho en cultivos de laboreo, como el mijo, podría redundar en una disminución de la evaporación. Los cambios de uso de la tierra y de la cubierta terrestre constituyen un factor importante a la hora de determinar la vulnerabilidad de los ecosistemas (Figura 3) y de los paisajes frente a los cambios del medio ambiente.

Desde la revolución industrial, las emisiones mundiales de carbono (C) ascienden, según se estima, a 270 ± 30 gigatoneladas (Gt) por efecto de la combustión de combustibles de origen fósil, y a 136 ± 5 Gt por efecto de los cambios de uso de la tierra y por el cultivo del suelo. Las emisiones vinculadas al cambio de uso de la tierra se producen por deforestación, quema de biomasa, conversión de ecosistemas naturales en ecosistemas agrícolas, drenaje de humedales, y cultivo del suelo. El agotamiento del contingente de carbono orgánico del suelo ha aportado a la atmósfera 78 ± 12 Gt de

carbono, de las cuales un tercio se atribuye a la degradación de los suelos y a la aceleración de la erosión, y dos tercios a la mineralización.

La degradación de las tierras acentúa el cambio climático inducido por el CO_2 , como consecuencia del CO_2 emitido por la vegetación cortada y muerta, y por efecto de un menor potencial de secuestro de carbono en las tierras degradadas.

Factores climáticos de la degradación de las tierras

El clima ejerce una gran influencia sobre el tipo de vegetación, la biomasa y la diversidad de las tierras secas. La precipitación y la temperatura determinan la distribución potencial de la vegetación terrestre, y constituyen los principales factores en la génesis y evolución del suelo. Las precipitaciones influyen también en la producción de vegetación, que a su vez controla la frecuencia espacial y temporal del pastoreo y favorece el nomadismo. La cubierta vegetal se vuelve cada vez más delgada y menos continua a medida que disminuye la precipitación anual. Las plantas y animales de tierras secas exhiben muy diversas adaptaciones fisiológicas, anatómicas y de comportamiento al estrés hídrico y térmico que conllevan las fuertes variaciones diurnas y estacionales de la temperatura, de la precipitación y de la humedad del suelo.

Las temperaturas generalmente elevadas y la escasa precipitación en las tierras secas dan lugar a una producción escasa de materia orgánica y a una rápida oxidación. La escasez de materia orgánica hace que ésta se acumule poco y de manera inestable, lo cual favorece en gran medida la erosión por el viento y el agua. Por ejemplo, la erosión por efecto del viento y del agua está muy extendida en muchas partes de África. Sin contar los desiertos ya existentes, que ocupan aproximadamente un 46 por ciento de la masa terrestre, un 25 por ciento aproximadamente de las tierras es proclive a la erosión por efecto del agua; y en torno a un 22 por ciento, a la erosión por efecto del viento.

Las costras/sellados estructurales formados por el impacto de las gotas de lluvia, que aminoran la infiltración, incrementan la escorrentía y generan flujos superficiales y erosión. El rigor, la frecuencia

Figura 3. El uso de la tierra es un factor importante para determinar la vulnerabilidad de los ecosistemas



Clase de estrés	Factores que afectan a los recursos terrestres		Calidad inherente a las tierras		
	Tipo de estrés	Superficie (miles de km ²)	Clase	Superficie (miles de km ²)	Superficie (%)
1	Pocas limitaciones	118,1	I	118,1	0,4
2	Contracción/dilatación elevada	107,6	II		
3	Bajo nivel de materia orgánica	310,9	II		
4	Alta temperatura del suelo	901,0	II	1 319,6	4,5
5	Exceso de agua estacional	198,9	III		
6	Restricciones menores de las raíces	566,5	III		
7	Corta duración de las bajas temperaturas	0,014	III	765,4	2,6
8	Baja estabilidad estructural	333,7	IV		
9	Alta capacidad de intercambio de aniones	43,8	IV		
10	Drenaje obstaculizado	520,5	IV	898,0	3,1
11	Estrés hídrico estacional	3 814,9	V		
12	Alta concentración de aluminio	1 573,2	V		
13	Suelos calcáreos, yesos	434,2	V		
14	Lixiviación de nutrientes	109,9	V	5 932,3	20,2
15	Baja capacidad de retención de nutrientes	2 141,0	VI		
16	Fuerte retención de P y N	932,2	VI		
17	Sulfato ácido	16,6	VI		
18	Bajos niveles de humedad y de nutrientes	0	VI		
19	Baja capacidad de retención del agua	2 219,5	VI	5 309,3	18,1
20	Alta concentración de materia orgánica	17,0	VII		
21	Salinidad/alcalinidad	360,7	VII		
22	Suelos poco profundos	1 016,9	VII	1 394,7	4,8
23	Tierras empinadas	20,3	VIII		
24	Prolongación de las bajas temperaturas	0	VIII	20,3	0,1
25	Prolongación del estrés hídrico	13 551,4	IX	13 551,4	46,2
Superficie terrestre	29 309,1				
Masas de agua	216,7				
Superficie total	29 525,8				

Tabla 2. Evaluación de los factores que afectan a los principales recursos terrestres y a la calidad de las tierras en África

(Fuente: Reich, P.F., S.T. Numben, R.A. Almaraz y H. Eswaran, 2001. *Land resource stresses and desertification in Africa*. En: Eds. Bridges, E.M., I.D. Hannam, F.W.T. Penning de Vries, S.J. Scherr y S. Sombatpanit, 2001. *Response to Land Degradation*. Sci. Publishers, Enfield, EE.UU. 101-114)

y el alcance de la erosión se verán probablemente alterados por las variaciones de la cantidad e intensidad de la precipitación y por los cambios del viento.

La gestión de las tierras seguirá siendo el factor determinante del contenido de materia orgánica

del suelo y de su susceptibilidad a la erosión en los próximos decenios. Sin embargo, las variaciones de la cubierta vegetal resultantes de las variaciones del tiempo a corto plazo y de las variaciones del clima a muy corto plazo afectarán probablemente a la dinámica y erosión de la materia orgánica, especialmente en las regiones semiáridas.

La evaluación de las presiones ejercidas sobre los recursos terrestres y de la desertificación en África realizada por el Servicio de Conservación de los Recursos Naturales del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, basada en información sobre los recursos del suelo y del clima en África, permite concluir (véase la Tabla 2) que la presión ejercida por el clima representa un 62,5 por ciento de la presión total conducente a la degradación de las tierras de África. Las causas son la alta temperatura del suelo, el exceso de agua estacional, la corta duración de las bajas temperaturas, el estrés hídrico estacional y el estrés hídrico prolongado, y afectan a 18,5 millones de km² de las tierras de África. El estudio pone claramente de manifiesto hasta qué punto es necesario un análisis más exhaustivo de los factores climáticos en la degradación de las tierras.

Según la base de datos del Centro de investigación de la epidemiología de los desastres (CRED) de Bélgica, los fenómenos peligrosos relacionados con el tiempo, el clima y el agua acaecidos entre 1993 y 2002 ocasionaron un 63 por ciento de los daños totales causados por desastres naturales, que ascendieron a 654 000 millones de dólares de los Estados Unidos. Estos fenómenos naturales son, pues, los más frecuentes y los más observados (Figura 4), y todos ellos repercuten considerablemente en la degradación de las tierras.

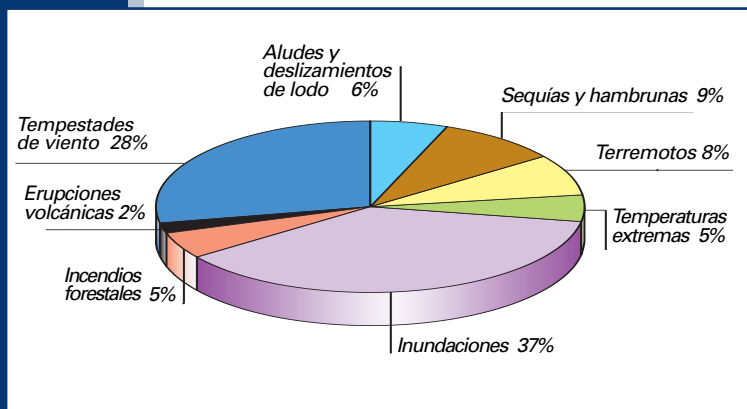
Precipitación

La precipitación es el factor climático más importante a la hora de determinar las áreas amenazadas

por la degradación del suelo y por la desertificación. La precipitación desempeña un papel crucial en el desarrollo y distribución de la flora, pero la variabilidad de las lluvias y las lluvias extremas pueden dar lugar a la erosión del suelo y a la degradación de la tierra (Figura 5). Si no se controla durante un período de tiempo, esa degradación puede degenerar en desertificación. La interacción de la actividad humana y sus efectos sobre la distribución de la vegetación mediante prácticas de gestión de las tierras, y unas precipitaciones de lluvia aparentemente benignas, pueden hacer las tierras más vulnerables a la degradación. Esta vulnerabilidad es aún más grave si añadimos la perspectiva del cambio climático.

La precipitación y la temperatura son los principales factores que determinan el clima mundial y, por consiguiente, la distribución de los distintos tipos de vegetación. Existe una estrecha correlación entre la precipitación y la biomasa, ya que el agua constituye uno de los aportes principales a la fotosíntesis. Los climatólogos utilizan el "índice de aridez" (el cociente entre las precipitaciones anuales y la evaporación potencial) para facilitar la clasificación de las áreas desérticas (áridas) o semiáridas. Las tierras secas existen porque la pérdida de agua anual (evaporación) es superior a la precipitación anual, por lo que estas regiones adolecen de un déficit hídrico continuo. Los desiertos son el más claro ejemplo de un clima en el que la evaporación anual es muy superior a la precipitación anual. En los casos en los que el déficit hídrico anual no es tan grande, algunas especies vegetales pueden arraigar, normalmente en forma de pastizales o de estepas. Esas tierras secas, sin embargo, situadas en los márgenes de los desiertos son las más susceptibles a la desertificación y representan el caso más extremo de degradación de la tierra. Algunas de estas regiones son la pampa de América del Sur, las grandes estepas rusas, las grandes planicies de América del Norte, y las sabanas del África austral y de la región del Sahel en el África occidental. Con una variabilidad normal del clima, el déficit hídrico puede ser mayor en algunos años que en otros, aunque en ocasiones el déficit hídrico o la sequía prolongada pueden durar varios años consecutivos. Durante ese período existen varios ejemplos de degradación de las tierras: la denominada 'Cuenca de Polvo' durante los años 30, en las grandes planicies de América del Norte, o la prolongada sequía del

Figura 4. Distribución mundial de los desastres naturales (1993-2002)



Sahel, que duró casi dos decenios (años 70 y 80). Fue este período de sequía del Sahel el que suscitó la actual preocupación por la desertificación.

Desde hace más de un siglo geotécnicos, agrónomos, geólogos, hidrólogos e ingenieros vienen recopilando y analizando datos sobre la erosión del suelo. A partir de estas investigaciones, los científicos han desarrollado una relación simple para la erosión del suelo, que incorpora los principales factores de ese tipo de erosión. La ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) fue desarrollada a mediados de los años 60 con objeto de desentrañar el proceso de erosión del suelo para aplicaciones agrícolas. En 1985, esta ecuación fue actualizada y rebautizada como 'ecuación universal revisada de la pérdida de suelo' (RUSLE), de modo que incorporase el gran volumen de información acumulada desde el establecimiento de la ecuación inicial, y con objeto de abordar aplicaciones relacionadas con usos de la tierra distintos a los agrícolas; por ejemplo, la pérdida de suelos causada por la minería y la construcción, o los terrenos ganados al agua. La RUSLE se deriva de la teoría de la erosión del suelo y de más de 10 000 años de datos obtenidos de gráficas de precipitación natural de lluvia y de numerosas simulaciones de precipitación.

**LA RUSLE SE DEFINE COMO:
A = R K L S C P**

donde A es la pérdida de suelo anual (t/ha/año); R representa el factor de erosividad de la precipitación-escorrentía; K es el factor de erosionabilidad del suelo; L representa la longitud de la pendiente; S es el grado de inclinación de la pendiente; C representa la gestión de la cubierta, y P denota un factor que representa las prácticas coadyuvantes. Esos factores ilustran la interacción entre diversos factores climáticos, geológicos y humanos, y la posibilidad de que las prácticas de gestión inteligente de las tierras reduzcan al mínimo la erosión del suelo e incluso la degradación de la tierra.

Las precipitaciones extremadamente abundantes o escasas pueden producir la erosión del suelo, que a su vez puede dar lugar a la degradación de la tierra (Figura 6). Sin embargo, los geotécnicos consideran la precipitación como el principal factor

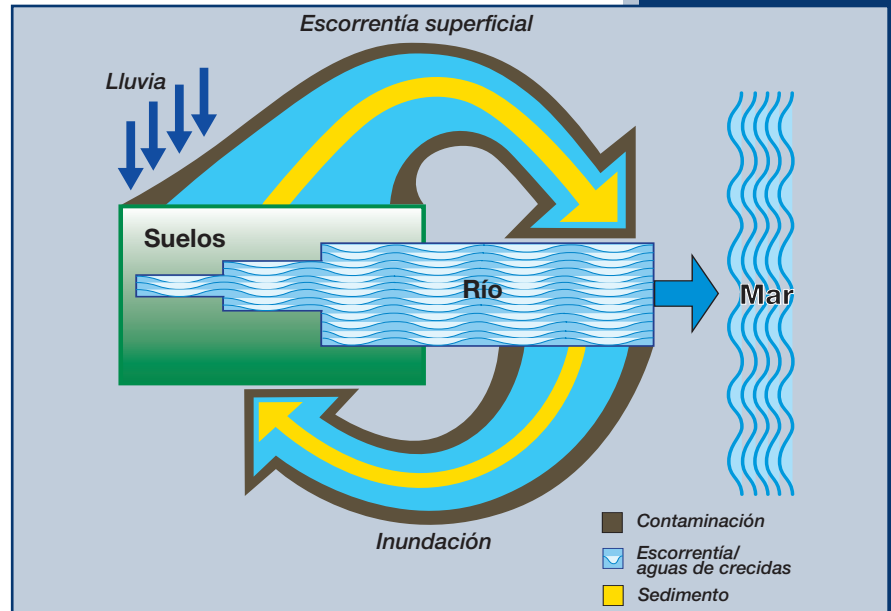


Figura 5. Diagrama esquemático de los procesos inducidos por las precipitaciones de lluvia que participan en la degradación de la tierra

de erosión del suelo, de entre los muchos factores que la causan. La precipitación puede erosionar el suelo por efecto de las gotas de lluvia, de la escorrentía superficial y subsuperficial, y de las crecidas fluviales. La velocidad con la que la lluvia cae en la superficie produce una gran cantidad de energía cinética que puede arrancar partículas del suelo. Puede producirse también ese tipo de erosión a escala microscópica cuando un suelo fácilmente soluble se vuelve hidrosoluble gracias a la presencia de ácidos moderadamente agresivos en el agua de lluvia. La ruptura y salpicadura de las partículas del suelo por efecto de las gotas de lluvia constituye sólo la primera fase del proceso, seguida del arrastre de las partículas del suelo y de la posterior erosión causada por el agua en movimiento. En cualquier caso, si no hay escorrentía superficial el grado de erosión del suelo por efecto de las precipitaciones es relativamente pequeño.

Una vez arrancadas del suelo, las partículas pueden ser arrastradas por la escorrentía. En términos generales, cuanto más intensa sea la lluvia mayor será la cantidad de partículas del suelo que arrastre la escorrentía. En el caso de las lluvias ligeras de larga duración, casi todo el arrastre de suelo tiene lugar bajo el agua, y las partículas del suelo son en su mayoría finas. Cuando más intensas sean la lluvia y la posterior escorrentía superficial, mayor será el tamaño de las partículas de suelo arrastradas. Uno de los factores decisivos que determina la

Figura 6. Los extremos, ya sea demasiada o muy poca lluvia, pueden producir erosión del suelo que a su vez puede conducir a la degradación de la tierra



erosión del suelo por la lluvia es la permeabilidad del suelo, que influye indirectamente en la cantidad total de suelo perdido y en las pautas de erosión de las pendientes. Una de las desafortunadas consecuencias de la escorrentía es el consiguiente transporte de productos químicos agrícolas y la lixiviación de esos productos hacia las aguas freáticas.

La intensidad de precipitación es el factor más importante de los que determinan la erosión del suelo por efecto de la lluvia. La precipitación en las tierras secas es, por naturaleza, variable en cantidad e intensidad, al igual que la subsiguiente escorrentía. La escorrentía superficial suele ser más abundante en las tierras secas que en regiones más húmedas, ya que en las tierras secas los suelos tienden a formar cortezas impermeables por efecto de tormentas intensas, y carecen prácticamente de cubierta vegetal o de humus. En esos casos, el transporte de suelo puede llegar a ser un orden de magnitud mayor por unidad de cantidad de movimiento de las gotas de lluvia que cuando la superficie del suelo posee abundante vegetación. Cuanto menos densa es la cubierta vegetal, más vulnerable será la superficie del suelo al arranque causado por las gotas de lluvia y por la escorrentía

superficial. También las pautas de precipitación pueden desempeñar un papel decisivo en la erosión del suelo y en la consiguiente degradación de la tierra. Un inicio errático de la estación de lluvias, sumado a una precipitación intensa, producirá un mayor impacto, ya que no habrá una vegetación estacional que intercepte la lluvia o que estabilice el suelo con sus raíces.

Los científicos están actualmente tratando de integrar todos esos factores en modelos que puedan utilizarse para predecir la erosión del suelo. El Proyecto de predicción de la erosión por el agua (WEPP, por sus siglas en inglés) es un modelo de predicción de la erosión basado en procesos, con parámetros distribuidos y simulación continua, que puede utilizarse en computadoras personales y aplicarse a escala real para simular la erosión en las laderas o la erosión más compleja de las cuencas hidrográficas. El modelo imita los procesos naturales importantes en la erosión del suelo. Además, actualiza las condiciones del suelo y de los cultivos que día a día afectan a la erosión del suelo. Cuando se producen lluvias, se utilizan las características de la vegetación y del suelo para determinar si habrá escorrentía superficial. El modelo WEPP consta de varios componentes conceptuales, entre ellos: el clima y el tiempo (precipitación, temperatura, radiación solar, viento, congelación–deshielo, acumulación y fusión de nieve), el riego (riego por aspersión, estacionario o en surcos), la hidrología (infiltración, almacenamiento en depresiones, escorrentía), el balance hídrico (evapotranspiración, percolación, drenaje), los suelos (tipos y propiedades), el crecimiento de los cultivos (tierras de cultivo, pastizales, tierras forestales), la gestión y descomposición de residuos, los efectos del laboreo en la infiltración y en la erosionabilidad, la erosión (intersurcos, surcos, canales), la deposición (surcos, canales y embalses), el caudal de sedimento, la organización por tamaños y el enriquecimiento del sedimento.

Cabe señalar, en particular, el impacto de otras formas de precipitación en la erosión del suelo. El granizo produce graves efectos en la superficie del suelo, ya que su energía cinética es varias veces superior a la de la lluvia, con lo que se destruye una superficie de suelo mucho mayor y una mayor cantidad de partículas son arrastradas. Además, si una granizada viene acompañada de fuertes

lluvias, como ocurre con ciertos tipos de tormentas, la erosión puede llevarse grandes cantidades de suelo, sobre todo en tierras agrícolas, antes de que los cultivos puedan estabilizar la superficie del suelo. La erosión por deshielo de nieve se produce cuando durante el período frío el suelo se congela y el proceso de congelación arranca partículas de su superficie, de modo que cuando llega el deshielo primaveral la escorrentía se lleva las partículas finas del suelo. Este tipo de erosión puede producir con frecuencia mayores pérdidas de suelo que la erosión por efecto de la lluvia. Además, cuando el suelo se congela, la tasa de infiltración se reduce enormemente, de manera que cuando llega el deshielo la erosión del suelo puede ser relativamente intensa aun cuando sea pequeña la cantidad de nieve fundida. En tales casos, los procesos erosivos pueden multiplicarse si concurren fuertes lluvias y un aflujo repentino de aire caliente. Las laderas de sotavento de las formaciones montañosas son susceptibles a este efecto, ya que suelen ser más secas, tienen menos vegetación, y son propensas a los vientos catabáticos (el aire que desciende a gran velocidad de una cordillera se calienta muy rápidamente).

Crecidas

Los ríos de las tierras secas tienen flujos extremadamente variables, y tanto su caudal como la cantidad de sedimento que transportan en suspensión son muy sensibles a las fluctuaciones de la precipitación y a toda variación de la cubierta vegetal en

las cuencas. La pérdida de vegetación en las cabezas de los ríos de las tierras secas puede incrementar la carga de sedimento y cambiar drásticamente el carácter del río, que se haría menos estable y más estacional, y estaría caracterizado por una serie de canales rápidamente cambiantes. Sin embargo, las lluvias pueden producir la degradación de la tierra en otros climas, particularmente los subhúmedos. Las lluvias excesivas, ya estén producidas por tormentas, huracanes y tifones, o por sistemas de baja presión en latitudes medias, pueden generar una gran cantidad de agua en poco tiempo en zonas localizadas. Este exceso de agua anega la cuenca hidrológica local y produce las crecidas de los ríos (Figura 7). Como todos sabemos, se trata de un fenómeno natural que ha ocurrido durante millones de años y que continuamente da forma a la tierra. Las crecidas de los ríos se dan en todo tipo de climas, pero es en las tierras secas donde el problema es más agudo.

Sequías

La sequía es un fenómeno natural peligroso derivado de una deficiencia de precipitación que ocasiona escasez de agua para algunas actividades o grupos. Es consecuencia de una disminución del volumen de las precipitaciones durante un período prolongado, por lo general una o más estaciones; este fenómeno suele estar asociado a otros factores climáticos, por ejemplo, temperaturas elevadas, vientos fuertes y humedad relativa baja, que pueden agravar la intensidad del fenómeno. Por



Figura 7. Las inundaciones de los campos de cultivo debidas a lluvias intensas son comunes en las regiones semiáridas

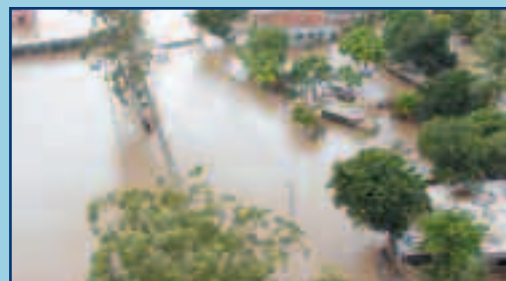
Predicción de crecidas

Las crecidas se producen cuando el agua de lluvia o la nieve fundida se acumula más rápidamente de lo que pueden absorber los suelos o de lo que llevan los ríos. Existen diversos tipos de crecidas (desde crecidas repentinas localizadas hasta crecidas de los ríos generalizadas) que pueden ser ocasionadas por intensas tormentas, ciclones tropicales, monzones, barreras de hielo o nieve fundida. En las zonas costeras, las mareas de tempestad causadas por ciclones tropicales, tsunamis o ríos crecidos por mareas excepcionalmente altas pueden provocar crecidas, mientras que los grandes lagos pueden desbordarse cuando los ríos que desembocan en ellos llevan mucha nieve fundida. Por consiguiente, las crecidas pueden contribuir a la degradación de las tierras en casi todo tipo de clima, pero los climas de las tierras secas son especialmente vulnerables debido a la limitada cantidad de vegetación cuyas raíces retienen el suelo.

La predicción de las crecidas es un proceso complejo que debe tener en cuenta muchos factores distintos a la vez, dependiendo del tipo y la naturaleza del fenómeno que produce las crecidas. Por ejemplo, las crecidas repentinas generalizadas suelen ser provocadas por las fuertes lluvias caídas en una zona dentro de una zona más extensa de lluvia más ligera; se trata de una situación confusa que hace difícil predecir el lugar en el que se producirá la peor crecida. La predicción de crecidas causadas por fuertes lluvias o mareas de tempestad que pueden azotar la tierra firme como parte de un ciclón tropical también puede ser una tarea compleja, ya que las predicciones tienen que incluir el lugar al que llegarán estos fenómenos, la fase de su evolución y las características físicas de la costa.

Para hacer predicciones lo más precisas posibles, los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN), bajo los auspicios de la OMM, realizan la predicción de las crecidas sobre la base de las predicciones cuantitativas de las precipitaciones, que han cobrado mayor precisión en los últimos años, sobre todo en lo que respecta a cantidades ligeras y moderadas de precipitación, si bien sigue siendo difícil predecir grandes cantidades o episodios poco frecuentes. Por ello, el establecimiento de sistemas de predicción que combinen la predicción del tiempo con la de episodios relacionados con el agua es cada vez más posible, preparando así el terreno para un enfoque realmente integrado.

Asimismo, la predicción ha de ser un esfuerzo cooperativo y multidisciplinario. Dada la variedad de problemas o la complejidad de factores que rodean a las crecidas, los encargados de la gestión de crecidas han de aunar sus fuerzas con meteorólogos, hidrólogos, planificadores urbanos y autoridades de defensa civil que utilizan modelos integrados. Determinar las repercusiones socioeconómicas de las crecidas supondrá el examen exhaustivo de la construcción o de otras actividades en los canales fluviales o alrededor de ellos. La información actualizada y precisa es fundamental por todas las vías posibles: la observación en superficie, la teledetección y la tecnología satelital, así como los modelos informáticos.



ejemplo, la sequía relacionada con El Niño 2002-03 en Australia, que se extendió de marzo de 2002 a enero de 2003, fue posiblemente una de las peores sequías a corto plazo –si no la peor– que se han registrado en Australia. El análisis de los registros de precipitación durante esos 11 meses mostró que el 90 por ciento del país había recibido lluvias inferiores a la mediana de largo período, y que un 56 por ciento había recibido lluvias en cantidades comprendidas en el 10 por ciento más bajo de los valores totales registrados (es decir, en el primer decilo) (los registros de precipitación en toda Australia empezaron en 1900). Durante la sequía de 2002-03, Australia sufrió incendios generalizados, tormentas de polvo intensas y graves efectos en la agricultura que produjeron un descenso del uno por ciento en su Producto Interior Bruto (PIB). Los primeros cinco meses de 2005 fueron excepcionalmente secos en gran parte del país (Figura 8), lo que hizo que muchos calificaran a ese período de sequía realmente excepcional.

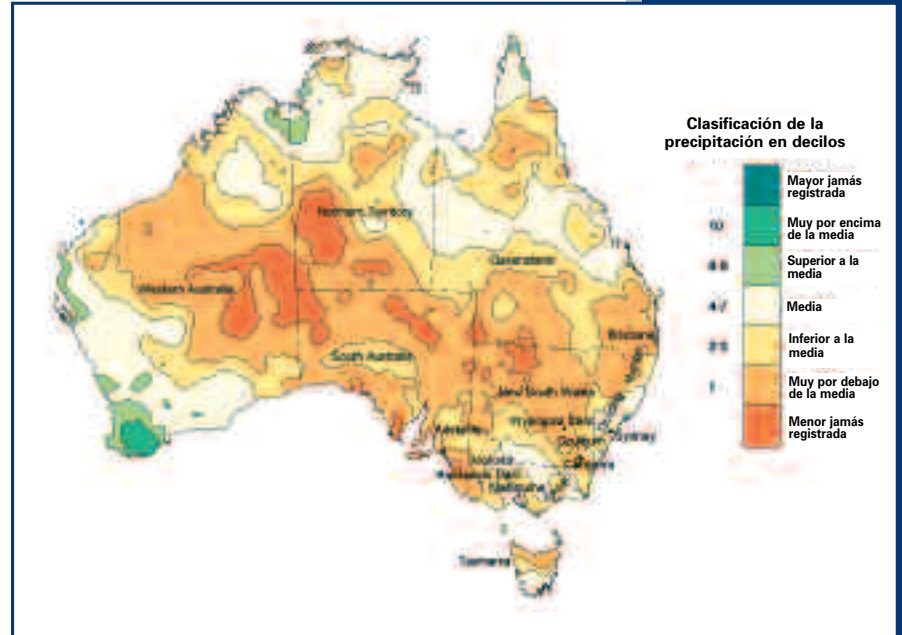


Figura 8. Decilos de precipitación de lluvia entre enero y mayo de 2005 en Australia

Las sequías generalizadas en ciertas zonas áridas han iniciado, o agravado, la degradación de las tierras. Los registros muestran que extensas sequías han afectado a África, con episodios graves en 1965–1966, 1972–1974, 1981–1984, 1986–1987, 1991–1992 y 1994–1995. Las repercusiones totales acumulados de la sequía en las economías de África pueden ser cuantiosas: un 8–9 por ciento del PIB en Zimbabue y Zambia en 1992, y un 4–6 por ciento del PIB en Nigeria y Níger en 1984. En los últimos 25 años, el Sahel ha sufrido la disminución de las precipitaciones más sustancial y prolongada que se haya registrado en el mundo desde que se toman medidas con instrumentos. Las sequías del Sahel durante los años 70 fueron excepcionalmente intensas, fueron calificadas de “quintaesencia de una emergencia medioambiental de primer orden”, y sus repercusiones a largo plazo empiezan ya a hacerse patentes (Figura 9).

dientes al período 1901-1985 mostró que los períodos húmedos y secos persistentes del Sahel estaban relacionados con unas pautas claramente diferenciadas de las anomalías de SST a escala casi mundial. Entre 1982 y 1990, se apreció una correlación entre las anomalías de SST vinculadas al ciclo ENOA y la producción de vegetación en África. Las aguas más cálidas de la parte oriental del Pacífico ecuatorial durante los episodios de ENOA estaban correlacionadas con el índice de precipitación, inferior a 1 000 mm anuales, que se registró en algunas regiones de África.

Las anomalías en la temperatura de la superficie del mar (SST, por sus siglas en inglés), que suelen estar relacionadas con El Niño/Oscilación Austral (ENOA) o con la Oscilación del Atlántico Norte (OAN), contribuyen a la variabilidad de las precipitaciones en el Sahel. Las sequías del África occidental están correlacionadas con unas SST altas en la franja tropical del Atlántico Sur. El examen de los datos oceanográficos y meteorológicos correspon-

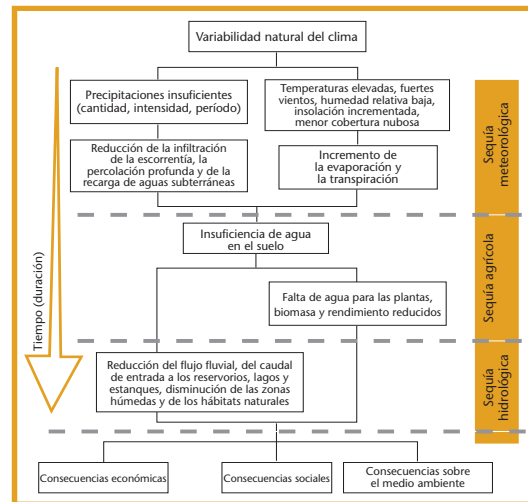


Figura 9. Tipos de sequía y sus efectos

Prevención y gestión de las sequías

La sequía puede definirse como un rasgo normal y recurrente del clima que se da en casi todos los regímenes climáticos. Tiene lugar en zonas con un índice de precipitación alto o bajo. Se trata de una anomalía temporal, a diferencia de la aridez, que es un rasgo permanente del clima restringido a zonas con un índice de precipitación bajo. La sequía es la consecuencia de la disminución natural de la cantidad de precipitación recibida en un período de tiempo prolongado, normalmente una estación o más. La sequía está también relacionada con el tiempo cronológico (por ejemplo, la principal estación del año en la que aparece la sequía, el retraso del inicio de la temporada de lluvias, la frecuencia de las lluvias en relación con las etapas iniciales del crecimiento de los cultivos) y con la intensidad y el número de episodios lluviosos. Así pues, cada sequía es única en cuanto a sus características climáticas y sus repercusiones.

La falta de una definición precisa y universalmente aceptada de sequía contribuye a la confusión que hay para determinar la existencia de una sequía y su grado de intensidad. Para ser realistas, las definiciones de sequía deben hacerse a nivel regional y sobre la base de repercusiones concretas (para la agricultura, los recursos hídricos, etc.). Los efectos de la sequía se extienden a una zona geográfica mayor que los daños ocasionados por otros peligros naturales, tales como los efectos de las crecidas y los huracanes. Por estas razones, la cuantificación de los efectos y las operaciones de socorro en casos de desastre son tareas más difíciles en el caso de la sequía que cuando se dan otros peligros naturales.

Los sistemas de alerta temprana pueden reducir las repercusiones mediante el suministro de información oportuna sobre el comienzo de la sequía. Las estaciones de

observación en superficie convencionales de los Servicios Meteorológicos Nacionales son un eslabón de la cadena, pues proporcionan datos de referencia fundamentales y series cronológicas indispensables para conseguir una mejor vigilancia del clima y del sistema hidrológico. Seguir de cerca determinados indicadores, tales como el flujo fluvial o la humedad del suelo, puede contribuir a la formulación de valores del índice de sequía, que suelen ser cifras de un solo dígito, mucho más útiles para la toma de decisiones que los datos en bruto.

En los planes contra la sequía deben figurar tres elementos básicos, a saber: vigilancia y alerta temprana, evaluación de riesgos, y atenuación y respuesta. Debido a la lenta aparición de las características de las sequías, los sistemas de vigilancia y de alerta temprana sientan las bases de un plan eficaz de atenuación de sus efectos. Dicho plan debe basarse en evaluaciones precisas y oportunas que den lugar a la elaboración de programas de atenuación y de intervención en casos de emergencia.

Diversos programas de la OMM siguen de cerca los fenómenos climáticos extremos relacionados con la sequía, mientras que cuatro centros de vigilancia –dos en África, uno en China y el Sistema mundial de información y alerta temprana– emiten avisos meteorológicos y facilitan resúmenes sobre el clima de uno a tres meses. Entre otros sistemas de alerta temprana de África, la Comunidad para el Desarrollo del África Meridional (SADC) controla la situación de los cultivos y de la alimentación en la región y emite alertas en los períodos de crisis inminente. Estas redes pueden ser el eje de los planes coordinados para hacer frente a las contingencias de sequía.



Un modelo acoplado de superficie-atmósfera indica que –ya fueran factores antropógenos o variaciones de la SST los que dieron lugar a la sequía del Sahel de 1968-1973– la pérdida permanente de vegetación en la sabana del Sahel permitiría la persistencia de la sequía. Los efectos de la sequía, que reduce la humedad del suelo y por lo tanto la evaporación y la nubosidad, y que incrementa el albedo de superficie a medida que se destruye la cubierta vegetal, suelen ser el aumento de la temperatura del aire en el suelo y cerca de la superficie, una reducción del balance de radiación de superficie, y un mayor déficit del balance de radiación en el sistema superficie-atmósfera local. Se produce con ello una mayor subsidencia atmosférica y, por consiguiente, una mayor disminución de las precipitaciones.

Radiación solar, temperatura y evaporación

La única fuente de energía de la Tierra es el Sol, pero nuestro planeta intercepta sólo una cantidad minúscula de esta energía (menos de la décima parte del uno por ciento), que alimenta los diversos procesos biológicos (fotosíntesis) y geofísicos (tiempo y clima) de los que depende la vida. El sistema terrestre, en virtud de principios físicos básicos, debe emitir la misma cantidad de radiación que recibe. El complejo proceso de transferencias de energía que se establece en consecuencia es la base de nuestro tiempo y de nuestro clima. La radiación solar está estrechamente correlacionada con la nubosidad, y en la mayoría de los climas de tierras secas hay muy pocas nubes o ninguna y la radiación solar puede ser bastante intensa. De hecho, algunos de los valores más elevados de radiación solar que se conocen se dan en lugares como el desierto del Sahara. El calentamiento solar de la superficie terrestre es el proceso que más contribuye a la temperatura del aire.

Junto con la precipitación, la temperatura es el principal factor determinante del clima y, por consiguiente, de la distribución de la vegetación y de la formación de los suelos. La formación de los suelos responde a numerosos factores: el material de base (roca), la topografía, el clima, la actividad biológica, y el paso del tiempo. La temperatura y la precipitación dan lugar a distintos tipos de meteorización y lixiviación de los suelos. Las variaciones



Figura 10. Altas temperaturas del suelo en terrenos arenosos pueden incrementar la evaporación del suelo

estacionales y diarias de la temperatura pueden afectar a la humedad del suelo, a la actividad biológica, a las tasas de reacción química y a los tipos de vegetación. Son reacciones químicas importantes del suelo las inherentes a los ciclos del nitrógeno y del carbono.

Durante el verano en los trópicos, las temperaturas del suelo superficial pueden ser superiores a 55°C y contribuyen, por consiguiente, al agrietamiento de los suelos muy arcillosos, cuya superficie y subsuperficie quedan expuestas a la erosión del agua o el viento. Naturalmente, esas temperaturas incrementarán también la evaporación de los suelos (Figura 10) y reducirán la humedad disponible en ellos para el crecimiento de la vegetación.

En las tierras secas templadas, el ciclo congelación–deshielo puede afectar directamente a la composición del suelo debido al desplazamiento de rocas y piedras desde distintas profundidades hasta la superficie. En lugares elevados, la congelación y el deshielo son uno de los factores que degradan las estructuras rocosas, produciendo grietas y fisuras que pueden dar lugar a deslizamientos de tierra y desprendimientos de rocas.

La evaporación es la conversión de agua líquida o sólida en vapor, que se difunde en la atmósfera. Para que haya evaporación es necesario un gradiente de la presión de vapor entre la superficie de evaporación y la atmósfera, además de una fuente de energía. La radiación solar es la fuente principal de energía, que determina los límites de la evaporación en general. En los trópicos, los valores de la

radiación solar, modificados por la cubierta de nubes, son elevados, e inducen una gran demanda de evaporación de la atmósfera. En regiones áridas y semiáridas, una cantidad considerable de energía puede ser transportada por advección hacia zonas de regadío desde las áreas secas circundantes. Esas transferencias de energía a superficies que experimentan evaporación se suelen denominar "efecto oasis", y en los cultivos de algodón de Gezira, en Sudán, las pérdidas de agua causadas por efectos oasis intensos han llegado a duplicar los valores calculados mediante las fórmulas meteorológicas habituales.

Los factores climáticos producen en la atmósfera una demanda de evaporación, aunque la evaporación real resultante dependerá de la naturaleza de las superficies de evaporación y de la disponibilidad de agua. En tierras degradadas, la propia superficie de la tierra influye en la demanda de evaporación en función de su albedo y de la rugosidad de su superficie, que influye en las turbulencias. En regiones áridas y semiáridas, unos valores de evaporación muy superiores a los de la precipitación dan lugar a la acumulación de sales en la superficie del suelo. Los suelos con horizonte sódico se dispersan fácilmente, y los bajos niveles de humedad se traducen en una actividad biológica limitada.

Viento

Las tierras secas de nuestro planeta experimentan una degradación de sus suelos entre moderada y grave debido a la erosión eólica, y hay indicaciones de que está aumentando la frecuencia de las tormentas de arena y de polvo. Se ha calculado que, en las zonas áridas y semiáridas, un 24 por ciento de las tierras cultivadas y un 41 por ciento de los pastizales experimentan una degradación de los suelos entre moderada y grave por efecto de la erosión eólica.

La producción anual total de polvo en el mundo por disminución de los suelos y de los sedimentos se ha estimado en 61 a 366 millones de toneladas. Las pérdidas de suelo del desierto por erosión eólica son considerables a nivel mundial. El transporte a gran distancia de polvo del desierto no excede, según las estimaciones, de 1×10^{16} g año⁻¹ aproximadamente.

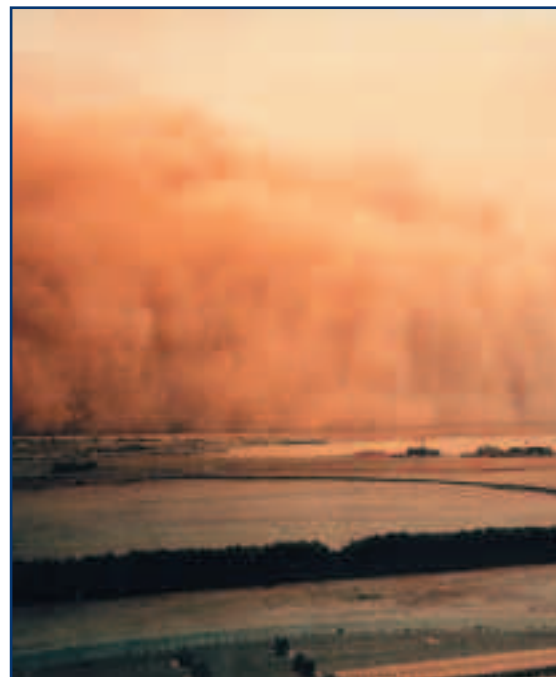


Figura 11. Se estima que la cantidad de polvo proveniente de la región del Sahel es de alrededor de 270 millones de toneladas por año

En África, se estima que más de 100 millones de toneladas de polvo al año son transportadas por el viento hacia el oeste, al océano Atlántico. Estudios al respecto indican que la zona del Sahel genera no menos de 270 millones de toneladas de polvo al año (Figura 11), que corresponden a una pérdida de 30 mm por m² al año o a una capa de 20 mm en el conjunto de la región.

Cada año, el desierto originado por la erosión eólica se apodera de 210 000 hectáreas de tierras productivas en China. Se ha determinado que la frecuencia con que acaecen tormentas de arena fuertes y extremadamente fuertes en China varía anualmente como sigue: cinco veces en los años cincuenta; ocho en los sesenta; 13 en los setenta; 14 en los ochenta; y 20 en los noventa.

Las tormentas de arena y de polvo son fenómenos meteorológicos peligrosos que causan graves problemas agrícolas y medioambientales en muchas partes del mundo. Su costo, tanto en los lugares afectados como fuera de ellos, es elevado. Estas tormentas pueden avanzar como una marea incontenible mientras sus fuertes vientos arrastran la arena, que termina cubriendo las tierras de

labranza, destruye la capa superficial del suelo, denuda la estepa, daña a los animales, agreda los asentamientos humanos, reduce la temperatura, llena de sedimento los canales de riego y las acequias, cubre las vías férreas y las carreteras, azota las viviendas, afecta a la calidad del agua en los ríos y arroyos, deteriora la calidad del aire, contamina la atmósfera, y destruye las instalaciones de minería y de comunicación. Las tormentas de arena y polvo aceleran el proceso de degradación de la tierra, contaminan considerablemente el medio ambiente y causan graves estragos en la ecología y en el medio ambiente viviente. La carga de polvo en la atmósfera debida a la erosión eólica afecta también a la salud humana y a la calidad del aire.

La erosión eólica causa daños directos en los cultivos, ya que ocasiona la pérdida del tejido vegetal y la disminución de la actividad fotosintética debido al impacto de la arena, al soterramiento de las plántulas bajo depósitos de arena, y a la pérdida de la capa superficial del suelo. Este último proceso es especialmente preocupante, ya que podría afectar a la base de recursos del suelo y, por consiguiente, a la productividad de los cultivos a largo plazo al eliminar la capa de suelo intrínsecamente rica en nutrientes y materia orgánica. La erosión eólica de los suelos arenosos ligeros puede degradar gravemente las tierras (Figura 12, izquierda), y los depósitos de arena sobre las

plántulas pueden afectar al establecimiento de cultivos (Figura 12, derecha).

Cálculos basados en registros de visibilidad y de velocidad del viento en penachos de polvo de 100 kilómetros de extensión, y basados en ocho estaciones climáticas del sur de Australia, indican que la masa de polvo transportada ascendió a nada menos que 10 millones de toneladas. Así pues, el arrastre de polvo durante ese tipo de fenómenos degrada el suelo a largo plazo con carácter esencialmente irreversible. Los costos en términos de productividad son difíciles de calcular, pero son probablemente sustanciales.

Causas de la erosión eólica

Suceda donde suceda, el fenómeno de la erosión eólica está vinculado a fenómenos meteorológicos que interactúan con la gestión de los suelos y de las tierras mediante sus efectos sobre la estructura del suelo, sobre la posibilidad de cultivar la tierra y sobre la cubierta vegetal. En las regiones que experimentan regularmente largos períodos secos asociados a fuertes vientos estacionales, donde la cubierta vegetal de la tierra no basta para proteger el suelo, o donde la superficie del suelo resulta alterada por unas prácticas de gestión inadecuadas, la erosión eólica suele ser un problema grave.

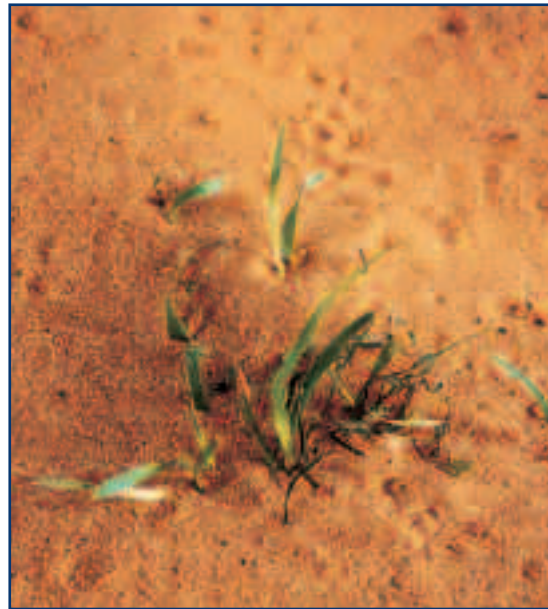
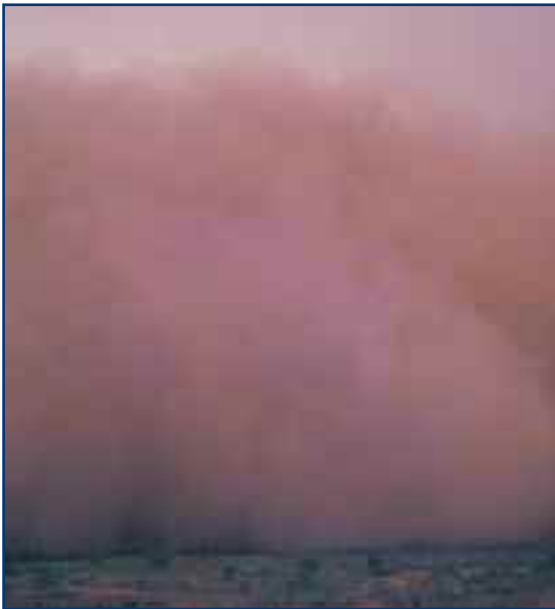


Figura 12. La erosión eólica en suelos arenosos ligeros puede provocar intensa degradación de la tierra (izquierda), y depósitos de arena en terrenos recién sembrados puede afectar el establecimiento de cultivos (derecha)

En la linde austral del desierto del Sahara sopla un viento especialmente seco y cálido, denominado *harmatán* por los naturales del lugar. Ese tipo de vientos del nordeste o del este suelen soplar en invierno cuando la presión atmosférica es alta. Cuando la fuerza del *harmatán* es superior al valor de umbral, las partículas de arena y de polvo, sustraídas a la superficie de la tierra, viajan cientos de kilómetros hasta llegar al océano Atlántico.

En el noroeste de India, las tempestades convectivas de arena y polvo que preceden a los monzones reciben el nombre de *andhi*. En África y en los países árabes se refieren a ellas como *haboob*, y que en otras regiones se las conoce como el “fantasma” o el “diablo”.

Por regla general, se adoptan dos indicadores –la velocidad del viento y la visibilidad– para determinar el grado de intensidad de las tormentas de arena y polvo. Las tormentas de arena y polvo del noroeste de la India se clasifican mediante una escala de tres grados. Las más débiles se forman cuando el viento es de fuerza 6 (escala Beaufort) y la visibilidad varía entre 500 y 1 000 metros. Las tormentas de arena o polvo fuertes secundarias corresponden a vientos de fuerza 8 y una visibilidad de entre 200 y 500 metros. Las tormentas fuertes van acompañadas de vientos de fuerza 9 y visibilidades inferiores a 200 metros.

En China, las tormentas de arena y polvo se clasifican de modo análogo. La única diferencia es que la categoría de tormentas fuertes se subdivide en dos grados: fuerte y severa. Cuando la velocidad del viento es de 50 metros por segundo (m/s) y la visibilidad es inferior a 200 metros, la tormenta de arena se clasifica como ‘fuerte’. Cuando la velocidad del viento es de 25 m/s y la visibilidad de entre 0 y 50 metros, la tormenta de arena se clasifica como ‘severa’ (en algunas regiones la llaman “vendaval negro” o “diablo negro”).

La erosividad del viento es el principal factor que determina las pautas generales de la erosión eólica. Se ha definido como “propiedad del viento que determina su capacidad para arrastrar y transportar suelos desnudos y secos preparados para el cultivo”. Se puede estimar a partir de los registros diarios u horarios de los valores de velocidad del viento superiores a un valor de umbral

relacionado con la velocidad mínima de arrastre de las partículas del suelo. El índice Chepil-Woodruff de capacidad erosiva del viento (C) se ha definido como sigue:

$$C = \frac{V^3}{2,9 (P - E_p)}$$

donde V = velocidad del viento en niveles de observación estándar (~ 10 m), m/s; P = precipitación (mm); y E_p es la evapotranspiración potencial (mm). La Tabla 3 contiene una clasificación de la capacidad erosiva del viento en función de su índice de capacidad de erosión.

Cuando el transporte de suelo es continuado, la cantidad de suelo que puede ser transportada por el viento varía con el cubo de su velocidad. Los modelos indican que la erosión eólica se acentúa rápidamente a partir de un valor de umbral de velocidad del viento. En la franja de cultivo de maíz de los Estados Unidos de América, un incremento del 20 por ciento de la velocidad media del viento aumenta considerablemente la frecuencia con que se supera el valor de umbral y, por lo tanto, la frecuencia de los fenómenos erosivos.

Se han realizado varios esfuerzos por integrar todos estos agentes erosivos del viento en un modelo informático. En particular, el sistema de predicción de la erosión del viento (WEPS), que es un modelo basado en procesos, de escalonamiento diario, que predice la erosión del suelo mediante la simulación de los procesos fundamentales que rigen la erosión eólica. El WEPS puede calcular el transporte de suelo, estimar los

Valor del índice	Capacidad erosiva del viento
0-20	Insignificante o nula
20-50	Moderada
50-100	Alta
> 150	Muy alta

Tabla 3. Capacidad erosiva del viento (Fuente: W.S. Chepil y N.P. Woodruff. 1963. *Physics of wind erosion and its control. Advances in Agronomy*, 15)



Cuatro definiciones de los fenómenos relacionados con el polvo coinciden con las que utiliza la Oficina de Meteorología de Australia, que se ajusta a las normas mundiales de la OMM. Se incluyen las claves SYNOP de tiempo presente [ww]:

1. Tormenta de polvo (clave SYNOP ww: 09), causada por vientos turbulentos que levantan gran cantidad de polvo y reducen la visibilidad a menos de 1 000 metros.
2. Nube de polvo alta (clave SYNOP ww: 07), transportada por el viento a alturas moderadas sobre el terreno y que, a la altura del ojo humano (1,8 metros), reducen la visibilidad, pero no a menos de 1 000 metros.
3. Calima de polvo (clave SYNOP ww: 06), formada por partículas de polvo en suspensión que han sido levantadas del suelo por una tormenta de polvo antes del momento de la observación.
4. Remolinos de polvo (o tolvaneras) (clave SYNOP ww: 08), que son columnas de polvo en rotación que se desplazan con el viento, normalmente a menos de 30 metros de altura (aunque se pueden extender hasta los 300 metros o más). Suelen disiparse tras recorrer una distancia corta.

daños sufridos por las plantas y predecir las emisiones de polvo PM-10 cuando la velocidad del viento supera el umbral de erosión. Además, proporciona a los usuarios información espacial relativa al flujo, deposición y pérdida de suelo en determinadas regiones de un terreno a lo largo del tiempo. WEPS tiene estructura modular, y se compone de siete submodelos y cuatro bases de datos. La mayoría de sus submodelos utilizan el estado del tiempo diario como impulsor natural de los procesos físicos que modifican las condiciones reales. Los otros submodelos están basados en: la hidrología, y en particular las variaciones de temperatura y de estado hídrico del suelo; las propiedades del suelo; el crecimiento de las plantas cultivadas; la descomposición de las plantas cultivadas; las prácticas de gestión típicas, como la labranza, la plantación, la cosecha o el

riego; y, por último, la fuerza del viento a escala subhoraria.

Implicaciones climáticas de las tormentas de polvo

La finísima fracción de polvo que proviene del suelo (Figura 13) ejerce un efecto de forzamiento considerable sobre el balance radiativo. Se considera que las partículas de polvo ejercen una influencia radiativa sobre el clima directamente, mediante la reflexión y absorción de la radiación solar, e indirectamente, al modificar las propiedades ópticas y la duración de las nubes. En función de sus propiedades y de la parte de la atmósfera en que se encuentren, las partículas de polvo pueden reflejar la luz solar hacia el espacio y producir un enfriamiento por partida doble. Directamente, reflejan la luz solar hacia el espacio y reducen, por consiguiente, la cantidad de energía que llega a la superficie. Indirectamente, actúan como núcleos de condensación y dan lugar a la formación de nubes. Las nubes actúan como un “manto atmosférico” que atrapa en la atmósfera la radiación de onda larga emitida en la Tierra. Así pues, las tormentas de polvo tienen implicaciones a nivel local, nacional e internacional con respecto al calentamiento de la Tierra. Los cambios climáticos, a su vez, pueden modificar la ubicación e intensidad de las fuentes de polvo.



Figura 13. El polvo levantado por el viento puede tener importantes efectos de forzamiento en el balance radiativo

Mecanismos de las tormentas de arena y polvo

La erosión eólica tiene lugar cuando la velocidad del viento en la superficie del suelo es superior a la velocidad umbral necesaria para arrastrar la partícula de suelo menos estable. La partícula desprendida puede desplazarse unos cuantos milímetros antes de encontrar un lugar más protegido en el paisaje. La velocidad del viento necesaria para arrastrar la partícula menos estable se denomina umbral estático. Si la velocidad del viento aumenta, el movimiento del suelo surge y, si la velocidad es suficiente, el movimiento del suelo es continuo. Esta velocidad se denomina umbral dinámico.

Cuando la fuerza del viento alcanza el valor de umbral, varias partículas empiezan a vibrar. Al aumentar aún más la velocidad del viento, varias partículas son arrastradas de la superficie al flujo de aire. Cuando estas partículas chocan contra la superficie, salen despedidas más partículas y se inicia así una reacción en cadena. Una vez que salen despedidas, estas partículas se mueven en una de las tres modalidades de transporte según el tamaño, la forma y la densidad de la partícula. Estas tres modalidades se denominan suspensión, saltación y reptación. Su tamaño y densidad determinan las características del movimiento de las partículas de arena y polvo.

La suspensión afecta a partículas de polvo de menos de 0,1 mm de diámetro y a partículas de arcilla de 0,002 mm de diámetro, que son pequeñas en tamaño y ligeras en densidad. Estas partículas finas de polvo pueden ser transportadas a alturas de hasta 6 km y viajar distancias de hasta 6 000 km.

Las partículas en saltación (a saber, aquellas entre 0,01–0,5 mm de diámetro) dejan la superficie, pero son demasiado grandes para estar en suspensión. Las demás partículas (es decir, las superiores a 0,5 mm) son transportadas en la modalidad de reptación. Estas partículas son demasiado grandes para salir despedidas de la superficie y, por lo tanto, ruedan por efecto del viento y de las partículas que chocan contra ellas. Dada la naturaleza de esta modalidad, las partículas rara vez alcanzan más de 30 cm de altura y casi nunca superan los pocos metros de distancia.

Durante la tormenta, las partículas en reptación pueden moverse en distancias que van de pocos centímetros a varios metros; las partículas en saltación viajan de unos cuantos metros a unos cuantos cientos de metros; y las partículas en suspensión pueden ser transportadas entre varias decenas de metros y miles de kilómetros. En la cortina de arena y polvo, la fuerza de elevación producida por la corriente de aire que se levanta es potente. Los granos de arena del estrato inferior de la cortina de arena y polvo son partículas gruesas; las partículas de arena del estrato medio son las siguientes en tamaño; y las del estrato superior son principalmente partículas de polvo en suspensión.

Las partículas de arena, transportadas por saltación y reptación, se acumulan para formar dunas cuando el viento las sopla, las escalona y las transporta a una determinada distancia.



Incendios forestales, degradación de tierras y emisiones atmosféricas

Todas las zonas del mundo con vegetación padecen incendios forestales incontrolados. Se estima que resultan afectadas cada año por los incendios 1 015 millones de hectáreas de bosques de las zonas boreal y templada y de otros tipos de tierras; 2 040 millones de hectáreas de bosques pluviales tropicales, por actividades de conversión de los bosques y fuegos agrícolas descontrolados; y hasta 500 millones de hectáreas de sabanas y bosques espesos y ralos tropicales y subtropicales. El contingente de carbono orgánico del suelo es dos veces mayor que el presente en la atmósfera, y de dos a tres veces mayor que el acumulado en los organismos vivos de todos los ecosistemas de la Tierra. En tales condiciones, uno de los efectos ecológicos y medioambientales de los incendios estriba en que éstos son una fuente importante de gases de efecto invernadero, causantes del calentamiento de mundial.

A escala mundial, se estima que la quema de biomasa (Figura 14), incluidos los incendios forestales incontrolados, produce un 40 por ciento del dióxido de carbono, un 32 por ciento del monóxido de carbono, un 20 por ciento de las partículas y un 50 por ciento de los hidrocarburos aromáticos policíclicos, sumamente cancerígenos, producidos por la totalidad de las fuentes. Los métodos actuales de estimación de las emisiones mundiales están limitados por la falta de datos precisos sobre la superficie quemada y sobre el combustible disponible para la quema.

Las emisiones procedentes de los incendios son considerables, y contribuyen en gran medida a las emisiones mundiales brutas de oligogases y de partículas a la atmósfera provenientes de todo tipo de fuentes. Las emisiones naturales son responsables de una proporción importante de esos compuestos, en especial de los compuestos orgánicos volátiles distintos del metano (COVDM), del monóxido de carbono (CO) y del óxido nítrico (NO), que determinan las concentraciones de oxidantes en la troposfera. El flujo total de COVDM se estima en unos 84×10^{12} g de carbono (Tg C), que se compone fundamentalmente de isopreno (35 por ciento), otros 19 compuestos terpenoides



Figura 14. Los incendios son fuentes importantes de gases de efecto invernadero

(25 por ciento) y 17 compuestos no terpenoides (40 por ciento).

Se ha cuantificado la influencia de los incendios en las características del suelo (contenido de agua del suelo, compactación, temperatura del suelo, capacidad de infiltración, propiedades del suelo y, especialmente, contenido de materia orgánica, pH, Ca, Mg, K y Na intercambiables, y P extraíble) de un pastizal semiárido del África austral en dos períodos de crecimiento (2000/01–2001/02) tras un incendio accidental. La disminución de la cubierta basal debida a los incendios (incendios frontales) expuso más el suelo a los elementos naturales y, por ende, a un aumento de las temperaturas y de la compactación del suelo que redundan, a su vez, en una disminución del contenido de agua y de la capacidad de infiltración del suelo.

El cambio climático y la degradación de las tierras

Las actividades humanas –fundamentalmente la quema de combustibles de origen fósil y las alteraciones de la cubierta terrestre– están modificando la concentración de propiedades o componentes atmosféricos de la superficie de la Tierra que absorben o dispersan energía radiante. En particular, el aumento de la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) y de aerosoles contribuye muy considerablemente a los cambios climáticos observados en el siglo XX (Figura 15),

y se espera que contribuya a ulteriores cambios climáticos durante el siglo XXI y posteriormente. Estas variaciones de la composición atmosférica alterarán probablemente las temperaturas, los regímenes de precipitación, el nivel del mar, los fenómenos extremos, y otros aspectos del clima de los que dependen el medio ambiente natural y los sistemas humanos.

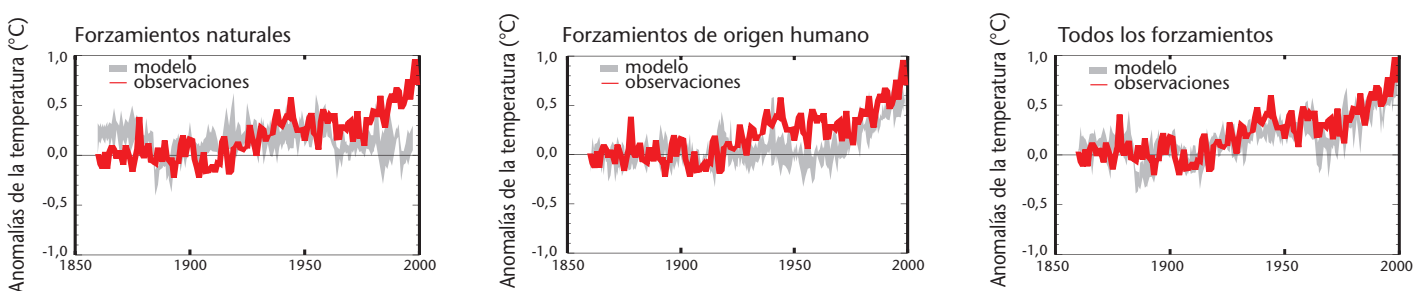
Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), creado por la OMM y el PNUMA, los ecosistemas están sujetos a numerosas presiones (por ejemplo, los cambios de uso de la tierra, la demanda de recursos, la evolución demográfica); su extensión y pautas de distribución están cambiando, y los paisajes se están fragmentando cada vez más. El cambio climático constituye un elemento de presión adicional que podría modificar o poner en peligro los ecosistemas y los múltiples bienes y servicios que aquéllos proporcionan. Las propiedades y procesos del suelo –en particular la descomposición de la materia orgánica, la lixiviación y los regímenes hídricos del suelo– resultarán influidos por el aumento de la temperatura. La erosión y degradación del suelo agravarán probablemente los efectos perjudiciales de la subida de la temperatura del aire sobre el rendimiento de los cultivos. El cambio climático puede acentuar la erosión en algunas regiones por efecto de las fuertes lluvias y del aumento de la velocidad del viento.

La degradación de la tierra y el cambio climático provocado por el CO₂ siguen estando inextricablemente relacionados, debido a los efectos recíprocos entre la degradación de la tierra y la precipitación. El cambio climático podría intensificar la degradación de la tierra al alterar las pautas

espaciales y temporales de la temperatura, de la precipitación, de la radiación solar y de los vientos. Varios modelos climáticos sugieren que el futuro calentamiento de la Tierra puede reducir la humedad del suelo en extensas superficies de pastizales semiáridos de América del Norte y Asia. El cambio climático acentuará probablemente la degradación de las tierras semiáridas que traerá aparejada la rápida expansión de la población en el próximo decenio. Según las previsiones, las tierras desérticas aumentarán en un 17 por ciento como consecuencia del cambio climático previsto, y se duplicará el contenido atmosférico de CO₂.

Los recursos hídricos están indisolublemente ligados al clima, de modo que el cambio climático mundial repercutiría gravemente en ellos y en el desarrollo regional. El cambio climático –en especial los cambios de la variabilidad del clima en términos de sequías y crecidas– complicará aún más estos problemas. Las mayores repercusiones seguirán recayendo sobre los más pobres, que son los que menos acceso tienen a los recursos hídricos. Las variaciones de las precipitaciones y el aumento de la evaporación podrían tener graves consecuencias en algunos lagos y embalses. Ciertos estudios demuestran que, en el paleoclima de África y en el clima actual, la variabilidad del clima altera el volumen de almacenamiento en lagos y embalses, que en muchos casos se desecan completamente. Además, esos estudios demuestran que en el régimen climático actual algunos humedales y lagos de gran tamaño presentan un delicado equilibrio entre el flujo de agua entrante y saliente, hasta el punto de que un aumento de la evaporación del 40 por ciento podría reducir sustancialmente la salida de agua.

Figura 15. La comparación de la temperatura media simulada de la superficie de la Tierra con datos provenientes de mediciones puede contribuir a la comprensión de las causas subyacentes de los cambios más importantes; la adición calculada de los efectos de forzamiento producidos por el hombre más los naturales se asemeja a los resultados de observaciones reales (IPCC, 2001)



La frecuencia de los transportes episódicos por el viento y por el agua desde tierras áridas aumentará también probablemente en respuesta a los cambios previstos del clima mundial. Un menor nivel de humedad del suelo y una cubierta vegetal más rala harían el suelo más susceptible a la erosión eólica. La disminución del aporte de materia orgánica y una mayor oxidación de la materia orgánica del suelo podrían reducir la capacidad de retención de agua a largo plazo, agravando con ello el problema de la desertificación. Además, el aumento de la erosión eólica incrementa la cantidad de polvo mineral transportado por el viento, que a su vez puede intensificar la absorción de radiación en la atmósfera.

El secuestro de carbono como atenuador del cambio climático y como freno a la degradación de la tierra

El contingente de carbono orgánico del suelo (COS) a profundidades de hasta 1 m se sitúa entre las 30 toneladas por hectárea en climas áridos y las 800 toneladas por hectárea en suelos orgánicos de regiones frías. La conversión de los ecosistemas naturales en ecosistemas agrícolas agota en hasta un 60 por ciento el contingente de COS en las regiones templadas, y en un 75 por ciento o más en los suelos cultivados de los trópicos. Esa disminución es aún mayor cuando la salida de carbono (C) supera la al aporte, y cuando la degradación del suelo es acentuada.

El secuestro de carbono implica la transferencia de CO₂ de la atmósfera a contingentes de larga pervivencia y su almacenamiento seguro, de modo que no sea reemitido inmediatamente. Así pues, el secuestro de carbono del suelo estriba en incrementar las reservas de COS y de carbono inorgánico del suelo mediante un uso razonable de la tierra y unas prácticas de gestión recomendadas. Algunas de esas prácticas son el cultivo con superficie protegida, el laboreo de conservación, la agrosilvicultura y distintos sistemas de cultivo, los cultivos de cubierta y la gestión integrada de nutrientes, en particular mediante el uso de estiércol, abono orgánico o biosólidos, el pastoreo mejorado, y la gestión forestal.

La capacidad potencial de los ecosistemas gestionados como sumideros de carbono es aproximadamente igual a la pérdida histórica acumulada de C, que se estima en 55 a 78 gigatoneladas (Gt). Compensando las emisiones de combustibles de origen fósil con un mayor potencial de COS pueden obtenerse numerosos beneficios biofísicos y sociales. Un incremento de una tonelada de carbono en los suelos de cultivo degradados puede mejorar el rendimiento de los cultivos en 20–40 kg por hectárea en el caso del trigo, en 10–20 kg por hectárea en el caso del maíz, y en 0,5–1 kg por hectárea en los cultivos de frijol, y podría mejorar la seguridad alimentaria mundial.

Estudio de las interacciones entre el clima y la degradación de la tierra: el papel de la OMM

La OMM es el organismo de las Naciones Unidas especializado en meteorología e hidrología operativa. La OMM presta apoyo a los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN) de sus 187 Estados Miembros y Territorios en sus cometidos de observar y comprender el tiempo y el clima y de prestar servicios meteorológicos y servicios similares en apoyo de las necesidades nacionales. Estas necesidades están vinculadas, especialmente, a la protección de la vida y de los bienes, a la protección del medio ambiente, y a la contribución al desarrollo sostenible.

Los programas científicos de la OMM han sido esenciales para mejorar nuestro conocimiento del sistema climático. Las observaciones sistemáticas (Figura 16) realizadas con métodos estándar han proporcionado datos a escala mundial para el análisis, investigación y modelización de la atmósfera y de las pautas cambiantes de sus sistemas meteorológicos. La OMM coordina una red mundial de adquisición e intercambio de datos de observación en el marco del Sistema Mundial de Observación de su Programa de la Vigilancia Meteorológica Mundial (Figura 17). El sistema integra unas 10 000 estaciones en tierra, 1 000 estaciones de observación en altitud, 7 000 buques, unas 3 000 aeronaves que proporcionan a diario más de 150 000 observaciones y una constelación de 16 satélites meteorológicos, medioambientales,

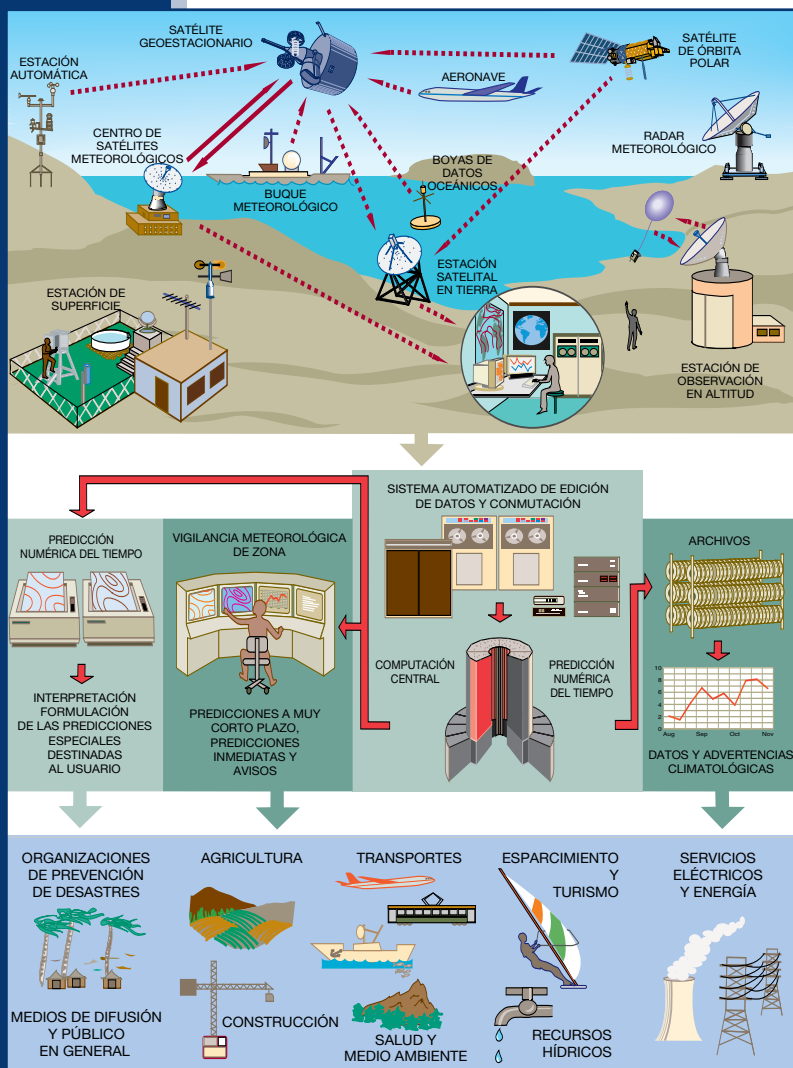


Figura 16. Sistemas básicos de la OMM

operativos y de investigación (Figura 18). La OMM coordina asimismo una red de tres Centros Meteorológicos Mundiales, 35 Centros Meteorológicos Regionales Especializados y 187 Centros Meteorológicos Nacionales. Los programas de observación especializados, incluidos los que examinan los componentes químicos de la atmósfera y las características de los océanos y sus circulaciones, han permitido comprender mejor las interacciones entre los distintos ámbitos del sistema climático (atmósfera, océanos, superficie terrestre y criosfera), así como la variabilidad del clima y el cambio climático.

La OMM ayuda, en concreto, a comprender mejor las interacciones entre el clima y la degradación

de las tierras por medio de observaciones dedicadas exclusivamente al sistema climático; a mejorar la aplicación de métodos agrometeorológicos y a una evaluación y gestión adecuadas de los recursos hídricos; a realizar progresos en la ciencia y predicción del clima; y a fomentar la creación de capacidad con objeto de aplicar la información y los datos meteorológicos e hidrológicos a la prevención y gestión de las sequías. En este contexto, la OMM seguirá abordando el problema de la degradación de la tierra mediante sus Programas de Meteorología Agrícola, de Hidrología y Recursos Hídricos, y otros programas científicos y técnicos, con los objetivos siguientes:

- a) Abogar por una mejora de los sistemas de observación a nivel nacional, regional e internacional. La OMM se compromete a colaborar con las Partes en la CLD para mejorar los sistemas de observación del tiempo, del clima y de los recursos hídricos, con el fin de responder a las necesidades de la Convención y de ayudar a los países en desarrollo a participar más a fondo en la recopilación y utilización de esas observaciones, en cumplimiento de los compromisos contraídos en el marco de esa Convención. A este respecto, sería interesante examinar las decisiones de la Conferencia de las Partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC) referentes a los sistemas de observación del clima, así como el programa de cursillos regionales que ha desarrollado y está aplicando en distintas partes del mundo la Secretaría del Sistema Mundial de Observación del Clima (SMOC), copatrocinada por la OMM.
- b) Promover sistemas eficaces de alerta temprana, que constituyen también mecanismos esenciales e importantes de lucha contra la degradación de las tierras. Como los fenómenos meteorológicos e hidrológicos peligrosos están vinculados a la variabilidad del clima, son necesarias evaluaciones periódicas y afirmaciones fiables sobre la interpretación y aplicabilidad de los datos de observación con el fin de estudiar la variabilidad del clima y de implementar un sistema de alerta sobre el clima que permita a los SMHN emitir alertas tempranas sobre la

inminencia de importantes anomalías climáticas. Empieza a ser posible emitir alertas sobre desastres relacionados con el clima con semanas e incluso estaciones de antelación. El Programa Mundial sobre el Clima de la OMM seguirá emitiendo declaraciones periódicas sobre el estado de El Niño o La Niña que, por conducto de los SMHN, pueden alertar a los gobiernos para que se preparen contra los efectos de las anomalías relacionadas con El Niño, que pueden provocar diversos tipos de desastres. La OMM desempeñó una función activa en las actividades del Grupo de expertos *ad hoc* sobre sistemas de alerta temprana, creado por el Comité de Ciencia y Tecnología (CCT) de la CLD. Algunas de las principales recomendaciones del Grupo consisten en: realizar un análisis crítico del comportamiento de los sistemas de alerta temprana, vigilancia y evaluación; mejorar los métodos y metodologías para la predicción de sequías y para la vigilancia de la desertificación; y desarrollar mecanismos que faciliten el intercambio de información, particularmente en materia de redes subregionales y nacionales. El nuevo Programa de la OMM de prevención de los desastres naturales y atenuación de sus efectos permitirá consolidar esos esfuerzos en materia de alertas tempranas y adoptar

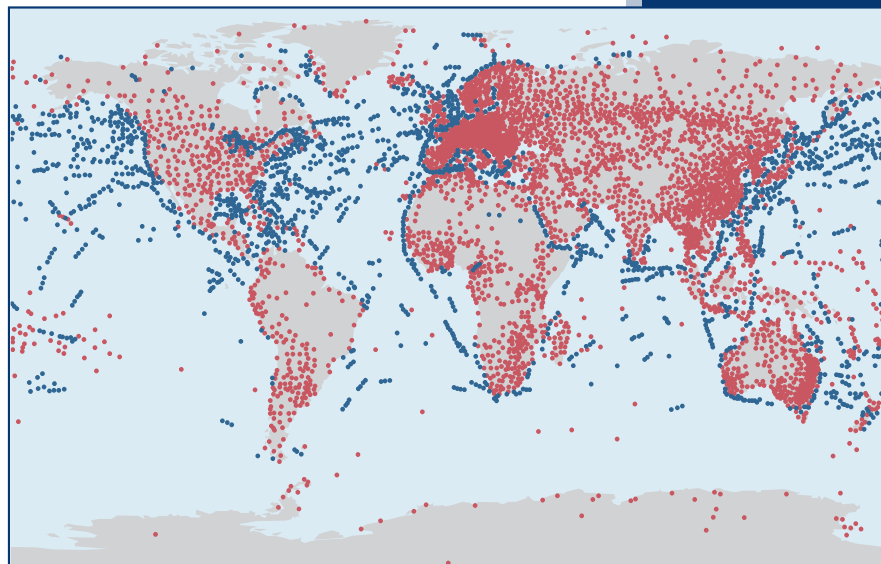


Figura 17. Cobertura típica de las observaciones de superficie

nuevas iniciativas en ese ámbito, en colaboración con otras organizaciones.

- c) Mejorar todavía más la capacidad de predicción del clima mediante el Proyecto sobre Variabilidad del Clima (CLIVAR) del Programa Mundial de Investigaciones Climáticas (PMIC). Empieza a ser posible predecir El Niño y sus efectos con un grado de eficacia razonable y con unas cuantas estaciones de antelación. A este respecto, la OMM está ampliando la ejecución de su Proyecto sobre

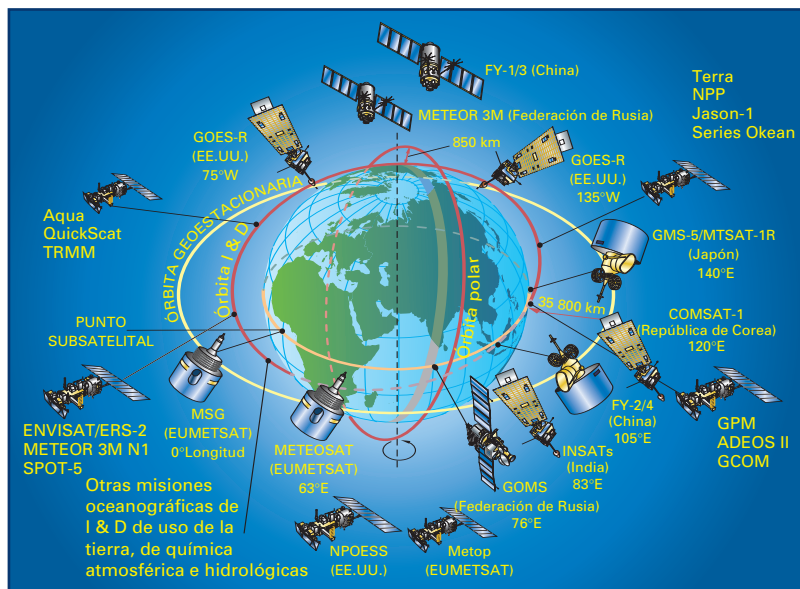


Figura 18. Sistema de observación espacial

Servicios de Información y Predicción del Clima (CLIPS), concebido para promover el uso de los servicios de información y predicción del clima, la creación de capacidad, la investigación multidisciplinaria y el desarrollo de nuevas aplicaciones. Las predicciones a largo plazo de sequía consensuadas que se formularon en varios foros regionales sobre la evolución probable del clima, organizados en distintas partes del mundo con el apoyo activo de la OMM, proporcionan a las autoridades nacionales competentes información útil sobre alertas tempranas (Figura 19).

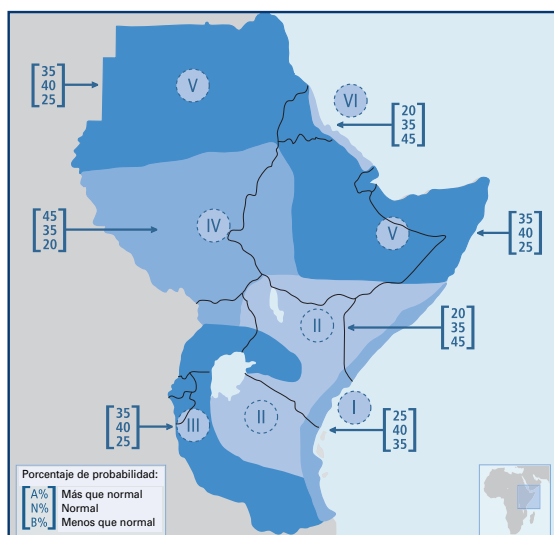
- d) Evaluar la vulnerabilidad y analizar las causas de peligro mediante el uso de los conocimientos sobre la vulnerabilidad a nivel local, regional y nacional, que son un factor importante para evaluar la idoneidad de las alertas tempranas. Para evaluar esos distintos grados de vulnerabilidad es útil vincular las bases de datos sobre el tiempo, el clima y los desastres y los distintos tipos de desastres meteorológicos e hidrológicos. A este respecto, se está realizando en Chile un proyecto piloto que relaciona el clima con las bases de datos sobre desastres causados por crecidas, con el apoyo de la OMM y por medio del Programa Mundial sobre el Clima, como parte de las actividades de los Grupos de trabajo sobre clima y desastres y sobre evaluación de la vulnerabilidad a los riesgos y del impacto, del Equipo de Trabajo Inter-

institucional para la Reducción de Desastres. Es éste, pues, un instrumento importante para la comunicación de riesgos entre los responsables de políticas y las comunidades. La OMM seguirá ayudando a desarrollar y gestionar las bases de datos sobre el clima que sean de interés mediante proyectos de rescate de datos y de gestión de bases de datos sobre el clima.

- e) Implementar aplicaciones de gestión de riesgo que combatan la sequía y atenúen los efectos de las crecidas. A este respecto, la cartografía de los fenómenos de riesgo, la zonificación agroclimática adecuada y el establecimiento de alianzas son instrumentos fundamentales para planificar el uso de la tierra y las medidas de preparación. Varios equipos de expertos establecidos por la Comisión de Meteorología Agrícola (CMAg) de la OMM examinan esas cuestiones de forma crítica y publican informes de orientación para los usuarios. En el ámbito de la predicción y gestión de crecidas, el Programa de Hidrología y Recursos Hídricos de la OMM está ejecutando el Programa Asociado de Gestión de Crecientes (APFM), en colaboración con la Asociación Mundial del Agua, en el marco de la gestión integrada de los recursos hídricos. En distintas partes del mundo se están creando proyectos a ese respecto para proporcionar orientaciones sobre el desarrollo de sistemas de apoyo a la gestión sostenible de las tierras y a la zonificación agroclimática.

- f) Contribuir activamente a la aplicación de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD) de las Naciones Unidas. Cabe señalar que la capacidad de la sociedad para hacer frente y adaptarse al cambio climático dependerá en gran medida de su capacidad para evaluar cómo y cuándo es probable que cambien las pautas meteorológicas y climáticas, para predecir las fluctuaciones continuas del riesgo y de la vulnerabilidad de las comunidades, y para elaborar estrategias de adaptación que mejoren la capacidad de recuperación y la resistencia de la comunidad cuando se cierna sobre ella un

Figura 19. Una proyección típica del clima producida por el Centro de predicción y de aplicaciones climáticas del IGAD, patrocinado por la OMM

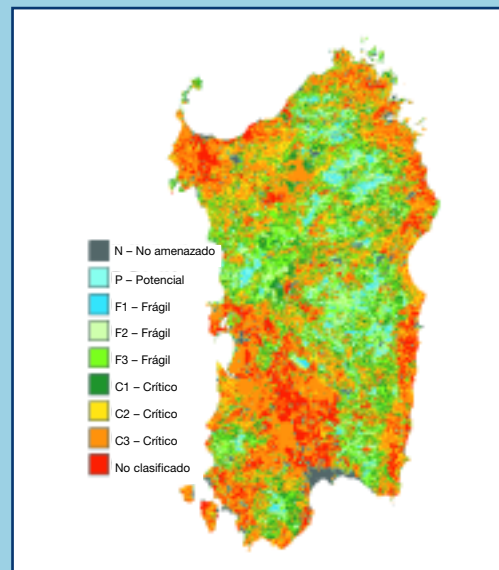


Instrumentos analíticos de la cartografía agroclimática

Para realizar evaluaciones de calidad y tomar decisiones respecto de las interacciones entre el clima y fenómenos como la sequía y la desertificación, los desastres naturales, la deforestación y los fenómenos extremos, y para evaluar sus respectivas repercusiones socioeconómicas, los científicos han de analizar e integrar tipos muy diferentes de conjuntos de datos espaciales y temporales procedentes de muchas disciplinas distintas. Estas disciplinas van desde la botánica, las ciencias agrícolas y las ciencias del suelo hasta la meteorología, pasando por una amplia gama de conocimientos y técnicas que cada una de ellas ha desarrollado en los últimos decenios. Los conjuntos de datos que utilizan estos científicos pueden ir desde los mapas zonales digitalizados de los tipos de suelo, el uso de la tierra y diversos datos obtenidos por teledetección desde satélites hasta los conjuntos de datos puntuales de la precipitación, la temperatura y la altura.

La cartografía agroclimática y la zonificación agroecológica son algunas de las metodologías que pueden utilizarse para analizar estos distintos conjuntos de datos. En el decenio pasado, se crearon sistemas de información geográfica (SIG) como ayuda a este tipo de análisis. Los SIG son un sistema informático que permite a los usuarios recopilar, gestionar, archivar, analizar y manipular grandes volúmenes de datos con referencias espaciales y atributos conexos. Los datos están referenciados según las coordenadas geográficas de sus elementos (latitud y longitud). Es útil considerar los SIG como un proceso más que como un objeto. Los SIG suelen utilizarse para analizar los datos obtenidos por teledetección desde satélites.

Los esfuerzos por adoptar las tecnologías y los instrumentos más novedosos, tales como la teledetección, los SIG, las mediciones en superficie y las aplicaciones de la modelización para generar mapas agroclimáticos combinados contribuyen ya a al establecimiento de sistemas de producción de cultivos sostenibles y más eficientes respecto de los cultivos y recursos humanos locales. Las predicciones de la vulnerabilidad a la variabilidad del clima y la evaluación de los riesgos se incluyen en esos análisis como instrumentos importantes para la gestión de las explotaciones agrícolas y la adopción de decisiones. Se están realizando investigaciones para aplicar estas metodologías a la gestión sostenible de las tierras, la conservación de la biodiversidad y la evaluación de los potenciales específicos de las distintas realidades agrícolas.



Zonas medioambientalmente sensibles a la desertificación en Cerdeña (Montroni y Canu, 2005)

nuevo desastre. La OMM dirige el Grupo de trabajo de la EIRD sobre clima y desastres.

- g) Apoyar el fortalecimiento de las capacidades de las Partes y de las instituciones regionales que llevan programas de lucha contra la sequía, y fomentar la colaboración con otras instituciones en regiones propensas a la sequía y a la desertificación, con especial atención a África, Asia, América Latina y el Caribe, y la región del Mediterráneo septentrional, todas las cuales figuran en los Anexos de la Convención relativos a la aplicación por regiones. En África, son ejemplos de ese tipo de instituciones el Centro AGRHYMET y el Centro Africano de Aplicaciones de la Meteorología al Desarrollo (ACMAD), ambos en Niamey, Níger, el Centro de predicción y de aplicaciones climáticas del IGAD, y los Centros de la OMM de Control de la Sequía en África oriental y meridional, ubicados en Nairobi, Kenya, y Harare, Zimbabwe, respectivamente, y que cuentan con el apoyo de la OMM. Con el fin de mejorar la creación de capacidad para desarrollar planes de acción nacionales en el marco de la Convención, la OMM organizó en Beijing, China, en mayo de 2001, y en Antigua y Barbuda, en abril de 2004, seminarios itinerantes sobre la aplicación de datos climáticos a la lucha contra la desertificación, a la preparación frente a las sequías y a la gestión de una agricultura sostenible.

Perspectivas para el futuro

La definición de degradación de la tierra adoptada por la CLD otorga especial importancia a los factores climáticos que contribuyen a la degradación de los suelos, pero no existe ningún esfuerzo

concertado a escala mundial para vigilar sistemáticamente los efectos de diferentes factores climáticos en la degradación de las tierras en diferentes regiones y para diversos niveles de degradación. Por ello, hay que vigilar con carácter urgente las interacciones entre el clima y la degradación de las tierras. Para comprender mejor estas interacciones, es también importante identificar las fuentes y sumideros de carbono de las tierras secas, así como los aerosoles y oligogases en esas mismas tierras. Esto se puede lograr de modo eficaz mediante las redes de vigilancia del clima a nivel regional. Estas redes podrían también contribuir a mejorar la aplicación de predicciones climáticas estacionales a una gestión más eficaz de las tierras secas.

En muchas áreas, algunas de ellas situadas en regiones con graves problemas de degradación de la tierra, la red meteorológica básica y las instalaciones de observación adolecen de grandes deficiencias. La más grave y generalizada es la falta de información sobre la intensidad de las precipitaciones de lluvia. La OMM está adoptando medidas para facilitar el desarrollo de sistemas de alerta temprana y, a tal fin, organiza el desarrollo de instrumentos adecuados y de cálculos estadísticos. La OMM coordina, asimismo, los esfuerzos que realizan sus Miembros para investigar el uso de datos procedentes de satélites meteorológicos que mejoren los conocimientos sobre las condiciones meteorológicas que influyen en la degradación de las tierras, sobre todo en zonas insuficientemente abarcadas por las observaciones a nivel del suelo. A la OMM, en representación de sus 187 Miembros, le complace participar en el esfuerzo por comprender mejor el papel del clima en la degradación de las tierras y, a tal fin, colabora con diversas organizaciones regionales, nacionales e internacionales y con la sociedad civil para combatir y frenar la degradación de las tierras.



Organización Meteorológica Mundial

Para obtener mayor información sobre la OMM, sírvase ponerse en contacto con:
**Oficina de Comunicación y de Relaciones Públicas de la
Organización Meteorológica Mundial**
7bis, avenue de la Paix - Case postale 2300 - CH-1211 Genève 2 - Suiza
Tel.: (+41-22) 730 83 14 - 730 83 15 - Fax: (+41-22) 730 80 27
Correo electrónico: cpa@wmo.int - Sitio Web: www.wmo.int

Para obtener mayor información, sírvase ponerse en contacto con:
**Departamento del Programa Mundial sobre el Clima
Organización Meteorológica Mundial**

7bis, avenue de la Paix - Case postale 2300 - CH-1211 Genève 2 - Suiza
Tel.: (+41-22) 730 83 80 - Fax: (+41-22) 730 80 42
Correo electrónico: agm@wmo.int - Sitio Web: <http://www.wmo.int/web/wcp/agm/agmp.html>

