

# ANUARIO

# PNUMA

## TEMAS EMERGENTES EN NUESTRO MEDIO AMBIENTE MUNDIAL

# 2012



PNUMA

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

© 2012 Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente  
ISBN: 978-92-807-3216-0  
UNEP/GCSS.XII/INF/2  
DEW/1449/NA

### **Descargo de responsabilidad**

El contenido de esta publicación y las opiniones expresadas en ella corresponden a los autores y no reflejan necesariamente las opiniones ni las políticas de las organizaciones colaboradoras ni del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), como tampoco implican ningún tipo de respaldo.

Las denominaciones empleadas y la presentación del material de esta publicación no implican en absoluto la expresión de opinión alguna por parte del PNUMA con respecto a la situación jurídica de ningún país, territorio o ciudad ni de sus autoridades, ni en lo concerniente a la delimitación de sus fronteras y límites.

La mención de cualquier empresa o producto comercial en esta publicación no implica respaldo alguno del PNUMA.

© Mapas, fotos e ilustraciones según lo indicado en cada caso.

Fotos de portada y contraportada: mikedray (parte superior de la portada), John McGrail (centro de la portada), Ing. Schieder Markus (parte inferior de la portada), nostalgöie (parte superior de la contraportada), Bob Orsille (parte inferior izquierda de la contraportada), Elke Noellemeyer (parte inferior derecha de la contraportada)

### **Reproducción**

Esta publicación puede ser reproducida en su totalidad o en parte y en cualquier formato con propósitos educativos o sin fines de lucro sin que deba mediar permiso especial del propietario de los derechos de autor, siempre que se haga referencia a la fuente. El PNUMA agradece el recibo de una copia de toda publicación que utilice este Anuario como fuente.

No puede utilizarse esta publicación para reventa ni para ningún otro propósito comercial sin la autorización previa por escrito del PNUMA. Las solicitudes para tal autorización, con una descripción del propósito y la intención de la reproducción, deben enviarse al Director de la División de Comunicaciones e Información Pública (DCPI), PNUMA, P.O. Box 30552, Nairobi 00100, Kenya.

No se permite el uso para publicidad o propaganda de información incluida en esta publicación si se refiere a productos patentados.

### **Revisores de traducción**

Graciela Metternicht, Jordi Pon, Montserrat Valeiras, Andrea Salinas, PNUMA, Ciudad de Panamá, Panamá  
Elke Noellemeyer, Universidad Nacional de La Pampa, La Pampa – Argentina  
Norberto Fernandez, PNUMA, Nairobi, Kenya

### **Producido por**

División de Alerta Temprana y Evaluación del PNUMA  
Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente  
P.O. Box 30552  
Nairobi, 00100, Kenya  
Tel.: (+254) 20 7621234  
Fax: (+254) 20 7623927  
Correo electrónico: [unepub@unep.org](mailto:unepub@unep.org)  
Sitio web: [www.unep.org](http://www.unep.org)

Anuario del PNUMA 2012: Temas emergentes en nuestro medio ambiente mundial  
Publicado en febrero de 2012

Página web: <http://www.unep.org/yearbook/2012>

Coordinación y edición del proyecto: Tessa Goverse/PNUMA  
Diseño y maquetación: Jinita Shah/ONUN, Jennifer Odallo/ONUN  
Impresión: Imprimerie Centrale S.A., Luxemburgo  
Distribución: SMI (Distribution Services) Ltd., Reino Unido

Esta publicación está disponible en <http://www.earthprint.com>

El PNUMA promueve prácticas favorables al medio ambiente en todo el mundo y en sus propias actividades. Esta publicación está impresa en papel libre de cloro procedente de bosques sostenibles y fibras recicladas y con tinta de origen vegetal. Nuestra política de distribución busca reducir la huella de carbono del PNUMA.

# ANUARIO PNUMA TEMAS EMERGENTES EN NUESTRO MEDIO AMBIENTE MONDIAL 2012



PNUMA

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

# Catedrática



*Credit: Harvey Croze*



Foto: Brigitte Lacombe

## Profesora Wangari Maathai

La catedrática Wangari Maathai falleció el 25 de septiembre de 2011 en Nairobi (Kenya). Fue una defensora del medio ambiente, los derechos humanos y el empoderamiento de la mujer. A través del Movimiento del Cinturón Verde, que fundó ella misma, alentó a las kenianas de las zonas rurales a plantar árboles para mejorar sus condiciones de vida y poner freno a las consecuencias de la deforestación.

La Profesora Maathai fue la primera africana y la primera ambientalista en recibir el Premio Nobel de la Paz. Premiada por su compromiso con el empoderamiento de la mujer y la sostenibilidad ambiental, también se desempeñó como miembro del Parlamento de Kenya y fue designada Viceministra de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recibió su título de doctora de la Universidad de Nairobi en 1971 y se convirtió así en la primera mujer de África Central y Oriental que obtuvo ese título.

1940-2011

# Índice

	Prefacio	v
	Siglas y abreviaturas	vi
	Resumen ejecutivo	vii
	<b>Resumen del año</b>	<b>1</b>
	Cambio climático, fenómenos meteorológicos extremos y gestión de riesgos de desastre	1
	Dinámica de la población y escasez de recursos	4
	Energía y mitigación del cambio climático	6
	Conservación de la diversidad biológica mundial	11
	De cara al futuro	12
	2011 De un vistazo	14
	2012 Calendario de acontecimientos	15
	Referencias	16
	<b>Los beneficios del carbono del suelo</b>	<b>19</b>
	Almacenamiento del carbono y otros servicios esenciales de los ecosistemas del suelo	21
	¿Qué determina la distribución mundial del carbono del suelo?	22
	Modelamiento, medición y seguimiento	23
	Vulnerabilidad de las reservas de carbono a las actividades humanas	25
	Consecuencias de la pérdida de carbono del suelo y posibilidades de aumentarlo	27
	El camino a seguir: gestionar el carbono del suelo para obtener beneficios múltiples	29
	Referencias	32
	<b>Cierre y desmantelamiento de los reactores de energía nuclear</b>	<b>35</b>
	¿Qué es el desmantelamiento nuclear?	35
	Estado y tendencias del desmantelamiento nuclear	36
	Tres procedimientos para el desmantelamiento	37
	Los retos del desmantelamiento	39
	Riesgos relacionados con el desmantelamiento	43
	Enseñanzas extraídas	47
	Referencias	48
	<b>Indicadores ambientales principales</b>	<b>51</b>
	Agotamiento de la capa de ozono	51
	Cambio climático	53
	Aprovechamiento de los recursos naturales	55
	Productos químicos y desechos	61
	Gobernanza ambiental	61
	De cara al futuro	62
	Referencias	64
	Agradecimientos	66
	Encuesta	68

# Prefacio



En el Anuario 2012 del PNUMA se ponen de relieve dos temas emergentes que hacen hincapié en los desafíos pero también en las alternativas que deben considerar las naciones en pos de la sostenibilidad del siglo XXI: la mejora urgente de la gestión de los suelos en todo el mundo y el desmantelamiento de los reactores nucleares.

A primera vista, pueden parecer dos temas distintos que no guardan relación alguna entre sí. Sin embargo, ambos tocan muy de cerca varias cuestiones fundamentales: de qué manera se alimentará y se abastecerá de combustible el mundo y, al mismo tiempo, como se hará frente al cambio climático y se manejarán los desechos peligrosos.

La delgada capa de suelo de la superficie terrestre es uno de los ecosistemas que se suele pasar por alto, pero se encuentra entre los más importantes para la supervivencia de la humanidad en el futuro.

La capa superior de un metro de espesor es la base de la agricultura y da sustento a los bosques, los prados y las praderas que, a su vez, crean las condiciones necesarias para la salud y la viabilidad de muchas de las especies vegetales y animales del planeta. En esa capa superior también se deposita el triple del carbono que contiene la atmósfera. Aun así, el cambio de uso de la tierra está provocando pérdidas gravísimas de suelo y de los nutrientes y el carbono que se encuentran en él. En el Anuario se observa que, en algunos lugares, el suelo se está erosionando a un ritmo 100 veces mayor de lo que se genera naturalmente. Se necesitan políticas más inteligentes e integradas para invertir esas tendencias.

En el Anuario se mencionan políticas agrícolas de labranza cero que se están aplicando en algunos países y que están ayudando a retener carbono en el suelo, además de brindar otros beneficios amplios, dando como ejemplo estudios de casos de Argentina y Brasil. También se pone de relieve una forma pionera de agricultura conocida como "paludicultura", que permite a los agricultores cultivar turberas en lugar de degradarlas a fin de mantener sus enormes reservas de carbono y, a la vez, producir cultivos para biocombustibles sostenibles.

El desmantelamiento de las centrales nucleares se destaca como tema emergente en vista del gran número de reactores que han llegado, o están por llegar, al final de su vida útil. Se han cerrado cerca de 140 reactores nucleares en casi 20 países, pero se han desmantelado apenas unos 17 y se prevén más cierres de centrales viejas en los próximos años y decenios. Mientras tanto, el tsunami que azotó en 2011 la central nuclear de Fukushima (Japón) ha llevado a algunos países a reconsiderar sus programas nucleares.

En el Anuario se pasa revista a las opciones de desmantelamiento y las complejidades que este conlleva. También se analiza otro tema sobre el cual todavía hay muy poca información, a saber, cuánto cuesta garantizar la seguridad de las centrales y los materiales radiactivos para las generaciones actuales y futuras. Según algunas estimaciones, desmantelar una central nuclear puede costar entre el 10% y el 60% del costo de construcción inicial, aspecto que quizá haya que contemplar más claramente al elegir una u otra forma de energía, junto con ciertos parámetros ambientales y sociales.

El Anuario de este año se publica antes de la Conferencia Río+20, en la que los gobiernos volverán a reunirse para examinar e idear medidas más enérgicas y aceleradas con las que concretar el desarrollo sostenible y hacer realidad una economía verde integradora.

Las actividades del PNUMA en todos sus subprogramas se fundamentan en una base científica sólida e imparcial: desde el cambio climático y los ecosistemas al aprovechamiento eficaz de los recursos pasando por los desastres y los conflictos. Sobre este pilar las naciones podrán actuar para cumplir sus objetivos y aspiraciones después de Río+20; así ha venido siendo cada vez más por casi 20 años.

**Achim Steiner**

Secretario General Adjunto de las Naciones Unidas y Director Ejecutivo, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente



# Siglas y abreviaturas

AEN/OCDE	Agencia para la Energía Nuclear de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos	IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
CDB	Convenio sobre la Diversidad Biológica	IRENA	Agencia Internacional de Energías Renovables
CFC	clorofluorocarbono	MNV	medir, notificar y verificar
CH4	metano	N2O	óxido nitroso
CIPR	Comisión Internacional de Protección Radiológica	NASA	Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio de los Estados Unidos
CITES	Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres	NOAA	Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos
CLD	Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación	OCDE	Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático	ODM	Objetivo de Desarrollo del Milenio
CNUMAD	Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo	OIEA	Organismo Internacional de Energía Atómica
CO2	dióxido de carbono	OMM	Organización Meteorológica Mundial
CO2 eq	dióxido de carbono equivalente	PAO	potencial de agotamiento del ozono
CONVEMAR	Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar	PEFC	Programa de Reconocimiento de Sistemas de Certificación Forestal
Convenio MARPOL	Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques	PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
EIA	evaluación del impacto ambiental	PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura	ppm	partes por millón
FSC	Consejo de Manejo Forestal	REDD	reducción de las emisiones debidas a la deforestación y la degradación forestal
GEO	Perspectivas del Medio Ambiente Mundial	SAO	sustancia que agota el ozono
Gt	gigatonelada	SEPA	Organismo de Protección del Medio Ambiente de Escocia
ha	hectárea	UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
HCFC	hidroclorofluorocarbono	UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
HFC	hidrofluorocarbono	UTS	uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura
ILR	Índice de la Lista Roja		
IPBES	Plataforma intergubernamental científico-normativa sobre diversidad biológica y servicios de los ecosistemas		

# Resumen ejecutivo

En 2011 los científicos siguieron haciendo avances para entender mejor nuestro medio ambiente mundial. Mientras los países aguardan con interés la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible (Río+20), que tendrá lugar en el Brasil en junio de 2012, siguen acumulándose pruebas de ciertas tendencias ambientales, entre otras, las relacionadas con el cambio climático y sus repercusiones, la pérdida de diversidad biológica y la degradación de la tierra y los suelos. Quedan enormes desafíos por afrontar en relación con el estudio de las causas profundas de esas tendencias y la respuesta a sus efectos, aunque también ha habido avances positivos, por ejemplo, en lo que respecta al empleo de tecnologías de energías renovables y la inversión en ellas. Los indicadores ambientales principales, como los que se presentan en el Anuario del PNUMA, ayudan a vigilar el estado del medio ambiente porque ofrecen un panorama de los datos y las tendencias más recientes que se conocen.

Una de las secciones características del Anuario es un análisis de hechos y acontecimientos ambientales del año anterior. Además, todos los años se incluyen capítulos redactados por grupos de científicos que se especializan en una esfera determinada, en los que se estudian temas emergentes relacionados con el medio ambiente. El Anuario 2012 del PNUMA se centra en la importante función del carbono del suelo y la necesidad crítica de retenerlo y aumentarlo a fin de mantener los múltiples beneficios económicos, sociales y ambientales que reporta. También hace hincapié en algunas de las complejidades y consecuencias del rápido aumento previsto en el número de reactores nucleares que se desmantelarán en los próximos diez años.

El año 2011 marcó un récord en lo que respecta a fenómenos meteorológicos y climáticos extremos. Los científicos más destacados están investigando la relación entre esos fenómenos y el cambio climático. Según los últimos análisis, el cambio climático está alterando la frecuencia, la intensidad, la duración, la distribución temporal y la cobertura espacial de los fenómenos meteorológicos extremos. Unos estudios recientes sugieren también que la combinación de las consecuencias que acarrea el aumento de la temperatura de los mares, la acidificación de los océanos, la falta de oxígeno y otros factores podría destruir los arrecifes de coral y hacer que se extendieran las zonas muertas de los océanos. Aumentando la superficie total de las zonas marinas protegidas se podría prevenir parte del daño, siempre que esas zonas se establezcan cuanto antes, se administren con eficacia y tengan una sólida base científica.

Frente a un creciente cambio de uso de la tierra y la intensificación de ese uso para satisfacer la demanda mundial de alimentos, agua y energía, es prioritario mantener e incluso aumentar las reservas de carbono del suelo. En los últimos 25 años, en un cuarto de la superficie terrestre del mundo ha disminuido la productividad así como la

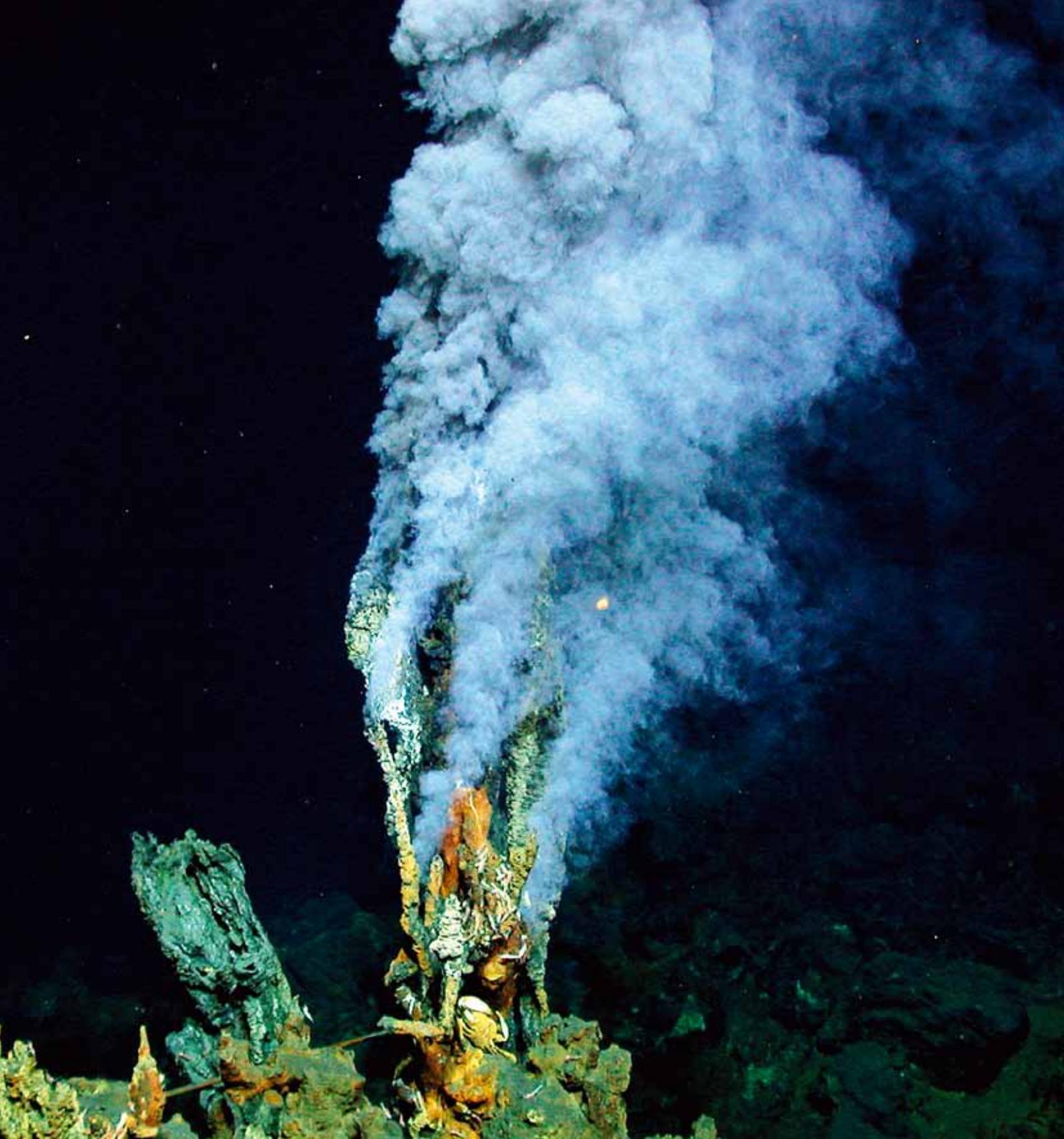
capacidad de prestar servicios de los ecosistemas a causa de las pérdidas de carbono del suelo. Dado que el carbono del suelo es fundamental para la productividad agrícola, la estabilización del clima y otros servicios vitales de los ecosistemas, la creación de incentivos normativos para la gestión sostenible del carbono del suelo podría reportar numerosos beneficios a corto y largo plazo. En algunos lugares se necesitarán mecanismos para proteger los suelos que son importantes depósitos de carbono, como las turberas y las tundras, en cuanto alternativas a otros usos, por ejemplo, la expansión de la agricultura o la silvicultura. No obstante, en muchos casos se pueden obtener múltiples beneficios económicos, sociales y ambientales de las mismas tierras mediante la gestión eficaz del carbono del suelo.

Si todos los niveles de gobernanza pusieran un nuevo énfasis en la gestión eficaz del carbono del suelo para asegurar esos múltiples beneficios, la medida sería un paso importante para lograr que los servicios de los ecosistemas proporcionen sustento a la población mundial de 2030 en adelante.

Por “desmantelamiento” de las centrales nucleares se entiende la gestión en condiciones seguras al final de su vida útil de los reactores y las instalaciones nucleares. Ahora que las primeras generaciones de esos reactores están llegando al final de su vida útil original y algunos países están reconsiderando sus programas nucleares a raíz del accidente de Fukushima, se prevé que aumente considerablemente el número de reactores que se desmantelarán en el próximo decenio. Cada operación de desmantelamiento presenta dificultades técnicas particulares y riesgos específicos para la salud humana y el medio ambiente. Aunque durante varios años se han desmantelado instalaciones nucleares sin mayores inconvenientes en lo que respecta a la radiación, hay diferencias geográficas considerables en la práctica. El costo del desmantelamiento varía enormemente según el tipo y las dimensiones del reactor, su emplazamiento, la proximidad y disponibilidad de instalaciones de eliminación de desechos, el uso previsto del sitio en el futuro y la condición tanto del reactor como del sitio en el momento de desmantelar la central. Representa una fracción importante del costo de las operaciones generales del reactor nuclear.

El desmantelamiento suele generar dos tercios de todos los desechos de actividad muy baja, baja e intermedia que se producen durante la vida útil del reactor. Dado que va en aumento el número de centrales nucleares que se prevé desmantelar, los países deben estar preparados para manejar ese volumen de desechos. Para una tarea de semejante escala se precisarán normas a nivel nacional e internacional, financiación amplia, tecnología innovadora y un gran número de trabajadores capacitados. Una de las enseñanzas que ya se puede entrever es que las centrales nucleares deberían diseñarse previendo desde el principio el desmantelamiento eficiente en condiciones seguras.





# Resumen del año

## Hechos y acontecimientos en materia de medio ambiente

2011 fue un año de fenómenos ambientales extremos. Las graves sequías e inundaciones acapararon titulares en los medios de comunicación y los principales científicos del clima siguieron adelante con su labor para determinar si existe una clara relación entre los fenómenos meteorológicos extremos y el cambio climático. Puede que en los océanos se haya identificado apenas un 9% de todas las especies, sin embargo, nuevos estudios muestran que la pesca excesiva (sobrepesca), la contaminación y el cambio climático suponen una grave amenaza para el futuro de la vida oceánica. A pesar de la recesión económica, las inversiones en energía limpia a escala mundial aumentaron casi un tercio, a 211.000 millones de dólares de los Estados Unidos en 2010. Si se invirtiese un 2% del PIB en 10 sectores clave, se podría acelerar de manera significativa la transición hacia una economía más sostenible y baja en carbono.

Alrededor de 13 millones de personas en Djibouti, Eritrea, Etiopía, Kenya y Somalia han sido víctimas de una de las peores crisis humanitarias en decenios. La sequía más grave que ha experimentado la región en 60 años provocó una hambruna generalizada y dificultó considerablemente el acceso al agua potable y el saneamiento (**recuadro 1**). Estas condiciones no solo afectan directamente a las comunidades locales de hoy, sino que disminuyen su capacidad para hacer frente a futuras sequías y limitan las posibilidades de acceso al agua y la seguridad alimentaria en los años venideros (Munang y Nkem, 2011). Se espera que las temperaturas en la región sigan aumentando y se modifique el régimen de lluvias (Anyah y Qui, 2011).

La crisis en el Cuerno de África es solo uno de los sucesos ocurridos en 2011 que ilustran los desafíos que habrá que encarar ante las variaciones climáticas cada vez más frecuentes en todo el mundo. En muchas regiones se precisan estrategias innovadoras para hacer frente a las presiones que se ciernen sobre la tierra y los recursos hídricos y sobre la productividad agrícola -desde aumentar la capacidad de adaptación en las pequeñas explotaciones agrícolas hasta contraer compromisos globales para mitigar el cambio climático.

### Cambio climático, fenómenos meteorológicos extremos y gestión de riesgos de desastre

En 2011 se registraron fenómenos meteorológicos y climáticos extremos sin precedentes, que provocaron un elevado número de víctimas y daños valorados en miles de millones de dólares. (**gráfico 1**). Fue también el décimo año más cálido y el año más cálido del fenómeno La Niña desde que se tienen registros, y el año en que se registró la segunda menor extensión de la capa de hielo marino ártico para la temporada (NSIDC, 2011 y OMM, 2011a). La comunidad científica ha creado una

Las chimeneas hidrotermales son géiseres del suelo marino que constituyen el hábitat de una fauna exótica. La pesca de arrastre y la extracción de minerales pueden causar graves daños a los ecosistemas de los fondos marinos. *Foto: Charles Fisher*

#### Recuadro 1: Lucha contra la sequía en el Cuerno de África



En 2011, el campamento de refugiados de Dadaab, en Kenya, se convirtió en el hogar de 400.000 personas que huían de la sequía y la hambruna. *Foto: Linda Ogwel, Oxfam*

La sequía, junto con los altos precios de los alimentos, la insuficiencia de medidas humanitarias y las restricciones impuestas a la aceptación de ayuda, ha provocado migraciones en masa hacia los campos de refugiados en el Cuerno de África. A principios de 2011 se emitieron alertas de hambruna para esta región, pero aun así la sequía tuvo efectos devastadores. En julio, la tasa de desnutrición aguda en el sur de Somalia había aumentado hasta el 38%- 50% (FEWS NET, 2011). Muchos sistemas de alerta temprana evalúan las condiciones país por país, lo que limita su capacidad para evaluar el panorama regional más amplio y puede limitar la eficacia de las medidas de respuesta (Ververs, 2012).



Bajas temperaturas sin precedentes en Fairbanks, Alaska, (EE.UU.), del 15 al 19 de noviembre. Temperatura más baja 41°C, el 17 de noviembre.

EE.UU. Máximo nivel de precipitaciones registrado en mayo en las llanuras del norte y en la zona norte de las Montañas Rocosas. Crecida del Río Missouri como resultado de nevadas sin precedentes en las Rocosas y precipitaciones primaverales cercanas al récord.

Fuertes vientos inducidos por la tormenta tropical Lee, asociados a altas temperaturas y la peor sequía que sufre el estado en todo un año, provocan incendios devastadores en Texas. Unos 21.000 incendios, los más destructivos de la historia de Texas, destruyen más de 1.500 hogares.

Zonas de México afectadas por muy bajas temperaturas los días 3 y 4 de febrero. En Ciudad Juárez se registran -18°C, la temperatura más baja desde 1950.

2011. Mayor cifra de tornados en EE.UU. En Joplin, Missouri, un tornado deja 157 víctimas el 22 de mayo. Peor tornado desde 1947, cuando se estableció el registro de tornados de la era moderna.

Ola de calor extremo afecta gran parte de América del Norte en julio. Se batan diversos récords.

Estados Unidos, peor crecida del Río Misisipi desde 1927.

A principios de año Cuba sufre la peor sequía en casi 50 años. Las presas se quedan al 1/5 del nivel normal. El gobierno suministra agua por carretera a más de 100.000 personas.

La extensión del hielo marino del Ártico registrada el 9 de septiembre fue la segunda más baja, sololigemente superior al récord de extensión mínima registrado en 2007.

El mes de abril con las temperaturas más altas registradas en Reino Unido desde 1910, cuando se estableció el registro de temperaturas. Máximas temperaturas también en Inglaterra, Gales, Escocia e Irlanda del Norte en abril.

En abril, una violenta tormenta de arena azota el norte de Alemania como resultado de una gran sequía. Un accidente en cadena involucra a 80 coches, 20 de ellos se incendian.

El mes de Noviembre más seco en Alemania desde 1881 cuando se estableció el registro.

Partes de Europa experimentan altas temperaturas sin precedentes en verano, que causan la muerte de al menos 10 personas en el norte de Italia, los días 23 y 24 de agosto.

En agosto, el huracán Irene deja una estela de destrucción desde el Caribe a lo largo de toda la costa este de EE.UU. Mueren al menos 56 personas, 5,8 millones quedan sin electricidad y se ordena la evacuación de cientos de miles.

Inundaciones y deslizamientos de lodo en el estado de Río de Janeiro a principios de enero cobran más de 800 vidas. Peor desastre natural registrado en Brasil.

Grandes inundaciones en la zona norte de Namibia a principios de año afectan a cientos de miles de personas. Peores inundaciones registradas en el país.

El 8 de agosto una tormenta de granizo y fuertes vientos destruye casas y cultivos al sur del Paraguay afectando a más de 1.700 familias.

Lluvias fuera de estación afectan partes de Sudáfrica a principios de junio. En algunas zonas la media de precipitaciones para un mes se multiplica por 10.

18 de julio, día más húmedo del mes en Buenos Aires (Argentina) con 83 mm de precipitación.

El mes de octubre más frío en varias partes de Argentina en 50 años.

En varios lugares de Argentina se registran en mayo los niveles más bajos de precipitación desde 1961.



Sequia



Temperaturas/  
precipitaciones  
sin precedentes



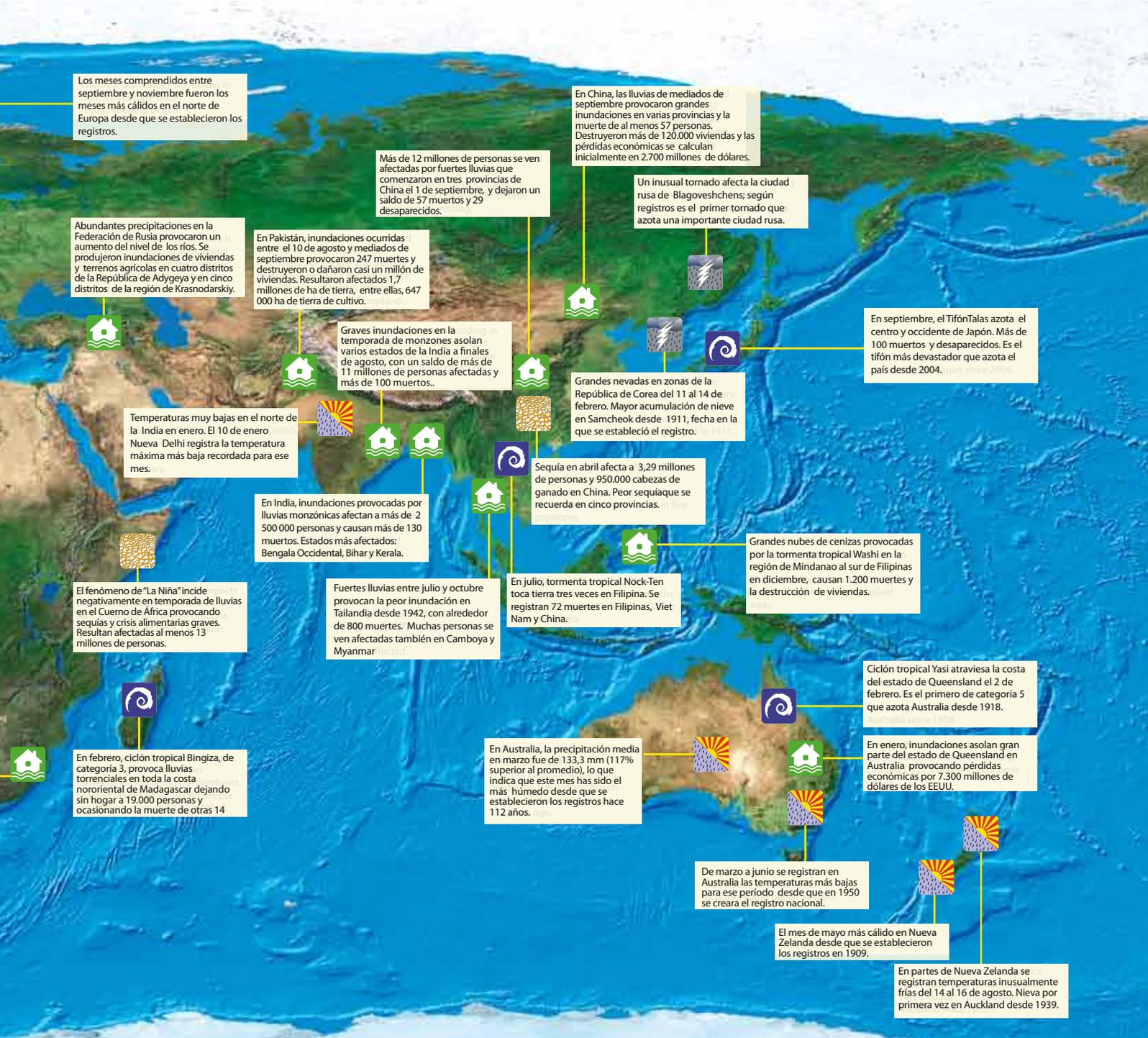
Tormenta  
severa/  
tornado



Ciclón tropical



Inundación



**Gráfico 1:** Los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos ocurridos en 2011 provocaron un elevado número de víctimas y daños en todo el mundo valorados en miles de millones de dólares. Las temperaturas y precipitaciones sin precedentes, así como intensas tormentas, ciclones tropicales, inundaciones, sequías e incendios devastadores fueron la causa de innumerables muertes y destrucciones generalizadas. Según el IPCC, el cambio climático está contribuyendo a la modificación de los patrones de frecuencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos (IPCC, 2011a). No se ha establecido relación alguna entre el cambio climático y los fenómenos geofísicos, como los terremotos

nueva alianza internacional para evaluar, en cada caso particular, la probabilidad de que el aumento de las temperaturas observado durante el siglo pasado sea la causa de los fenómenos meteorológicos extremos, o contribuya a su empeoramiento (Stott *et al.*, 2011). Además, al investigar la variabilidad de las precipitaciones, los científicos ya han encontrado pruebas de que las emisiones antropógenas de gases de efecto invernadero aumentan considerablemente el riesgo de que ocurran fenómenos meteorológicos extremos (Pall *et al.*, 2011).

Un “fenómeno meteorológico extremo” es un suceso insólito dentro de su distribución estadística de referencia en un determinado lugar (IPCC, 2011a). Si bien la variabilidad natural hace que resulte difícil atribuir los fenómenos meteorológicos extremos al cambio climático, los análisis estadísticos demuestran que las tendencias generales de muchos fenómenos extremos están cambiando. La conclusión de un nuevo informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) es que el cambio climático está provocando alteraciones en la frecuencia, intensidad, duración, periodicidad y cobertura espacial de los fenómenos meteorológicos extremos (IPCC, 2011a). Según ese informe, existe la certeza casi absoluta (entre el 99% y el 100% de probabilidades) de que hay un aumento de la frecuencia y la magnitud de las temperaturas altas extremas diarias durante el siglo XXI y una reducción de las temperaturas bajas extremas. El informe del IPCC expresa gran confianza en que habrá un aumento de los fenómenos asociados a fuertes precipitaciones y una subida de aguas costeras, esto último como resultado del aumento del nivel del mar. Sin embargo, a pesar de las inundaciones devastadoras que tuvieron lugar en 2011, como las de Australia, Pakistán y Tailandia, no existen muchas pruebas que permitan predecir cambios a largo plazo en relación con la magnitud y frecuencia de las inundaciones a escala regional, debido en parte a que no se cuenta con datos de observación adecuados a escalas temporal y espacial (IPCC, 2011a).

La Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA) informó de que en los primeros seis meses de 2011 se había batido el récord como año en el que más pérdidas se habían producido a consecuencia de los desastres provocados por fenómenos meteorológicos en el país (NOAA, 2011). A finales de 2011, los Estados Unidos fueron asolados por “14 desastres que acarrearán pérdidas de miles de millones de dólares”, y causaron daños por valor de, al menos, 1.000 millones de dólares de los Estados Unidos (NOAA, 2012). A nivel mundial, solo en el primer semestre de 2011, los gastos provocados por varios fenómenos naturales graves fueron superiores al total de gastos en el 2005, el año anterior más costoso (UNISDR, 2011). Munich Re, la mayor compañía de reaseguros del mundo, notificó pérdidas por valor de 380.000 millones de dólares de los Estados Unidos en 2011, como consecuencia de desastres naturales -entre otros- fenómenos relacionados con la meteorología y el clima, así como fenómenos geofísicos, como terremotos (Munich Re, 2012). Esas escalofriantes cifras muestran el posible impacto económico de un incremento en la frecuencia y gravedad de los fenómenos meteorológicos extremos. También sugieren el grado de sufrimiento humano asociado a estos fenómenos y la necesidad de adoptar estrategias más eficaces de reducción de riesgos y preparación ante

desastres para aumentar la resiliencia a estos fenómenos, tanto en los países en desarrollo como en los desarrollados.

Las pérdidas económicas asociadas a los desastres, en general, son mayores en los países desarrollados que en los países en desarrollo. Sin embargo, de manera proporcional al PIB, las pérdidas son mucho mayores en los países en desarrollo. Más del 95% de las muertes provocadas por fenómenos extremos en los últimos decenios han ocurrido en países en desarrollo. Con frecuencia los países desarrollados cuentan con mejores mecanismos financieros e institucionales para enfrentar los fenómenos extremos y sus impactos. La futura exposición y vulnerabilidad a estos fenómenos se puede mitigar integrando la planificación de la reducción de riesgo de desastres en el desarrollo económico y la planificación de la adaptación al cambio climático. Los planes y estrategias de alerta temprana y reducción de riesgo de desastres son esenciales, y el poder documentar cada uno de los fenómenos contribuye a enriquecer el caudal de conocimientos y lecciones aprendidas (IPCC, 2011a). En muchas regiones ya se están llevando a cabo actividades de reducción del riesgo y preparación ante desastres, entre las que se incluyen, iniciativas de sensibilización del público y mejoras de los sistemas e infraestructuras de alerta temprana.

## Dinámica de la población y escasez de recursos

Los fenómenos extremos pueden provocar desplazamientos internos y externos de la población. Dado el carácter sostenido del cambio climático y la probabilidad de que ciertos fenómenos extremos sean cada vez más frecuentes, es preciso evaluar el impacto que esos fenómenos pueden tener en la migración. De manera más general, se plantea la cuestión de las consecuencias del cambio climático para la seguridad internacional. En julio de 2011, el Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas celebró deliberaciones oficiales sobre esta cuestión para examinar en qué medida el cambio climático podría ser un “multiplicador de amenazas” en lo que se refiere a mantener la paz y estabilidad en el mundo. Los refugiados ambientales desplazados por la escasez de agua y la crisis alimentaria están reconfigurando la geografía



El Secretario General Ban Ki-moon (centro) junto a estudiantes de la escuela New Explorations into Science, Mathematics and Technology que sostienen carteles formando el número “7.000.000.000” para indicar que en esa semana la población mundial llegó a los 7.000 millones. Foto: Eskinder Debebe

humana del mundo. Si bien entre los 15 miembros del Consejo de Seguridad surgieron diferencias de opinión acerca del grado de prioridad que debía otorgarse al cambio climático, se convino en una declaración en la que se “expresa su preocupación por la posibilidad de que los efectos adversos del cambio climático puedan agravar a largo plazo determinadas amenazas para la paz y la seguridad internacionales ya existentes” (Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas, 2011).

En un estudio publicado en diciembre por cuatro organismos de las Naciones Unidas encargados de las cuestiones relacionadas con el cambio climático, la migración y el conflicto en la región del Sahel en África Occidental, se llegó a la conclusión de que las tendencias climáticas ya están cambiando en el Sahel (PNUMA, 2011a). Como resultado de esos cambios se han visto afectadas la disponibilidad de recursos naturales y la seguridad alimentaria y se están modificando los patrones de migración. En el estudio se abordó la intensificación de la competencia por los recursos naturales, fundamentalmente la tierra y el agua, que se traduce en conflictos entre las distintas comunidades y grupos de subsistencia. También en Darfur, en África Oriental, los patrones de migración están ejerciendo una gran presión sobre los recursos naturales, por ejemplo, el agua. Actualmente, la mitad de la población de Darfur vive en zonas urbanas o en sus alrededores. Antes del conflicto civil, solo el 20% de la población vivía en las zonas urbanas (ACNUR, 2010). Como resultado de esta urbanización no planificada han surgido asentamientos improvisados con una mala gestión de los desechos y de saneamiento .

En 2011, la población mundial alcanzó los 7.000 millones. Se prevé que en 2043 esa cifra aumente a 9.000 millones, lo que impondría grandes demandas sobre los recursos del planeta (DAES, 2011) (**gráfico 2**). El cambio climático exacerba las presiones por satisfacer las crecientes necesidades de alimentos de una población cada vez más numerosa y rica. Para satisfacer esa demanda, la producción agrícola mundial tendrá que aumentar un 70% para 2050 (FAO, 2011a). Un estudio reciente de datos históricos indica que las tendencias climáticas observadas en los últimos 30 años han repercutido negativamente en la producción de trigo y maíz (Lobell *et al.*, 2011). El consumo de recursos podría triplicarse en 2050, aunque las tendencias actuales de consumo en los países desarrollados son muy diferentes de las de los países en desarrollo (PNUMA, 2011b). En el caso de muchos sistemas agrícolas se plantea el peligro de que se produzca un desplome progresivo de la capacidad productiva como resultado de la combinación de una presión excesiva de la población y usos y prácticas no sostenibles en el sector agrícola (FAO, 2011b).

Se prevé que el cambio climático, que modificará el régimen de precipitaciones en muchas regiones, exacerbe la escasez de agua. Ello suscita particular preocupación en las regiones que tienen un peso importante en la producción de alimentos. Hay que emplear métodos de explotación agrícola que sean ecológicamente más racionales, por ejemplo, mejores técnicas de riego y siembra de cubiertas vegetales, como árboles y arbustos, para reducir la escorrentía de aguas pluviales y aumentar la protección contra la sequía (PNUMA e Instituto Internacional de Gestión de Recursos Hídricos, 2011). La producción de

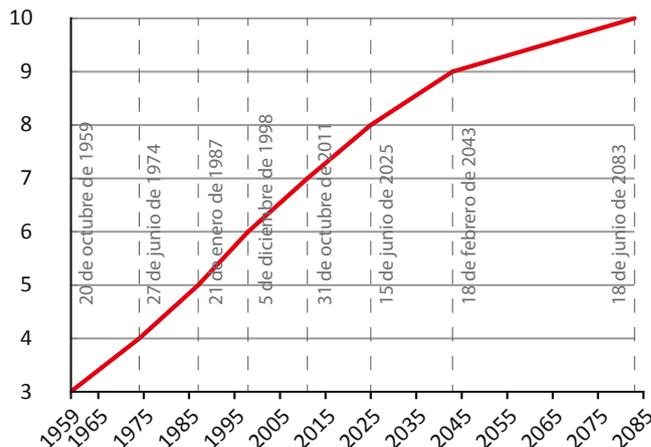
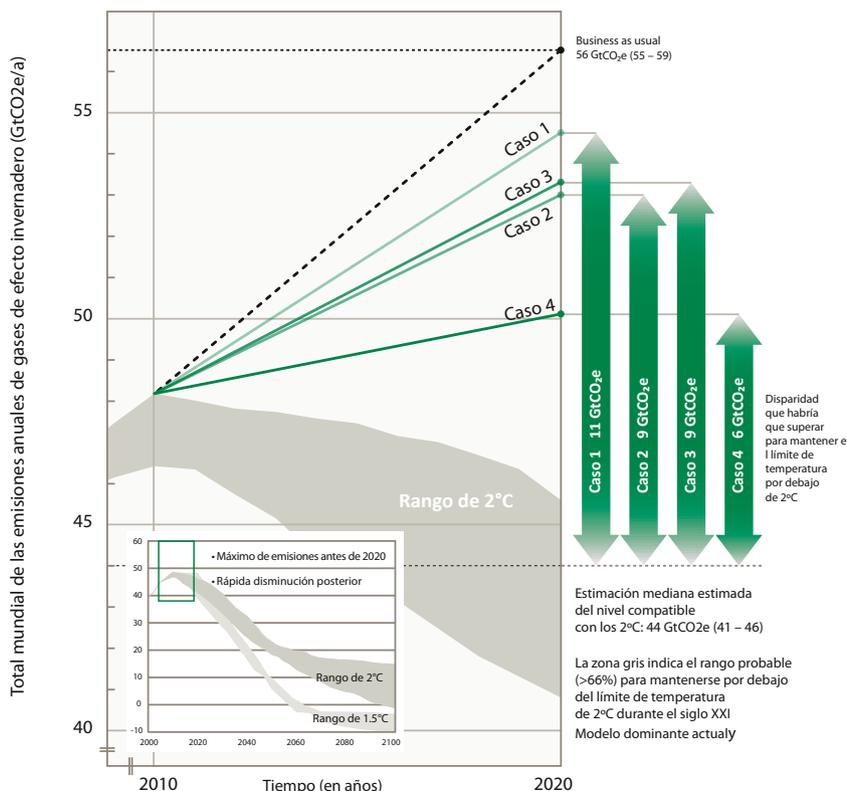


Gráfico 2: Perspectivas de la población mundial, en miles de millones de personas, de 1959 a 2085. Fuente: DAES (2011).

bioenergía puede generar mayores presiones sobre los recursos de tierra y agua, compitiendo con la necesidad de alimentar a una población mundial cada vez más numerosa. No obstante, el uso de biocombustibles en lugar de combustibles fósiles puede ayudar también a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Por ello, es necesario definir y aplicar correctamente normas de sostenibilidad para garantizar que la creciente demanda de bioenergía no se traduzca en una mayor presión sobre los recursos de tierra y agua, ni sobre la producción de alimentos (PNUMA, 2011c). Se precisan políticas que protejan tanto los suelos utilizados para la producción de bioenergía como los ecosistemas circundantes, para preservar la seguridad de los alimentos y los recursos hídricos. La planificación y gestión integradas pueden reducir considerablemente los riesgos asociados al uso de biocombustibles y así contribuir al desarrollo de una economía verde (PNUMA, 2011c y PNUMA *et al.*, 2011).

En junio de 2011 los gobiernos participantes en el congreso de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) respaldaron el Marco Mundial para los Servicios Climáticos, un esfuerzo coordinado por muchos interesados directos para facilitar el acceso a la información sobre el clima con vistas a la adopción de decisiones y la adaptación. Dicho marco tiene la finalidad de integrar la información sobre el clima de manera que pueda ser utilizada por todos los países y sectores sensibles a los efectos del clima. Se necesitaría una buena coordinación de las actividades de financiación del clima y varias decenas de millones de dólares para impulsar la aplicación del marco a fin de apoyar mejor la gestión de los países en desarrollo (OMM, 2011b). Una de las iniciativas que respaldan el marco es el Programa de Investigación sobre la vulnerabilidad ante el cambio climático, sus efectos y la adaptación a él, que se inició en 2011 (PROVIA, 2011). Una y otra vez los países en desarrollo han puesto de relieve la necesidad de que exista una mayor coordinación del desarrollo científico para contribuir a las estrategias, planes y programas nacionales y sectoriales de adaptación. Con esta iniciativa se podrían satisfacer algunas de esas demandas.





- **Caso 1 – Compromisos incondicionales, normas poco estrictas**  
Si los países cumplen sus compromisos menos ambiciosos y se rigen por normas de contabilidad "poco estrictas", la estimación mediana de las emisiones anuales de gases de efecto invernadero en 2020 sería de 55 GtCO<sub>2</sub>e, en un rango de 53 a 57 GtCO<sub>2</sub>e.
- **Caso 2 –Compromisos incondicionales, normas estrictas**  
Este caso se da cuando los países cumplen sus compromisos menos ambiciosos pero se rigen por normas de contabilidad "estrictas". En este caso, la estimación mediana de las emisiones en 2020 sería de 53 GtCO<sub>2</sub>e, en un rango de 52 a 55 GtCO<sub>2</sub>e.
- **Caso 3 –Compromisos condicionales, normas poco estrictas**  
En algunos países los compromisos serán más ambiciosos. Aun cuando sea este el caso, si las normas son "poco estrictas", la estimación mediana de las emisiones en 2020 sería de 53 GtCO<sub>2</sub>e, en un rango de 52 a 55 GtCO<sub>2</sub>e. Obsérvese que es mayor que en el Caso 2.
- **Caso 4 –Compromisos condicionales, normas estrictas**  
Si los países contraen compromisos más ambiciosos y además se rigen por normas de contabilidad "estrictas", la estimación mediana de las emisiones en 2020 sería de 51 GtCO<sub>2</sub>e, en un rango de 49 a 52 GtCO<sub>2</sub>e.

Todos los valores de emisión que figuran en el texto se han redondeado a la gigatonelada más próxima.

**Gráfico 3:** Los compromisos de reducción de emisiones de los países para 2020 no están siendo suficientes para mantener el aumento de la temperatura mundial por debajo de los 2°C a finales del siglo XXI, lo que crea una disparidad. La magnitud de esa disparidad depende del alcance de los compromisos que están siendo ejecutados y de la manera en que se hagan realidad. En el gráfico se presentan cuatro casos: el caso 1 refleja compromisos de reducción de emisiones menos ambiciosos por parte de los países y normas de contabilidad "poco estrictas"; el caso 2 refleja compromisos de reducción de emisiones más ambiciosos con normas de contabilidad "estrictas"; el caso 3 presenta compromisos de reducción más ambiciosos, pero normas de contabilidad "poco estrictas" y el caso 4 refleja compromisos de reducción más ambiciosos con normas de contabilidad "estrictas". Cuando las normas son "poco estrictas", los derechos de emisión derivados de proyectos de uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTS) y los créditos de unidades de emisión excedentes se pueden descontar de los compromisos de reducción de emisiones de los países. En los casos en que se aplican normas "estrictas", no se puede hacer uso de ellos. Fuente: PNUMA (2011d)

## Energía y mitigación del cambio climático

Si bien muchos países están tomando medidas de adaptación al cambio climático, la reducción de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero sigue siendo fundamental para evitar los efectos más graves e irreversibles del cambio climático. En 2010, se registraron los mayores niveles de gases de efecto invernadero desde la época preindustrial (OMM, 2011c). Muchos países se comprometieron en 2009 a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero para 2020, con el objetivo de mantener el calentamiento del planeta por debajo de los 2°C a finales del siglo XXI. Sin embargo, sigue habiendo una brecha importante de entre 6 y 11 Gt de CO<sub>2</sub> equivalente entre los niveles de emisiones previstos para 2020 (sobre la base de las tendencias actuales) y los niveles necesarios para mantener el aumento de la temperatura media mundial por debajo de los 2°C a finales del siglo (gráfico 3).

Reducir las emisiones de aquí a 2020 de manera que sea posible mantener el aumento de la temperatura mundial por debajo de 2°C es viable desde el punto de vista técnico y económico (PNUMA, 2011d). Para reducir las emisiones es preciso que los países modifiquen sus sistemas energéticos aumentando tanto el uso de energías renovables bajas en carbono como su eficiencia energética. Se pueden poner en práctica políticas de reducción de emisiones específicas para distintos sectores, particularmente políticas relacionadas con la producción de electricidad, la industria, el transporte, la silvicultura y la agricultura. Tales medidas pueden contribuir a reducir la brecha entre los niveles actuales y las metas de emisión, y deben ir acompañadas de compromisos de reducción más ambiciosos y normas de contabilidad más estrictas. Las adquisiciones ecológicas por parte del sector público y privado pueden contribuir también a reducir las emisiones. También las empresas y organizaciones por separado pueden recurrir a estas

## Recuadro 2: Las negociaciones de Durban sobre cambio climático

La 17ª Conferencia de las Partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el séptimo período de sesiones de la Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes en el Protocolo de Kyoto se celebraron en Durban (Sudáfrica), del 28 de noviembre al 9 de diciembre de 2011. Se planteaba la necesidad de llegar a una decisión respecto de un instrumento que sucediera al Protocolo de Kyoto (aprobado en 1997), en virtud del cual los países desarrollados se comprometieron a cuantificar la reducción de sus emisiones, habida cuenta de que a finales de 2012 el primer período de compromiso del Protocolo llegaría su fin.

Tras un prolongado debate, se acordó un segundo período de compromiso del Protocolo de Kyoto. A finales de 2012 se han de ultimar los arreglos para la entrada en vigor del segundo período de compromiso el 1 de enero de 2013. El segundo período del Protocolo de Kyoto, en el que no participarán varios de los grandes emisores y se aplicará un método basado en las emisiones notificadas para determinar los compromisos de reducción de emisiones, podría servir de transición hacia un acuerdo universal y amplio. Poco después de celebrarse las conversaciones sobre el clima en Durban, Canadá anunció su retirada del Protocolo de Kyoto.

Como complemento de la prórroga del Protocolo de Kyoto, se adoptó la decisión histórica de iniciar negociaciones sobre un protocolo o instrumento jurídico, o un documento convenido que tuviese valor jurídico, en el marco de la Convención en consonancia con la nueva vía de la Plataforma de Durban, que incluyera tanto a los países desarrollados como a los países en desarrollo. La reducción de emisiones en virtud del nuevo acuerdo mundial debería comenzar en 2020. Otra parte importante de los acuerdos logrados en Durban fue la puesta en funcionamiento del Fondo Verde para el Clima. Se logró amplio acuerdo sobre la estructura de este Fondo. Se reiteró además el objetivo de movilizar conjuntamente 100.000 millones de dólares de los Estados Unidos anuales para el año 2020, con el fin de atender las necesidades

de los países en desarrollo. Con la puesta en marcha del Fondo Verde para el Clima, la financiación del clima puede estar más centralizada y ser más coherente.

Si bien en Durban se lograron avances en el empeño por garantizar que las negociaciones sobre el clima siguiesen por buen camino, el hecho de que no se lograra avanzar en las cuestiones relacionadas con las disparidades en las emisiones, suscita preocupación. Hasta la fecha los compromisos actuales de reducción voluntaria de emisiones no han logrado disminuir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero. Lejos de disminuir, han aumentado. La reunión de la 18ª Conferencia de las Partes y la octava Reunión de las Partes están previstas del 26 de noviembre al 7 de diciembre de 2012 en Doha (Qatar).



Foto: Siemens AG

medidas. Las adquisiciones ecológicas implican escoger "los servicios y productos que minimizan los efectos sobre el medio ambiente, por ejemplo, mediante las reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero. Al optar por estas medidas, las organizaciones muestran mayor responsabilidad ambiental y con frecuencia logran también reducir costos (IISD, 2011).

Las negociaciones internacionales bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) están desempeñando una importante función en la determinación de metas de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero por los países. En las conversaciones de Durban sobre cambio climático se convino en iniciar un segundo período de compromiso del Protocolo de Kyoto y un proceso para comenzar a negociar un instrumento jurídico o un documento convenido que tuviese valor jurídico en el marco de la Convención y que abarcara a todos los países (**recuadro 2**). En muchos sentidos estos dos acuerdos simbolizan un avance importante. Además, como resultado de las decisiones adoptadas en Durban entró en funcionamiento el Fondo Verde para el Clima y se impulsaron los

mecanismos para enfrentar el cambio climático establecidos en Cancún, entre otros, un proceso para determinar las características del Centro y la Red de Tecnología sobre Clima. Sin embargo, las decisiones adoptadas en Durban no contribuyeron a poner en práctica un proceso para reducir las emisiones en consonancia con lo que, según la ciencia, se necesita para mantener el aumento de la temperatura por debajo de 2°C. La disparidad en las emisiones sigue siendo significativa.

Limitar las emisiones de hidrofluorocarbonos (HFC) puede contribuir notablemente a la reducción de las emisiones de potentes gases de efecto invernadero y de ese modo evitar el nocivo cambio climático (PNUMA, 2011c). Aunque los HFC son potentes gases de efecto invernadero, se han venido utilizando cada vez más como sustitutos de sustancias que agotan el ozono, como los clorofluorocarbonos (CFC) y los hidroclorofluorocarbonos (HCFC). La contribución de los HFC al forzamiento total del clima es inferior al 1% de la contribución del resto de los gases de efecto invernadero combinados, pero entre 2004 y 2008 su uso aumentó en casi un 8% anual. Por tanto, el aumento de las emisiones de HFC podría tener un impacto notable en el sistema



climático. Es posible reducir el uso de HFC aplicando opciones técnicas como la sustitución de diseños arquitectónicos de modo que no sea necesario emplear aire acondicionado y utilizar HFC con bajo potencial de calentamiento atmosférico, los cuales están siendo desarrollados e introducidos por los científicos (PNUMA, 2011e).

Se pueden obtener múltiples beneficios inmediatos reduciendo las emisiones de carbono negro y productos químicos que son precursores de la formación de ozono a nivel del suelo (Shindell y otro, 2012). El carbono negro es una partícula que se forma a través de la combustión incompleta de la biomasa y los combustibles fósiles. El ozono troposférico es un contaminante secundario derivado de las reacciones químicas de ciertos compuestos en presencia de la luz solar. Uno de los precursores principales del ozono troposférico es el metano, que es también un potente gas de efecto invernadero. Tanto el ozono troposférico como el carbono negro afectan el sistema climático y tienen efectos importantes sobre la salud humana y de los ecosistemas (PNUMA y OMM, 2011). Influyen también en el régimen de precipitaciones y en los patrones de circulación regionales, como los monzones en Asia. El carbono negro oscurece la nieve y el hielo reduciendo así la cantidad de luz solar que se refleja en el espacio. Como resultado se produce un calentamiento de la tierra, aumenta el deshielo de la nieve y, en consecuencia, se producen inundaciones. La reducción de las emisiones de carbono negro y precursores del ozono tiene efectos inmediatos en la salud humana y podría contribuir a mitigar los efectos del cambio climático a corto plazo (Shindell *et al.*, 2012). No obstante, sigue siendo necesario adoptar medidas eficaces para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> con vistas a mantener el aumento de la temperatura por debajo de 2°C.

Se pueden utilizar de manera eficaz diversos métodos, como mejorar la eficiencia y la conservación energéticas, conjuntamente con tecnologías de energía renovable para reducir el total de emisiones de gases de efecto invernadero. Para obtener el máximo beneficio posible de estos métodos habría que realizar algunas inversiones. Según un nuevo estudio realizado, había que invertir el 2% del PIB en 10 sectores clave para impulsar la transición hacia una economía verde con bajas emisiones de carbono que utilice los recursos de manera eficiente y promueva la participación social (**recuadro 3**). Si bien la pérdida de algunos puestos de trabajo en algunos sectores sería inevitable, se espera que la creación de puestos de trabajo a más largo plazo compensase las pérdidas a corto plazo. En 2011, varios organismos de las Naciones Unidas y otras organizaciones publicaron de manera conjunta directrices para la transición hacia una economía verde (Naciones Unidas, 2011 y PNUMA, 2011f).

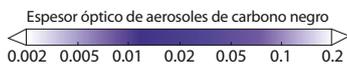
### Recuadro 3: Diez sectores clave para una economía verde

Hay que invertir el 2% del PIB en 10 sectores clave para impulsar la transición hacia una economía verde baja en carbono que utilice los recursos de manera eficiente y promueva la participación social. Estos son:

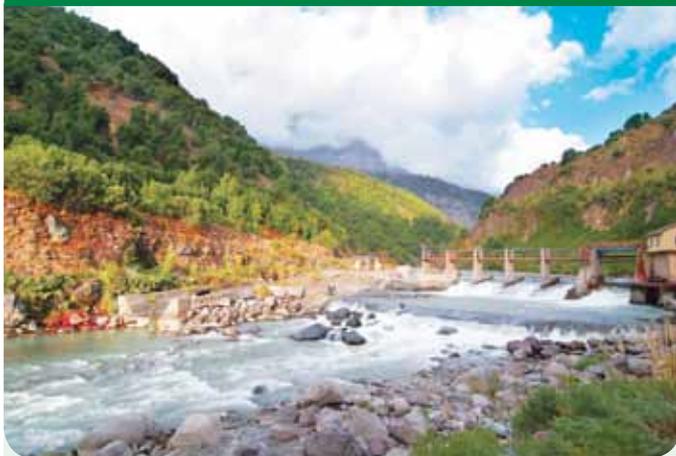
- Agricultura
- Pesca
- Agua
- Bosques
- Energía renovable
- Manufacturero
- Desechos
- Construcción
- Transporte
- Turismo

Son muchas las soluciones de energía renovable que existen o se han propuesto y se encuentran en distintas etapas de desarrollo. En particular, hay seis categorías de tecnologías de energía renovable que podrían mitigar el cambio climático hoy día o en el futuro cercano (IPCC, 2011b) (**recuadro 4**). En 2008, la energía renovable representó el 12,9 % del suministro total de energía primaria. Las inversiones en energías renovables aumentaron en un 32% entre 2004 y 2008 a 211.000 millones de dólares de los Estados Unidos, y China emergió como país líder en el desarrollo de tecnologías de energía renovable (REN21, 2011 y PNUMA, 2011f). Se prevé que las inversiones en energías renovables se dupliquen a 395.000 millones de dólares de los Estados Unidos para 2020. (Bloomberg, 2011). Las energías renovables podrían representar el 77% del suministro total de energía primaria en 2050 (IPCC, 2011b).

En abril de 2011 se celebró la primera reunión de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA). Esta organización está centrando su labor en el uso de energías renovables como instrumento para el desarrollo y en facilitar la transferencia de conocimientos y tecnologías, adoptando políticas de promoción de energías renovables y creando asociaciones con interesados directos pertinentes para alentar la financiación de proyectos de energía renovable. Como parte de la iniciativa del Secretario General de las Naciones Unidas para fomentar el uso de energías renovables, la eficiencia energética y el acceso universal a fuentes modernas de energía a más tardar en 2030, se ha declarado el año 2012 como Año de la Energía Sostenible para Todos (Naciones Unidas, 2012).



#### Recuadro 4: Tecnologías de energía renovable para combatir el cambio climático



En los proyectos hidroeléctricos la planificación y gestión han de ser rigurosas para evitar que se produzcan efectos ambientales y sociales no deseados.

Foto: Hydro Pacific

- La **bioenergía** se puede obtener de residuos agrícolas, silvícolas y ganaderos, de cultivos energéticos y de otras corrientes de desechos orgánicos. Las tecnologías son muy diversas y su desarrollo técnico varía considerablemente.
- Las tecnologías de **energía solar directa** aprovechan la energía solar para producir electricidad y calor. La energía solar es variable e intermitente, produce cantidades variables de energía en días diferentes y en distintos momentos del día. Existen tecnologías de energía solar relativamente bien desarrolladas.
- La **energía geotérmica** se produce de la energía térmica del interior de la Tierra. Las centrales de energía geotérmica, que extraen la energía de yacimientos suficientemente permeables en los que las temperaturas son muy altas, cuentan con tecnologías con un nivel de desarrollo adecuado. La energía geotérmica puede utilizarse también directamente para fines de calefacción.
- La **energía hidroeléctrica** se obtiene del aprovechamiento de la energía cinética de las corrientes de agua en diferentes elevaciones. Las tecnologías de energía hidroeléctrica están muy desarrolladas. Con frecuencia los embalses tienen otros usos múltiples además de producir electricidad, por ejemplo, garantizar la disponibilidad de agua potable, para el control de la sequía y las inundaciones, y para el riego.
- La **energía oceánica** aprovecha las energías térmica, cinética y química del agua de mar. La mayoría de las tecnologías para obtener energía oceánica están todavía en fase de investigación y desarrollo o en fase experimental.
- La **energía eólica** se obtiene de la energía cinética que generan las corrientes de aire y utiliza grandes turbinas eólicas en tierra firme y mar adentro. Se siguen desarrollando y aplicando ampliamente tecnologías de tierra firme, y el perfeccionamiento de las tecnologías mar adentro es prometedor. La energía eólica es variable y, en algunos lugares, imprevisible, pero las investigaciones indican que muchos obstáculos de índole técnica se pueden superar.

La generación de energía nuclear no produce emisiones de gases de efecto invernadero como las que genera el quemado de combustibles fósiles, por ello, en el último decenio ha aumentado el interés por este tipo de energía. El accidente en la central nuclear de Fukushima, en marzo de 2011, como consecuencia del fallo en cadena de equipos debido al devastador terremoto de 8,9 grados de magnitud y el tsunami que le siguió, ha incentivado aun más el debate en torno a la función de la energía nuclear en un futuro energético seguro y sostenible. En 2010, el 13,5% de la producción total de energía a nivel mundial se generó en centrales nucleares. Francia es el país con mayor proporción de generación de electricidad a partir de fuentes nucleares, con un 74,1% (NEI, 2011).

Alemania ha anunciado que tiene previsto clausurar todas sus centrales nucleares a más tardar en 2022. La energía nuclear representó el 27,3% del total de la producción de electricidad en 2010 en el país (NEI, 2011). Alemania prevé realizar una mayor inversión en energías renovables. Francia, por el contrario, ha anunciado que invertirá 1.400 millones de dólares de los Estados Unidos en el desarrollo de nuevas centrales nucleares. Ello incluirá inversiones en investigación en materia de seguridad. El capítulo 3 del presente Anuario se dedica al cierre y desmantelamiento de reactores de energía nuclear, un tema emergente a nivel internacional.

La mayoría de las emisiones de gases de efecto invernadero provocadas por el hombre se derivan de combustibles fósiles, que siguen siendo la principal fuente de energía en el mundo. Se siguen ampliando las actividades de prospección petrolera, particularmente en la región del Ártico. Por ejemplo, en 2011 el Gobierno de los Estados Unidos anunció que seguiría adelante con el arrendamiento de terrenos para fines de exploración en las costas de Alaska. El Gobierno, dio a conocer un plan quinquenal según el cual se abriría a la exploración el 75% de los recursos estimados de petróleo y gas en las costas de Alaska y en zonas del Golfo de México (DOT, 2011). La prospección petrolera en el Ártico está aumentando debido en parte a que el deshielo está permitiendo a los buques petroleros ampliar sus rutas hacia zonas que antes eran inaccesibles. Se prevé que la actividad humana siga aumentando en las regiones polares. Los ambientalistas han expresado su preocupación ante esta evolución de la situación, fundamentalmente en relación con posibles derrames de petróleo (**recuadro 5**).

Los adelantos en las tecnologías de perforación horizontal y fractura hidráulica han hecho que desde el punto de vista económico resulte viable extraer grandes volúmenes de gas natural, concretamente gas de esquisto, de formaciones geológicas de baja permeabilidad (un proceso conocido como "fractura hidráulica"). En las operaciones de fractura hidráulica se suelen inyectar productos químicos a altas presiones y a grandes profundidades para provocar fracturas en las formaciones geológicas y facilitar así el escape de los gases (**gráfico 4**). En América del Norte se ha producido el avance más significativo en la explotación de gas de esquisto y otros tipos de gases naturales no convencionales.



## Recuadro 5: Efecto de los derrames de petróleo

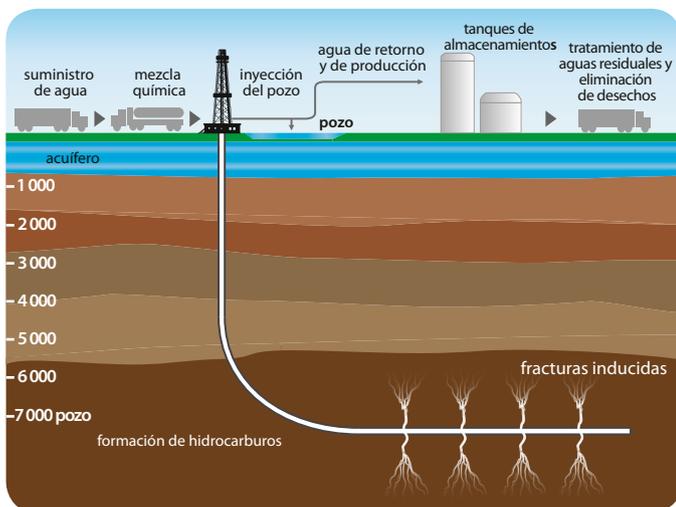


Contaminación por petróleo en la estación de bombeo de Bomu en K-Dere, Ogoniland (Nigeria). *Foto: PNUMA.*

El desarrollo de la extracción de petróleo en el Ártico plantea posibles riesgos. Es mucho más probable que se produzca una explosión de gran envergadura durante la perforación de un primer pozo exploratorio de una estructura geológica que en otra fase. No siempre se prevén medidas de preparación necesarias en caso de derrames en alta mar para hacer frente a riesgos de esta índole (Porta y Bankes, 2011). Es importante fijar normas específicas para evitar los efectos negativos de

los derrames de petróleo. El derrame que tuvo lugar en 2010 en el Golfo de México fue objeto de una atención amplia por parte de los medios de comunicación y provocó la protesta del público. Mucha menos atención se ha prestado a los derrames de petróleo en Nigeria, aunque han sido la causa principal de disturbios sociales durante decenios. En un estudio realizado por invitación del Gobierno de Nigeria se evalúan los efectos en el ambiente y en la salud de la contaminación por petróleo en la región nigeriana de Ogoniland (PNUMA, 2011g). En ese estudio se llegó a la conclusión de que la extendida contaminación por petróleo en Ogoniland está afectando gravemente el medio ambiente y plantea graves riesgos para la salud en algunas comunidades.

En la mayoría de los lugares examinados se observaron niveles muy altos de contaminación por hidrocarburos en el suelo y las aguas subterráneas. Como resultado de los derrames de petróleo y los incendios de los pozos, los residentes de Ogoniland han estado expuestos a una contaminación crónica que hace que los riesgos de contraer cáncer sean mayores. Se han dañado cultivos y el sector de la pesca ha sufrido las consecuencias de la persistente contaminación por petróleo en muchos de los arroyos de la región. Según el estudio realizado, se tardarían entre 25 y 30 años para eliminar la contaminación y catalizar la recuperación sostenible de Ogoniland. Por tanto, recomendó que se adoptasen medidas de emergencia para minimizar los peligros para la salud pública, y medidas coordinadas a largo plazo para lograr la recuperación ambiental.



**Gráfico 4:** En las operaciones de fractura hidráulica típicas se inyectan millones de litros de agua, productos químicos y arena a alta presión en un pozo. La presión de mezcla de fluidos hace que la formación rocosa se agriete permitiendo así el flujo de gases naturales o petróleo hacia el pozo. *Fuente: Adaptación de la EPA de los Estados Unidos (2011).*

A pesar de los ingentes beneficios económicos de la producción y uso del gas de esquisto y de otros tipos de gases no convencionales (por ejemplo, la creación de puestos de trabajo y una mayor independencia energética), la fractura hidráulica suscita polémica debido a las crecientes preocupaciones en relación con sus efectos sobre la salud y el medio ambiente (Osborn et al., 2011; EPA, 2011 y Cathles et al., 2012). Por ejemplo:

- Contaminación del agua potable como resultado de la inyección de productos químicos a grandes profundidades durante el proceso de fractura hidráulica;
- La huella de gases de efecto invernadero (o huella de carbono) de las operaciones de fractura hidráulica, concretamente emisiones fugitivas de metano; y
- Actividad sísmica, que puede ocurrir cuando se inyecta agua u otros líquidos a grandes profundidades durante ese proceso.

La Administración de Información Energética de los Estados Unidos ha publicado evaluaciones de 48 cuencas de gas de esquisto en 32 países, que contienen casi 70 formaciones de gas de esquisto (EIA, 2011). Si bien es muy probable que estas evaluaciones se modifiquen a medida que se obtengan nuevas informaciones, demuestran que los recursos de gas de esquisto pueden ser abundantes. A medida que las operaciones de fractura hidráulica se extiendan a nuevas partes del mundo, será preciso estudiar sus efectos sobre la salud y el medio ambiente en países donde, entre otras diferencias, no hay mucha experiencia en este tipo de operaciones.

## Conservación de la diversidad biológica mundial

El Año Internacional de los Bosques se celebró en 2011 con varios eventos dedicados a la protección de los bosques y al desarrollo sostenible. Los bosques revisten vital importancia para la diversidad biológica y la economía mundial. Los medios de subsistencia de 1.600 millones de personas se obtienen de los bosques (Naciones Unidas, 2011b). La deforestación y la degradación de los bosques son responsables de entre el 15% y el 17% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (ONU-REDD, 2011). En 2010, en los Acuerdos de Cancún logrados en el marco de la CMNUCC se respaldó el mecanismo de reducción de las emisiones debidas a la deforestación y la degradación forestal (REDD+) en los países en desarrollo, como vía para dar valor financiero al carbono almacenado en los bosques. En la reunión de Durban sobre cambio climático se lograron nuevos avances en relación con el mecanismo en su totalidad, se determinaron garantías y opciones para la financiación basada en los resultados respecto de la cual se podrían elaborar métodos basados en el mercado.

No solo la vegetación de la tierra, en particular la de los bosques, absorbe  $\text{CO}_2$ , también secuestran  $\text{CO}_2$  los lechos de zosteras y algas marinas, los manglares, las marismas y otros humedales costeros. Sin embargo, el creciente impacto de las actividades del hombre en las zonas costeras, por ejemplo, los asentamientos y la acuicultura, han destruido alrededor del 65% del lecho de zosteras y algas marinas y los hábitats de los humedales (Lotze *et al.*, 2006). Los arrecifes de coral constituyen uno de los ecosistemas con mayor diversidad biológica del mundo, que aportan distintos beneficios a la sociedad. De ellos la industria farmacéutica internacional extrae recursos para el desarrollo de nuevos productos, además ellos constituyen el hábitat de un 25% de la diversidad biológica de peces del mundo y proporcionan los medios para el desarrollo económico a nivel local. Los científicos advierten que la sobreexplotación pesquera, la contaminación y el cambio climático están amenazando seriamente la vida en los océanos (Rogers y Laffoley, 2011). Por ejemplo, un tercio de los peces del Océano Índico está en peligro de extinción local (Graham, 2011). El efecto combinado de factores tales como las altas temperaturas del mar, la acidificación de los océanos y la falta de oxígeno puede provocar el colapso de los arrecifes de coral y ampliar cada vez más las zonas muertas de los océanos (Rogers y Laffoley, 2011). En agosto de 2011, científicos importantes asociados al proyecto Censo de la Vida Marina, una evaluación de los océanos del mundo desarrollada durante más de 10 años que concluyó en 2010, presentaron sus conclusiones en relación con el impacto de las actividades humanas en los fondos marinos (Ramirez-Llodra *et al.*, 2011) (**recuadro 6**).

Investigaciones recientes indican que solo se ha logrado identificar el 14% de las especies del mundo (Mora *et al.*, 2011). En el océano puede que solo se haya identificado un 9% de todas las especies. Esta falta de conocimientos plantea interrogantes esenciales sobre cómo preservar de manera adecuada la diversidad biológica mundial, especialmente ante el cambio climático. La brecha en los conocimientos científicos

### Recuadro 6: Efectos de las actividades humanas sobre los fondos marinos



Criaturas bioluminiscentes producen luz propia en los fondos marinos.  
Foto: Instituto de Investigación del Acuario Monterey Bay

- Cada año se vierten en el océano unos 6,4 millones de toneladas de basura. El vertido de objetos plásticos en los océanos genera especial preocupación dada su permanencia y la falta de conocimiento sobre los efectos de los microplásticos en el medio oceánico. Se ha expresado la preocupación de que los productos químicos transportados por esas partículas puedan entrar en la cadena alimentaria (PNUMA, 2011h).
- La pesca de arrastre y las prácticas de extracción están provocando daños en los hábitats de especies longevas que se reproducen lentamente y, por ende, no están preparadas para enfrentar presiones cada vez mayores.
- El aspecto que suscita mayor preocupación con respecto al futuro es el cambio climático, ya que la creciente acidez de los océanos afecta la capacidad de corales y crustáceos para producir esqueletos y conchas.

puede hacer que resulte difícil proteger el medio ambiente de los fondos marinos. Además, no existe un marco jurídico global para la protección de los océanos. Esta brecha ha sido identificada como un reto emergente para el siglo XXI a través del Proceso de Previsión del PNUMA (PNUMA, 2012).

Una forma de frenar parte del daño ocasionado a los ecosistemas es crear zonas protegidas. Durante la reunión del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) que tuvo lugar en octubre de 2010, los gobiernos fijaron el objetivo de duplicar la extensión de las zonas marinas protegidas, del 1% al 10%, antes de 2020 (CDB, 2010). Con respecto a las zonas terrestres protegidas, la meta es aumentar su extensión a 17%. Sin embargo, puede que la eficacia en el establecimiento de nuevas zonas protegidas y el ritmo al que se están desarrollando no sean suficientes para revertir las tendencias actuales de la pérdida de diversidad biológica (Mora y Sale, 2011). Hay problemas que guardan relación con la discontinuidad en la cobertura de zonas críticas y con la eficacia de la gestión en casos en que se ejercen fuertes presiones por desarrollar esas zonas.



A pesar de los acuerdos internacionales sobre el comercio de marfil y los avances logrados en algunos países, las prohibiciones nacionales e internacionales del comercio no se están aplicando en la medida que se precisa para proteger las especies. El año 2011 fue el peor año en decenios, en el que se decomisó un gran número de colmillos. Como resultado de las 13 operaciones de decomiso más grandes de este año se incautaron aproximadamente 13 toneladas de marfil, lo que representa unos 2.500 elefantes asesinados (TRAFFIC, 2011). Se informó de que la mayor parte del marfil tenía como destino final Asia.

Entre las modalidades del comercio ilícito cabe mencionar la solicitud fraudulenta de documentos de la CITES, el abuso de la caza de trofeos permitida y el uso de mensajeros para el contrabando de los cuernos. Se espera que el Plan de Acción sobre el Elefante Africano, que se puso en práctica en 2011, refuerce la capacidad para hacer cumplir la ley con vistas a proteger a los elefantes de la caza furtiva y el comercio ilícito de marfil. El Consorcio Internacional para Combatir los Delitos contra la Vida Silvestre comenzó a ejecutar un programa en 2011 en virtud del cual se adoptarán acciones coordinadas contra los perpetradores de graves delitos contra la vida silvestre, a diferencia de lo que ocurre hoy día en que el riesgo de que sean detenidos y castigados es bajo (CITES, 2011b).

La drástica reducción de las poblaciones de animales en los eslabones superiores de la cadena alimenticia, como lobos, leones y tiburones, es uno de los crecientes impactos de la actividad humana sobre el mundo natural (Estes *et al.*, 2011). La pérdida de esos “consumidores superiores”, debida fundamentalmente a la caza y la fragmentación de sus hábitats, provoca una compleja avalancha de cambios en los ecosistemas. Se ha infravalorado el grado en que estas actividades están transformando los ecosistemas porque a los científicos les resulta difícil demostrar los



En Malasia, en 2011, se decomisaron más de 3.000 colmillos de elefantes en un trimestre, lo que representa una significativa mejoría en el cumplimiento de la ley en ese país. Hay una estrecha correlación entre el incremento de la caza furtiva y el de los precios del marfil. Foto: ©TRAFFIC Asia

efectos en toda la cadena alimenticia. No obstante, en la medida en que se precipitan los cambios en el medio ambiente, la necesidad de fortalecer la interacción entre la ciencia y las políticas para garantizar que la adopción de decisiones se base en datos científicos bien fundamentados es cada vez más imperiosa.

El cambio climático, considerado un multiplicador de amenazas para la diversidad biológica, podría provocar migraciones en masa de muchas especies de plantas y animales en los años venideros. Además, esos cambios podrían poner en peligro la supervivencia de las especies y, con ello, afectar significativamente los ciclos de la energía, del carbono, el agua, así como los ciclos biogeoquímicos del planeta. Para el año 2100, el 40% de la superficie total del territorio, por ejemplo, las praderas o la tundra, podría pasar a un estado diferente (Bergengren *et al.*, 2011). Por primera vez los científicos han desarrollado un modelo que permite evaluar la manera en que los animales responden al cambio climático en términos del comportamiento y genética (Coulson *et al.*, 2011). El modelo se desarrolló tomando como base datos longitudinales derivados de estudios sobre los lobos grises del Parque Nacional Yellowstone en los Estados Unidos. Se prevé que este modelo ayude a predecir las respuestas de muchos grupos de animales al cambio climático.

## De cara al futuro

Los científicos advierten de que el medio ambiente se está transformando rápidamente y está pasando de un periodo de estado estable en el que se ha venido desarrollando la civilización en los últimos 12.000 años (el Holoceno) a un estado futuro desconocido con características muy diferentes (al que algunos se refieren como el Antropoceno) (Steffen *et al.*, 2011). Con el crecimiento demográfico, algunas soluciones a corto plazo que se aplicaban en el pasado, como emigrar cuando el entorno estaba muy dañado o había dejado de producir adecuadamente, ya no son factibles. Como se ha demostrado en el Ártico y en los fondos oceánicos, hoy día el impacto de las actividades humanas se hace sentir mucho más allá de nuestro entorno inmediato.

La Tierra es un sistema complejo con componentes estrechamente interrelacionados, algunos de los cuales (como los suelos) están muy infravalorados. Por ejemplo, los beneficios múltiples del carbono del suelo, que se describen en el capítulo 2 de este Anuario, están apenas comenzando a atraer la atención de otros interesados que no sean los edafólogos. La ciencia del sistema terrestre es aún incipiente, pero algunos científicos aseguran que ya la humanidad ha trascendido las fronteras del cambio climático, la pérdida de la diversidad biológica y el exceso de producción de nutrientes, nitrógeno y fósforo de manera notable (Rockstrom *et al.*, 2009). Se han determinado otras esferas en las que es preciso adoptar medidas de contención urgentes, por ejemplo, el agotamiento del ozono estratosférico, la acidificación de los océanos, el consumo mundial de agua potable, los cambios en el uso de la tierra para la agricultura, y la contaminación química y del aire.

Gracias a los nuevos métodos de comunicación y observación cada vez comprendemos mejor la complejidad de las cuestiones ambientales. Muchas de nuestras decisiones afectan a los ecosistemas que conforman el sistema de apoyo a la vida y de los que dependemos. Las hipótesis de futuro nos pueden ayudar a ver más allá y ponderar las consecuencias de nuestras decisiones. Por ejemplo, en un estudio realizado en el Reino Unido se examinaron los patrones de crecimiento urbano (Eigenbrod *et al.*, 2011). En una hipótesis de denso desarrollo habitacional, las zonas urbanas tendrían menos capacidad para hacer frente a las inundaciones, capacidad que se considera importante teniendo en cuenta que se prevé que, como consecuencia del cambio climático, los fenómenos meteorológicos extremos serán cada vez más frecuentes e intensos. En una hipótesis de baja densidad habitacional no se experimentaría ese efecto, pero habría una reducción de la cantidad de tierra disponible para alimentos y almacenamiento de carbono en los suelos, servicios importantes para alimentar a un creciente número de personas y mitigar el cambio climático. Con una planificación inteligente y un proceso de adopción de decisiones debidamente fundamentado y que siga las orientaciones de la ciencia, se pueden aprovechar al máximo los beneficios de ambas hipótesis.

Hay que examinar esas compensaciones desde el punto de vista internacional, así como el costo de la acción frente al costo de la inacción. A nivel mundial, las deliberaciones sobre muchas de esas medidas ocuparán un lugar primordial en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible (Río+20) que se celebrará en junio de 2012. Se centrará la atención en el marco institucional para el desarrollo sostenible y en el desarrollo de una economía verde en el contexto del desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza.

A la luz de los nuevos acontecimientos y logros científicos ocurridos durante el pasado año, las preocupaciones que suscitan el crecimiento demográfico, el uso de los recursos, el cambio climático, la contaminación generalizada y de la pérdida de la diversidad biológica hacen que sea imperioso adoptar medidas desde el nivel local al mundial para enfrentar los retos que plantea el desarrollo sostenible. Una de las defensoras mundiales muy activa sobre el terreno, la Profesora Wangari Maathai, Premio Nobel de la Paz y fundadora del Movimiento Cinturón Verde de Kenya, falleció lamentablemente en septiembre de 2011. Hay que dar continuidad a su labor ambientalista. Los dirigentes locales, la sociedad civil, las empresas y los encargados de formular políticas en todo el mundo tienen una importante función que desempeñar para superar algunos de los mayores desafíos en materia de sostenibilidad ambiental.

Un mercado muy concurrido en Dhaka (Bangladesh). Dado el rápido crecimiento de la población mundial resulta imperioso adoptar medidas para satisfacer la creciente demanda de alimentos y garantizar el desarrollo sostenible. *Foto: IFPRI*



# 2011

## At a glance



Los precios de los alimentos llegan a un máximo histórico en todo el mundo por séptimo mes consecutivo.

Da comienzo el Año Internacional de los Bosques de las Naciones Unidas, con la publicación del informe de la FAO titulado Situación de los bosques del mundo 2011, en el que se destaca que la industria forestal puede cumplir una función importante en una economía más verde.

La Mesa Redonda sobre Biocombustibles Sostenibles pone en marcha un sistema de certificación mundial en el congreso de Mercados Mundiales de Biocombustibles, celebrado en Rotterdam (Países Bajos). Se espera que el sistema promueva la sostenibilidad de la industria mundial de biocombustibles.



La ONU respalda el Día Mundial de las Aves Migratorias cuyo enfoque este año es el uso y la sostenibilidad de la tierra.

El Congreso de la OMM, órgano máximo de la organización, se reúne en Ginebra para analizar la orientación estratégica de la OMM en 2012-2015.

La ONU declara oficialmente la hambruna en dos regiones de Somalia, la primera vez que la Organización declara una hambruna en casi 30 años.

Entra en vigor una nueva prohibición de contaminar con fueloil pesado en la región antártica, mediante unas enmiendas del Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques (Convenio MARPOL).



Fallece en Nairobi, a los 71 años, la Profesora Wangari Maathai, Premio Nobel de la Paz y fundadora del Movimiento del Cinturón Verde de Kenya.

Concluye la Conferencia Internacional de Niños y Jóvenes Tunza del PNUMA con la aprobación de la Declaración de Bandung, en la que se pide a los participantes en la

Conferencia Río+20 que tengan en cuenta las necesidades de los niños y jóvenes.

Los representantes de los 118 miembros del Convenio de Basilea convienen en desbloquear una enmienda que prohíbe la exportación de desechos peligrosos desde países de la OCDE a países que no pertenecen a la OCDE.

El PNUMA anuncia que la Campaña de los Mil Millones de Árboles ha llegado al hito de los 12.000 millones de árboles. La campaña tiene como finalidad mejorar la calidad de vida de las comunidades mediante múltiples beneficios.

El Ministerio de Medio Ambiente y Agua de los Emiratos Árabes Unidos, la Agencia de Medio Ambiente de Abu Dhabi y el PNUMA firman la Declaración de El ojo en la Tierra en Abu Dhabi, en la que se subraya la importancia de difundir datos ambientales y utilizarlos para adoptar decisiones.



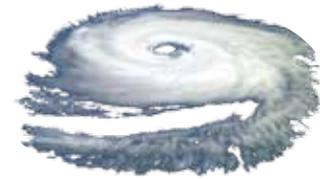
La central nuclear de Fukushima (Japón) sufre una serie de fallas en los equipos tras un grave terremoto seguido de un tsunami.



Los participantes en la quinta Conferencia Internacional sobre Detritos Marinos convienen en el Compromiso de Honolulu, en el que se describen varias propuestas para reducir los detritos marinos y se piden campañas de sensibilización pública.

La tercera reunión de la Plataforma Mundial para la Reducción del Riesgo de Desastres dio lugar a promesas de mejorar la preparación ante desastres.

El Consejo de Seguridad de la ONU celebra una sesión especial para examinar su papel en la lucha contra el cambio climático. El Secretario General advierte sobre las amenazas que representa el cambio climático para la paz y la seguridad internacionales.



Los participantes en la Semana Mundial del Agua dan a conocer la Declaración de Estocolmo, en la que se pide el aumento de la eficiencia en el uso del agua y la disponibilidad de agua para todos.

Se pone en marcha la Alianza mundial sobre los suelos de la FAO, cuyo objetivo es promover políticas favorables que proporcionen conocimientos técnicos para la protección y la gestión del suelo.

La Reunión plenaria encargada de determinar las modalidades y arreglos institucionales para una plataforma intergubernamental científico-normativa sobre diversidad biológica y servicios de los ecosistemas (IPBES), el nuevo foro de la ONU sobre diversidad biológica, celebra su primera reunión en Nairobi (Kenya).

Se celebra en la República de Corea el décimo período de sesiones de la CP en la CLD, en el que se estudian formas de promover iniciativas contra la desertificación, la degradación de la tierra y la sequía.

La población mundial llega a los 7.000 millones, con lo que aumenta la preocupación por el suministro de agua y alimentos en el futuro.

La UICN y la Secretaría del CDB firman un acuerdo sobre especies exóticas invasivas en el marco del cual se procurará detectar esas especies y los recorridos que siguen.

Se aprueba la Plataforma de Durban en el 17º período de sesiones de la CP en la CMNUCC y el séptimo período de sesiones de la CP en calidad de Reunión de las Partes en el Protocolo de Kyoto, celebrados en Durban (Sudáfrica). En la Plataforma se prorroga la vigencia del Protocolo de Kyoto y se establece la estructura del Fondo Verde para el Clima.



Segunda sesión de la Asamblea de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) en Abu Dhabi (Emiratos Árabes Unidos)

Conferencia mundial sobre conexiones entre las zonas terrestres y los océanos/tercera Reunión Intergubernamental de Examen de la Aplicación del Programa de Acción Mundial para la protección del medio marino frente a las actividades realizadas en tierra, Manila (Filipinas)

12º período extraordinario de sesiones del Consejo de Administración del PNUMA/Foro Ambiental Mundial a Nivel Ministerial, Nairobi (Kenya)

Foro de la OCDE sobre competencias verdes, París (Francia)

Sexto Foro Mundial del Agua, Marsella (Francia)

Reunión internacional de expertos del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) sobre la seguridad de los reactores y el combustible gastado a la luz del accidente ocurrido en la central nuclear Fukushima Daiichi, Viena (Austria)

Cumbre mundial de empresas a favor del medio ambiente B4E, Berlín (Alemania)

Conferencia sobre el Año Polar Internacional 2012: "Del conocimiento a la acción", Montreal (Canadá)

26º período de sesiones de la Comisión Forestal para América del Norte, Quebec (Canadá)

Conferencia Mundial sobre los Océanos, el Clima y la Seguridad, Boston (Estados Unidos de América)

Tercer período de sesiones del Comité Preparatorio de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible, Río de Janeiro (Brasil)

Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible (Río+20), Río de Janeiro (Brasil)

30º período de sesiones del Comité de Pesca de la FAO, Roma (Italia)

Conferencia "De la ciencia a las políticas", con motivo del 40º aniversario del Instituto Internacional de Análisis de Sistemas Aplicados, Viena (Austria)

Congreso sobre energía y sostenibilidad de la cuenca del Pacífico, Hiroshima (Japón)

Congreso 2012 de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, Jeju (República de Corea)

Reunión Conjunta FAO/OMS sobre Residuos de Plaguicidas, Roma (Italia)

Tercer simposio internacional sobre "El océano en un mundo con un CO<sub>2</sub> elevado", Monterey (Estados Unidos de América)

11ª reunión de la Conferencia de las Partes en el Convenio de las Naciones Unidas sobre la Diversidad Biológica, Hyderabad (India)

18º período de sesiones de la Conferencia de las Partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y octavo período de sesiones de la CP en calidad de Reunión de las Partes en el Protocolo de Kyoto, Doha (Qatar)

Cuarta Conferencia Internacional sobre Riego y Desagües Sostenibles: "Gestión, tecnologías y políticas", Adelaida (Australia)

January 12-13

Enero

16 a 19 de enero

22 a 27 de enero

January 23-27

Enero

31 de enero a 3 de febrero

February 20-22

Febrero

5 a 6 de febrero

February 27

Febrero

March 12-17

Marzo

March 19-22

Marzo

26 a 27 de marzo

26 a 29 de marzo

April 22-25

Abril

April 22-27

Abril

16 a 21 de abril

8 a 9 de mayo

Mayo

21 a 23 de mayo

Mayo

12 de mayo a 27 de agosto

29 a 31 de marzo

13 a 15 de junio

Junio

20 a 22 de junio

Junio

5 de junio

9 a 13 de julio

Julio

27 a 29 de julio

Julio

6 a 13 de julio

23 a 27 de julio

6 a 9 de agosto

Agosto

6 a 15 de septiembre

Septiembre

6 a 20 de septiembre

Septiembre

24 a 27 de septiembre

Septiembre

17 a 21 de septiembre

17 a 21 de septiembre

24 a 26 de septiembre

8 a 19 de octubre

Octubre

26 de noviembre a 7 de diciembre

Noviembre

11 a 13 de diciembre

Diciembre

Quinta Cumbre Mundial sobre la Energía del Futuro, Abu Dhabi (Emiratos Árabes Unidos)

Conferencia de Arctic Frontiers: "Energías del Polo Norte", Tromsø (Noruega)

Foro de Ministros de Medio Ambiente de América Latina y el Caribe, Quito (Ecuador)

Segunda Cumbre del Agua de Asia y el Pacífico, Bangkok (Tailandia)

Tercera reunión entre períodos de sesiones de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible, Nueva York (Estados Unidos de América)

Conferencia "Planeta bajo presión", Londres (Reino Unido)

Segunda reunión plenaria encargada de determinar las modalidades y arreglos institucionales para una plataforma intergubernamental científico-normativa sobre diversidad biológica y servicios de los ecosistemas, Ciudad de Panamá (Panamá)

Expo 2012, feria mundial sobre el tema "Por costas y océanos vivos", Yeosu (República de Corea)

Segunda Conferencia Internacional sobre Adaptación al Cambio Climático, Tucson (Estados Unidos de América)

Día Mundial del Medio Ambiente: "Economía verde: ¿Te incluye a ti?"

11ª Reunión de la Conferencia de las Partes Contratantes en la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional, Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas, Bucarest (Rumania)

62ª reunión del Comité Permanente de la CITES, Ginebra (Suiza)

Conferencia Internacional sobre Sostenibilidad, Basilea (Suiza)

14º período de sesiones de la Conferencia Ministerial Africana sobre el Medio Ambiente, Dar es Salaam (Tanzania)

Tercer período de sesiones de la Conferencia Internacional sobre Gestión de los Productos Químicos, Nairobi (Kenya)

Conferencia del PNUMA/FMAM "Aguas Internacionales: Ciencia", Bangkok (Tailandia)



# 2012

## Calendario de acontecimientos



## Referencias

- Anyah, R. y Qiu, W. (2011). Characteristic 20<sup>th</sup> and 21<sup>st</sup> century precipitation and temperature patterns and changes over the Greater Horn of Africa. *International Journal of Climatology*. Publicado en la web, 4 de enero. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.2270/abstract>
- ACNUR (Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados) (2010). *Beyond Emergency Relief: Longer-term trends and priorities for UN agencies in Darfur*. [http://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/6AAE62B2DC5EE8D852577AE0071F8E7-Full\\_Report.pdf](http://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/6AAE62B2DC5EE8D852577AE0071F8E7-Full_Report.pdf)
- Bergengren, J.C., Waliser, D.E. y Yung, Y.L. (2011). Ecological sensitivity: a biospheric view of climate change. *Climatic Change*, 107(3-4): 433-457
- Bloomberg (Bloomberg New Energy Finance) (2011). Global Renewable Energy Market Outlook: Executive Summary. <http://www.bnef.com/WhitePapers/download/53>
- Cathles, III, L.M., Brown, L., Taam, M. y Hunter, A. (2012). A commentary on "The greenhouse-gas footprint of natural gas in shale formations" by R.W. Howarth, R. Santoro, and Anthony Ingraffea. *Climatic Change*. Publicado en la web, 3 de enero. <http://www.springerlink.com/content/x001g1t2332462p/>
- CDB (Convenio sobre la Diversidad Biológica) (2010). Una nueva era de vivir en armonía con la naturaleza, nace en la Cumbre de la Diversidad Biológica en Nagoya. Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, Montreal
- CITES (2011b). Consorcio Internacional para Combatir los Delitos contra la Vida Silvestre. <http://www.cites.org/esp/prog/iccwc.php>
- CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres) (2011a). Situación de las poblaciones de elefante, niveles de matanza ilegal y comercio de marfil: informe presentado al Comité Permanente de la CITES. SC61 Doc. 44.2 (Rev.1) Anexo 1. <http://www.cites.org/esp/com/sc/61/S61-44-02-A1.pdf>
- Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas (2011). Security Council, in Statement, says 'Contextual Information on Possible Security Implications of Climate Change Important when Climate Impacts Drive Conflict. División de Noticias y Medios de Información, 20 de julio. <http://www.un.org/News/Press/docs/2011/sc10332.doc.htm>
- Coulson, T., MacNulty, D.R., Stahler, D.R., von Holdt, B., Wayne, R.K. y Smith, D.W. (2011). Modeling Effects of Environmental Change on Wolf Population Dynamics, Trait Evolution, and Life History. *Science*, 334(6060), 1275-1278
- DAES (Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas) (2011). World Population Prospects, the 2010 Revision: Frequently Asked Questions (Updated: 31 October 2011). <http://esa.un.org/wpp/Other-Information/faq.htm#q3>
- Departamento de Asuntos Ambientales de Sudáfrica (2012). <http://www.environment.gov.za/>
- DOI (Departamento del Interior de los Estados Unidos) (2011). Proposed Outer Continental Shelf Oil and Gas Leasing Program 2012-2017. <http://www.boem.gov/>
- uploadedFiles/Proposed\_OCS\_Oil\_Gas\_Lease\_Program\_2012-2017.pdf
- EIA (Administración de Información Energética de los Estados Unidos) (2011). World Shale Gas Resources: An Initial Assessment of 14 Regions Outside the United States. 5 de abril. <http://www.eia.gov/analysis/studies/worldshale-gas/>
- Eigenbrod, F., Bell, V.A., Davies, H.N., Heinemeyer, A., Armsworth, P.R. y Gaston, K.J. (2011). The impact of projected increases in urbanization on ecosystem services. *Proceedings of the Royal Society*, 278(1722), 3201-3208
- EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos) (2011). *Plan to Study the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing on Drinking Water Resources*. [http://water.epa.gov/type/groundwater/uic/class2/hydraulicfracturing/upload/FINAL-STUDY-PLAN-HF\\_Web\\_2.pdf](http://water.epa.gov/type/groundwater/uic/class2/hydraulicfracturing/upload/FINAL-STUDY-PLAN-HF_Web_2.pdf)
- Estes, J.A., Terborgh, J., Brashares, J.S., Power, M.E., Berger, J., Bond, W.J., Carpenter, S.R., Essington, T.E., Holt, R.D., Jackson, J.B.C., Marquis, R.J., Oksanen, L., Oksanen, T., Paine, R.T., Pickett, E.K., Ripple, W.J., Sandin, S.A., Scheffer, M., Schoener, T.W., Shurin, J.B., Sinclair, A.R.E., Soulé, M.E., Virtanen, R. y Wardle, D.A. (2011). Trophic Downgrading of Planet Earth. *Science*, 333(6040), 301-306
- FAO (2011b). *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura: Cómo gestionar los sistemas en peligro*. Resumen. [http://www.fao.org/nr/water/docs/SOLAW\\_EX\\_SUMM\\_WEB\\_ES.pdf](http://www.fao.org/nr/water/docs/SOLAW_EX_SUMM_WEB_ES.pdf)
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) (2011a). *Climate change, water and food security*. <http://www.fao.org/docrep/014/i2096e/i2096e00.pdf>
- FEWS NET (Red de Sistemas de Alerta Temprana contra la Hambruna) (2011). Famine thresholds surpassed in three new areas of southern Somalia. 3 de agosto. [http://www.fews.net/docs/Publications/FSNAU\\_FEWSNET\\_030811press%20release\\_final.pdf](http://www.fews.net/docs/Publications/FSNAU_FEWSNET_030811press%20release_final.pdf)
- Graham, N.A.J., Chabanet, P., Evans, R.D., Jennings, S., Letourneur, Y., MacNeil, M.A., McClanahan, T.R., Öhman, M.C., Polunin, N.V.C. y Wilson, S.K. (2011). Extinction vulnerability of coral reef fishes. *Ecology Letters*, 14(4), 341-348
- IISD (Instituto Internacional de Desarrollo Sostenible) (2011). Green Procurement. [http://www.iisd.org/business/tools/bt\\_green\\_pro.aspx](http://www.iisd.org/business/tools/bt_green_pro.aspx)
- IPCC (2011b). *Informe especial sobre fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático*. Elaborado por el Grupo de Trabajo III del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Seyboth, K., Matschoss, P., Kadner, S., Zwickel, T., Eickemeier, P., Hansen, G., Schlömer, S. y von Stechow, C. (eds). [http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/srren\\_report\\_es.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/srren_report_es.pdf)
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) (2011a). Resumen para responsables de políticas. En Field, C.B., Barros, V., Stocker, T.F., Qin, D., Dokken, D.J., Ebi, K.L., Mastrandrea, M.D., Mach, K.J., Plattner, G.-K., Allen, S.K., Tignor, M. y Midgley, P.M. (eds). *Informe especial del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático sobre la gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático*. [http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srex/IPCC\\_SREX\\_ES\\_web.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srex/IPCC_SREX_ES_web.pdf)
- Lobell, D.B., Schlenker, W. y Costa-Roberts, J. (2011). Climate Trends and Global Crop Production since 1980. *Science*, 333(6042), 616-620
- Lotze, H.K., Lenihan, H.S., Bourque, B.J., Bradbury, R.H., Cooke, R.G., Kay, M.C., Kidwell, S.M., Kirby, M.X., Peterson, C.H. y Jackson, J.B.C. (2006). Depletion, Degradation, and Recovery Potential of Estuaries and Coastal Seas. *Science*, 312(5781), 1806-1809
- Mora, C. y Sale, P.F. (2011). Ongoing global biodiversity loss and the need to move beyond protected areas: a review of the technical and practical shortcomings of protected areas on land and sea. *Marine Ecology Progress Series*, 434, 251-266
- Mora, C., Tittensor, D.P., Adl, S., Simpson, A.G.B. y Worm, B. (2011). How Many Species Are There on Earth and in the Ocean? *PLoS Biology*, 9(8): e1001127. <http://www.plosbiology.org/article/info:doi/10.1371/journal.pbio.1001127>
- Munang, R. y Nkem, J.N. (2011). Using Small-Scale Adaptation Actions to Address the Food Crisis in the Horn of Africa: Going Beyond Food Aid and Cash Transfers. *Sustainability*, 3(9), 1510-1516
- Munich Re (2012). 2011 Natural Catastrophe Year in Review. [http://www.munichreamerica.com/webinars/2012\\_01\\_natcatreview/munichre\\_iii\\_2011natcatreview.pdf](http://www.munichreamerica.com/webinars/2012_01_natcatreview/munichre_iii_2011natcatreview.pdf)
- NASA (2010). Global Transport of Black Carbon, Goddard Space Flight Center Scientific Visualization Studio. <http://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a000000/a003600/a003665/index.html>
- NEI (Instituto de Energía Nuclear) (2011). Nuclear Energy Around the World. [http://www.nei.org/resourcesandstats/nuclear\\_statistics/worldstatistics/](http://www.nei.org/resourcesandstats/nuclear_statistics/worldstatistics/)
- NOAA (2012). Extreme Weather 2011. <http://www.noaa.gov/extreme2011/>
- NOAA (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos) (2011). Billion Dollar U.S. Weather/Climate Disasters. <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/reports/billionz.html>
- NSIDC (Centro Nacional de Datos de Nieve y Hielo de los Estados Unidos) (2011). Arctic sea ice near record lows. <http://nsidc.org/arcticseaicenews/2011/09/arctic-sea-ice-near-record-lows/>
- OMM (2011b). Marco Mundial para los Servicios Climáticos. [http://www.wmo.int/pages/gfcs/index\\_es.html](http://www.wmo.int/pages/gfcs/index_es.html)
- OMM (2011c). *OMM. Boletín sobre los gases de efecto invernadero*, 7. [http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ghg/documents/GHGbulletin\\_7\\_es.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ghg/documents/GHGbulletin_7_es.pdf)
- OMM (Organización Meteorológica Mundial) (2011a). Declaración anual de la Organización Meteorológica Mundial sobre el estado del clima mundial. [http://www.wmo.int/pages/mediacentre/press\\_releases/gcs\\_2011\\_es.html](http://www.wmo.int/pages/mediacentre/press_releases/gcs_2011_es.html)
- ONU (2011b). Forests for People: Fact Sheet. [http://www.un.org/esa/forests/pdf/session\\_documents/unff9/Fact\\_Sheet\\_ForestsandPeople.pdf](http://www.un.org/esa/forests/pdf/session_documents/unff9/Fact_Sheet_ForestsandPeople.pdf)
- ONU (2012). UN urges achieving sustainable energy for all as International Year kicks off. Centro de Noticias de las Naciones Unidas. 16 de enero. <http://www.un.org/apps/news/story.asp?Cr=energy&NewsID=40951>

- ONU (Naciones Unidas) (2011a). *Working towards a Balanced and Inclusive Green Economy: A United Nations System-wide Perspective*. <http://www.unemg.org/Portals/27/Documents/IMG/GreenEconomy/report/GreenEconomy-Full.pdf>
- ONU-REDD (Programa de colaboración de las Naciones Unidas para reducir las emisiones debidas a la deforestación y la degradación forestal en los países en desarrollo) (2011). *La REDD+ y la Economía Verde: Oportunidades de relación de apoyo mutuo*. Sukhdev, P., Prabhu, R., Kumar, P., Bassi, A., Patwa-Shah, W., Enters, T., Labbate, G. y Greenwalt, J. (eds.). Boletín de políticas ONU-REDD nº 1. [http://www.unredd.net/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=6859&Itemid=53](http://www.unredd.net/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=6859&Itemid=53)
- Osborn, S.G., Vengosh, A., Warner, N.R. y Jackson, R.B. (2011). Methane contamination of drinking water accompanying gas-well drilling and hydraulic fracturing. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(20), 8172-8176. <http://www.pnas.org/content/108/20/8172.full>
- Pall, P., Aina, T., Stone, D.A., Stott, P.A., Nozawa, T., Hilberts, A.G.J., Lohann, D. y Allen, M.R. (2011). Anthropogenic greenhouse gas contribution to flood risk in England and Wales in autumn 2000. *Nature*, 470(7334), 382-385
- PNUMA (2011a). Livelihood Security: Climate Change, Migration and Conflict in the Sahel. Elaborado en el marco de una alianza técnica entre el PNUMA, la Organización Internacional para las Migraciones (OIM), la Oficina de Coordinación de Asuntos Humanitarios (OCAH) y la Universidad de las Naciones Unidas. [http://postconflict.unep.ch/publications/UNEP\\_Sahel\\_UN.pdf](http://postconflict.unep.ch/publications/UNEP_Sahel_UN.pdf)
- PNUMA (2011b). Decoupling Natural Resource Use and Environmental Impacts from Economic Growth. Report of the Working Group on Decoupling to the International Resource Panel. Fischer-Kowalski, M., Swilling, M., von Weizsäcker, E.U., Ren, Y., Moriguchi, Y., Crane, W., Krausmann, F., Eisenmenger, N., Giljum, S., Henricke, P., Romero Lankao, P., Siriban Manalang, A. y Sewerin, S. (autores). [http://www.unep.org/resourcepanel/decoupling/files/pdf/decoupling\\_report\\_english.pdf](http://www.unep.org/resourcepanel/decoupling/files/pdf/decoupling_report_english.pdf)
- PNUMA (2011c). Biofuels Vital Graphics: Powering a Green Economy. <http://www.grida.no/publications/vg/biofuels/>
- PNUMA (2011d). Bridging the Emissions Gap. [http://www.unep.org/pdf/UNEP\\_bridging\\_gap.pdf](http://www.unep.org/pdf/UNEP_bridging_gap.pdf)
- PNUMA (2011e). HFCs: A Critical Link in Protecting Climate and the Ozone Layer. [http://www.unep.org/dewa/Portals/67/pdf/HFC\\_report.pdf](http://www.unep.org/dewa/Portals/67/pdf/HFC_report.pdf)
- PNUMA (2011f). Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication. [http://www.unep.org/greeneconomy/Portals/88/documents/ger/ger\\_final\\_dec\\_2011/Green%20EconomyReport\\_Final\\_Dec2011.pdf](http://www.unep.org/greeneconomy/Portals/88/documents/ger/ger_final_dec_2011/Green%20EconomyReport_Final_Dec2011.pdf)
- PNUMA (2011g). Environmental Assessment of Ogoniland. [http://postconflict.unep.ch/publications/OEA/UNEP\\_OEA.pdf](http://postconflict.unep.ch/publications/OEA/UNEP_OEA.pdf)
- PNUMA (2011h). *Anuario PNUMA 2011: Temas emergentes en nuestro medio ambiente global*. [http://www.unep.org/yearbook/2011/pdfs/UNEP\\_YEARBOOK\\_SPANISH\\_final\\_low-res.pdf](http://www.unep.org/yearbook/2011/pdfs/UNEP_YEARBOOK_SPANISH_final_low-res.pdf)
- PNUMA (2012). 21 Issues for the 21<sup>st</sup> Century: Results of the UNEP Foresight Process on Emerging Environmental Issues. Alcamo, J. y Leonard, S.A. (eds.)
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) (2010). The Emissions Gap Report. Are the Copenhagen Accord Pledges Sufficient to Limit Global Warming to 2°C or 1.5°C? A preliminary assessment. [http://www.unep.org/publications/ebooks/emissionsgapreport/pdfs/GAP\\_REPORT\\_SUNDAY\\_SINGLES\\_LOWRES.pdf](http://www.unep.org/publications/ebooks/emissionsgapreport/pdfs/GAP_REPORT_SUNDAY_SINGLES_LOWRES.pdf)
- PNUMA e IWWMI (Instituto Internacional de Gestión de Recursos Hídricos) (2011). *An Ecosystem Services Approach to Water and Food Security*. [http://www.iwmi.cgiar.org/topics/ecosystems/PDF/Synthesis\\_Report-An\\_Ecosystem\\_Services\\_Approach\\_to\\_Water\\_and\\_Food\\_Security\\_2011\\_UNEP-IWMI.pdf](http://www.iwmi.cgiar.org/topics/ecosystems/PDF/Synthesis_Report-An_Ecosystem_Services_Approach_to_Water_and_Food_Security_2011_UNEP-IWMI.pdf)
- PNUMA y OMM (Organización Meteorológica Mundial) (2011). *Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone: Summary for Decision Makers*. [http://www.unep.org/dewa/Portals/67/pdf/Black\\_Carbon.pdf](http://www.unep.org/dewa/Portals/67/pdf/Black_Carbon.pdf)
- PNUMA, AIE (Agencia Internacional de la Energía) y Oeko-Institut (2011). *The Bioenergy and Water Nexus*. [http://www.unep.org/pdf/Water\\_Nexus.pdf](http://www.unep.org/pdf/Water_Nexus.pdf)
- Porta, L. y Banks, N. (2011). Becoming Arctic-Ready: Policy Recommendations for Reforming Canada's Approach to Licensing and Regulating Offshore Oil and Gas in the Arctic. The Pew Environment Group. [http://www.pewenvironment.org/uploadedFiles/PEG/Publications/Report/PewOilGasReport\\_web.pdf](http://www.pewenvironment.org/uploadedFiles/PEG/Publications/Report/PewOilGasReport_web.pdf)
- PROVIA (Programa de Investigación sobre la vulnerabilidad ante el cambio climático, sus efectos y la adaptación a él) (2011). What is Provia? <http://www.provia-climatechange.org/ABOUT/WhatisPROVIA/tabid/55216/Default.aspx>
- Ramírez-Llodra, E., Tyler, P.A., Baker, M.C., Bergstad, O.A., Clark, M.R., Escobar, E., Levin, L.A., Menot, L., Rowden, A.A., Smith, C.R. y van Dover, C.L. (2011). Man and the Last Great Wilderness: Human Impact on the Deep Sea. *PLoS ONE*, 6(8): e22588. <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0022588>
- REN21 (Red de Políticas de Energía Renovable para el siglo XXI) (2011). *Renewables 2011 Global Status Report*. [http://www.ren21.net/Portals/97/documents/GSR/REN21\\_GSR2011.pdf](http://www.ren21.net/Portals/97/documents/GSR/REN21_GSR2011.pdf)
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, III, F.S., Lambin, E.F., Lenton, T.M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H.J., Nykvist, B., de Wit, C.A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sverker Sörlin, S., Snyder, P.K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R.W., Fabry, V.J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P. y Foley, J.A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461(7263), 472-475
- Rogers, A.D. y Laffoley, D.d'A. (2011). *International Earth system expert workshop on ocean stresses and impacts. Summary workshop report*. IPSO (Programa Internacional sobre el Estado del Océano), Oxford (Reino Unido). [http://www.stateoftheocean.org/pdfs/1906\\_IPSO-LONG.pdf](http://www.stateoftheocean.org/pdfs/1906_IPSO-LONG.pdf)
- Shindell, D., Kuylenstierna, J.C.I., Vignati, E., van Dingenen, R., Amann, M., Klimont, Z., Anenberg, S.C., Müller, N., Janssens-Maenhout, G., Raes, F., Schwartz, J., Faluvegi, G., Pozzoli, L., Kupiainen, K., Höglund-Isaksson, L., Emberson, L., Streets, D., Ramanathan, V., Hicks, K., Kim Oanh, N.T., Milly, G., Williams, M., Demkin, V. y Fowler, D. (2012). Simultaneously Mitigating Near-Term Climate Change and Improving Human Health and Food Security. *Science*, 335(6065), 183-189
- Steffen, W., Rockström, J. y Costanza, R. (2011). How Defining Planetary Boundaries Can Transform Our Approach to Growth. *Solutions*, 2(3). <http://www.thejournal.com/node/935>
- Stott, P.A., Allen, M., Christidis, N., Dole, R., Hoerling, M., Huntingford, C., Pall, P., Perlwitz, J. y Stone, D. (2011). Attribution of Weather and Climate-Related Extreme Events, WCRP OSC Climate Research in Service to Society, Denver, Colorado, USA. <http://www.wcrp-climate.org/conference2011/documents/Stott.pdf>
- TRAFFIC (2011). <http://www.traffic.org/home/2011/12/29/2011-annus-horribilis-for-african-elephants-says-traffic.html>
- UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) (2011). Otro paso adelante hacia el Barómetro de la Vida. Comunicado de prensa, 10 de noviembre. <http://www.iucn.org/es/sobre/union/secretaria/oficinas/sudamerica/78548/Otro-paso-adelante-hacia-el-Barometro-de-la-Vida>
- UNISDR (Estrategia Internacional para la Reducción de los Desastres de las Naciones Unidas) (2011). Halfway through 2011, estimated economic losses already USD265 billion – DRR needed more than ever, says UN. <http://www.unisdr.org/archive/20779>
- Ververs, M.-T. (2012). The East African Food Crisis: Did Regional Early Warning Systems Function? *The Journal of Nutrition*, 142(1), 131-133
- Wittemyer, G., Daballen, D. y Douglas-Hamilton, I. (2011). Poaching policy: Rising ivory prices threaten elephants. *Nature*, 476(7360), 282-283
- WWF (Fondo Mundial para la Naturaleza) (2012). Record Rhino Poaching in South Africa. Comunicado de prensa, 12 de enero. <http://www.worldwildlife.org/who/media/press/2012/WWFPresitem26351.html>





# Los beneficios del carbono del suelo

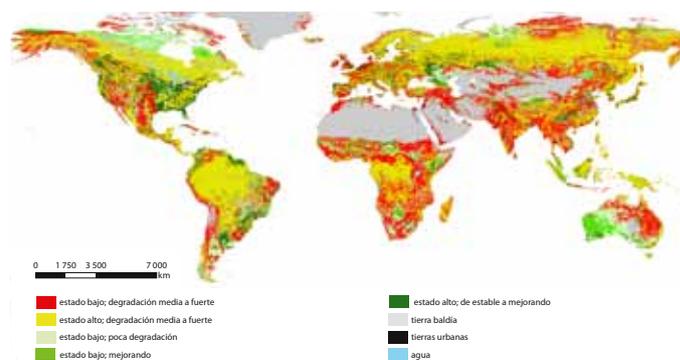
## El manejo de los suelos con miras a obtener múltiples beneficios económicos, sociales y ambientales

En vista del crecimiento de la población mundial, se prevé que en 20 años, la demanda mundial de alimentos aumente en un 50%, la demanda de agua entre el 35% y el 60% y la demanda de energía, en un 45%. Por consiguiente, a los suelos del mundo cada vez se les exige más. El carbono del suelo contribuye decisivamente a regular el clima, las reservas de agua y la diversidad biológica y, por ello, en proporcionar los servicios ecosistémicos que son esenciales para el bienestar humano. El manejo de los suelos con miras a obtener múltiples beneficios económicos, sociales y ambientales exige políticas e incentivos integrados que tengan como objetivo mantener y aumentar el carbono del suelo. Es necesario actuar resueltamente para limitar las pérdidas de carbono del suelo por la erosión y las emisiones a la atmósfera de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero.

Solo en la capa superior de los suelos del mundo, de un metro de profundidad, se almacenan unas 2.200 Gt (mil millones de toneladas) de carbono, dos tercios de ellas en forma de materia orgánica (Batjes, 1996). Esa cifra representa más del triple de la cantidad de carbono que hay en la atmósfera. Sin embargo, los suelos pueden perder carbono por degradación (**gráfico 1**). También liberan gases de efecto invernadero a la atmósfera al acelerarse la descomposición por los cambios en el uso de la tierra o las prácticas no sustentables de uso de las tierras (Lal, 2010a, b).

Ante una intensificación aún mayor del uso de la tierra para satisfacer la demanda mundial de alimentos, agua y energía (Foresight, 2011), manejar los suelos para mantener e incluso aumentar las reservas de carbono es de vital importancia si queremos resolver los problemas a corto plazo y conservar ese valioso recurso para las generaciones futuras. Desde el siglo XIX y debido al uso de la tierra, se ha perdido alrededor del 60% del carbono presente en los suelos y la vegetación del mundo (Houghton, 1995). En los últimos 25 años, una cuarta parte de la superficie terrestre mundial ha visto disminuida su productividad y su capacidad de proporcionar los servicios de los ecosistemas debido a las pérdidas de carbono del suelo (Bai *et al.*, 2008).

La pérdida del suelo por erosión causada por las prácticas agrícolas convencionales puede producirse a velocidades de hasta 100 veces superiores a la velocidad de formación natural del suelo natural (Montgomery, 2007). El drenaje de turberas en todo el mundo lleva a la desaparición de la turba rica en carbono a una velocidad 20 veces superior a su velocidad de acumulación (Joosten, 2009).



**Gráfico 1:** La degradación de la tierra se puede definir como la reducción de la capacidad de la tierra para proporcionar servicios ecosistémicos durante un cierto periodo de tiempo. Las presiones debidas al uso de la tierra pueden provocar su degradación. Las pérdidas de carbono del suelo son una forma importante de degradación que puede tener como resultado la pérdida de productividad y de la capacidad para proporcionar otros servicios ecosistémicos. En este mapa se muestra el estado de la tierra en cuanto a su capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos (alta, baja) y la dirección de los cambios (fuerte degradación, poca degradación, estable, mejorando). Estos resultados globales dan una primera indicación de las presiones y las tendencias a nivel nacional y regional y permiten realizar comparaciones entre diferentes usos de la tierra o entre diferentes regiones geográficas. Fuente: Nachtergaele *et al.*, (2011)

La agricultura practicada en turberas avenadas en la zona central de Kalimantan (Indonesia) está causando enormes pérdidas de carbono del suelo. Foto: Hans Joosten.

**Autores:** Reynaldo Victoria (coordinador), Steven Banwart, Helaina Black, John Ingram, Hans Joosten, Eleanor Milne y Elke Noellemeyer. **Redactora científica:** Yvonne Baskin

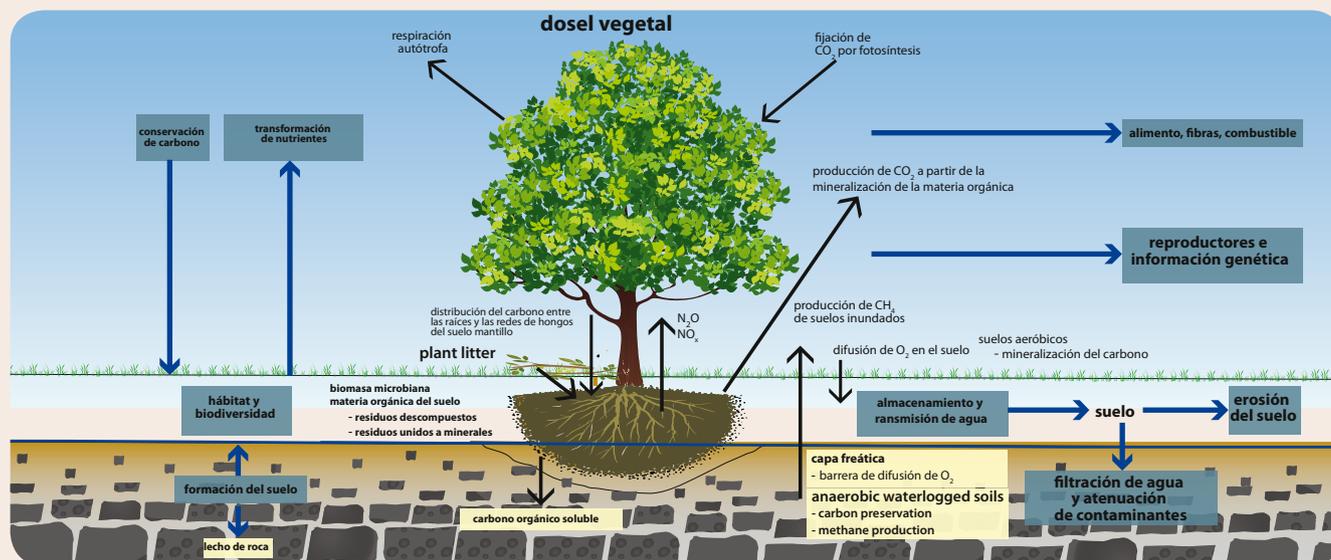
## Recuadro 1: Materia orgánica y carbono en el suelo

Los suelos son el corazón de la «zona crítica» de la Tierra, la fina capa superficial entre la parte superior del dosel vegetal y los acuíferos subterráneos de los que dependen la mayoría de los recursos de los seres humanos (NRC, 2001 y PlanetEarth, 2005). Los suelos se forman y cambian continuamente a través de miles de años, a velocidades diferentes y con diferentes mecanismos, a medida que la materia mineral procedente de la ruptura de las rocas es colonizada por las plantas y la biota del suelo. Esta colonización lleva a la formación de la materia orgánica y de la estructura del suelo, que controla los ciclos del carbono, de los nutrientes y del agua (Brantley, 2010). El carbono del suelo se encuentra tanto en forma orgánica como inorgánica. El carbono inorgánico procede de la roca madre o se forma cuando el CO<sub>2</sub> queda atrapado en forma mineral (por ejemplo como carbonato de calcio). El carbono inorgánico del suelo tiene menor tendencia a la pérdida que el carbono orgánico. Aunque puede disolverse, especialmente en condiciones ácidas, el carbono inorgánico del suelo no es vulnerable a la biodegradación.

El carbono orgánico del suelo es el principal constituyente de la materia orgánica, la cual, se forma a partir de la descomposición biológica, química y física de los materiales orgánicos que entran en el sistema suelo procedente de fuentes en la superficie del suelo (como hojas caídas, residuos de cultivos, desechos de animales y restos) o por debajo de esta (como raíces o la biota del suelo). La composición elemental de la materia orgánica del suelo varía, con valores del orden del 50%

de carbono (Broadbent, 1953), 40% de oxígeno y 3% de nitrógeno, y pequeñas cantidades de fósforo, potasio, calcio, magnesio, y otros elementos como micronutrientes. La biota del suelo (desde microbios hasta lombrices) aporta biomasa viva a la materia orgánica mezclando y degradando la materia orgánica mediante reacciones físicas y bioquímicas. Estas reacciones bioquímicas liberan carbono y nutrientes al suelo, y gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y metano (CH<sub>4</sub>) a la atmósfera (**gráfico 2**).

El manejo del suelo puede afectar al equilibrio relativo de estos procesos y su impacto medioambiental. Cuando la materia orgánica del suelo se degrada, parte del carbono se mineraliza de manera bastante rápida a CO<sub>2</sub> y se escapa del suelo. La materia orgánica también puede perderse mediante erosión física. El nitrógeno orgánico contenido en la materia orgánica del suelo biodegradable se transforma en N<sub>2</sub>O y otros óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>). No obstante, algunas fracciones de materia orgánica no son fáciles de degradar. De este modo, el contenido de carbono orgánico del suelo tiende a aumentar a medida que el suelo se desarrolla en el tiempo sin alteraciones. En suelos saturados de agua, la materia orgánica puede incluso acumularse en forma de gruesas capas de turba (Beer y Blodau, 2007). La materia orgánica se une a los minerales, especialmente a las partículas de arcilla, un proceso que protege ulteriormente el carbono (Von Lützw et al., 2006). La materia orgánica también proporciona fuerza cohesiva al suelo y aumenta su fertilidad, el movimiento del agua y la resistencia a la erosión.



**Gráfico 2:** Interrelaciones del carbono en el sistema suelo-planta y servicios ecosistémicos asociados. Los suelos, formados por la acción de la biota y la infiltración del agua y los solutos en el material de la roca madre, proporcionan servicios ecosistémicos como flujos de material (carbono secuestrado, agua y solutos, nutrientes vegetales, biomasa de cultivo) e información codificada en la genética de los organismos del suelo.

## Almacenamiento del carbono y otros servicios esenciales de los ecosistemas del suelo

Los científicos han descrito miles de tipos de suelos. Cada uno con una composición propia de minerales, organismos vivos, materia orgánica, agua y gases (WRB, 2006 y FAO *et al.*, 2009). Los suelos se forman a lo largo de miles de años a medida que las plantas y la biota del suelo van rompiendo y colonizando la roca, lo que conduce a la formación de la materia orgánica del suelo. Si bien esta es fundamentalmente carbono, contiene también nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, como nitrógeno, fósforo, azufre y micronutrientes (**recuadro 1**). Los organismos de la cadena alimentaria del suelo descomponen la materia orgánica del suelo y hacen que esos nutrientes estén disponibles (Brusaard *et al.*, 2007). La velocidad de la descomposición y renovación de la materia orgánica del suelo depende sobre todo de la interacción entre la biota del suelo, la temperatura, la humedad y la composición química y física de cada suelo (Taylor *et al.*, 2009).

El uso y el valor del suelo se asocian por lo general a la agricultura, pero también tienen una importancia fundamental para la prestación de muchos otros servicios ecosistémicos (**recuadro 2**). La cantidad y la dinámica del carbono del suelo determinan en gran parte la cantidad y la calidad de esos servicios. Los servicios ecosistémicos se dividen generalmente en cuatro categorías:

**Servicios de apoyo:** sirven de base para proporcionar todos los demás servicios y los beneficios que obtienen los seres humanos del medio ambiente natural. La materia orgánica del suelo es una característica decisiva que influye en la capacidad del suelo para contribuir a los servicios de los ecosistemas. Las características inherentes de los suelos (fertilidad, diversidad biológica, capacidad de capturar, retener y transportar agua o carbono o de formar y liberar gases de efecto invernadero, por ejemplo) están determinadas en gran parte por la capacidad de los distintos suelos de formar y fragmentar materia orgánica del suelo.

**Servicios de regulación:** a nivel mundial, el viento y el agua erosionan unos 75.000 millones de toneladas de suelo al año (Wachs y Thibault, 2009). La materia orgánica del suelo favorece la resistencia a la erosión de los suelos y contribuye a regular las inundaciones aumentando la infiltración, reduciendo la escorrentía y ralentizando el paso de las aguas de las zonas de tierras altas a las zonas de tierras bajas. Reduce también las liberaciones de productos agroquímicos, agentes patógenos y contaminantes en el medio ambiente al contribuir a su retención y descomposición (Burauel y Baßmann, 2005). Los suelos desempeñan una función esencial en la regulación del clima ya que el carbono del suelo es la mayor reserva de carbono de la biosfera terrestre (Batjes y Sombroek, 1997).

**Servicios de aprovisionamiento:** los suelos son la base de la producción de alimentos y fibra y son de vital importancia para recargar los



En los suelos degradados se reducen las infiltraciones de agua. Por ello, en ese tipo de suelos se infiltra menos agua de lluvia para recargar el suelo y las aguas subterráneas y se pierde más agua por evaporación y escorrentía. Foto: Elke Noellemeyer

abastecimientos de agua. La materia orgánica del suelo es necesaria para esos dos servicios porque influye en la disponibilidad de nutrientes y agua y la estructura del suelo. También aumenta la capacidad de resistir al cambio climático porque protege a las plantas y el medio ambiente contra el estrés por falta de agua y el exceso de agua. A lo largo de la historia, los suelos de turba ricos en carbono han sido una fuente de combustibles. Hoy proporcionan un medio de cultivo a los jardineros, los horticultores y la industria.

**Servicios culturales:** desde la antigüedad, el modo de utilizar y gestionar los suelos ha afectado profundamente a las culturas humanas. Las características y el contenido en carbono de esos suelos han influido en la naturaleza de los paisajes y los entornos en los que se han desarrollado y han prosperado las diferentes culturas. La materia orgánica del suelo ayuda también a los suelos a conservar huellas de culturas y climas pasados y a preservar los restos arqueológicos.



Las turberas saturadas de agua pueden conservar restos arqueológicos prácticamente para siempre. El cuerpo momificado del Hombre de Tollund, que vivió hace 2.500 años, fue encontrado en 1950 en una turbera en Dinamarca. Foto: Cochyn.

**Recuadro 2:** Los suelos tienen una importancia primordial en la obtención de muchos servicios de ecosistemas interrelacionados.

Fuente: MEA (2005), Black et al., (2008)

#### Servicios de apoyo:

ciclo de nutrientes, liberación/retención de agua, formación de suelo, hábitat para la biodiversidad, intercambio de gases con la atmósfera, degradación de materiales complejos.



Foto: Elke Noellemeyer

#### Servicios de regulación:

secuestro de carbono, emisiones de gases de efecto invernadero, purificación del agua, atenuación natural de contaminantes.



Foto: Márton Bálint

#### Servicios de aprovisionamiento:

producción de alimentos y de fibra, disponibilidad de agua, materiales de construcción.



Foto: Anja Leide

#### Servicios culturales:

protección de restos arqueológicos, actividades de ocio al aire libre, paisajes, establecimiento de hábitats.



Foto: Kevin Bacher, NPS

Gestionar el carbono del suelo de modo que se obtengan múltiples beneficios es esencial para su uso sustentable. Cuando la ordenación del suelo se centra en un único servicio de los ecosistemas, se obtiene solo alguno de los beneficios de esos servicios pero no los demás. Por ejemplo, utilizar turberas avenadas para producir biomasa disminuye enormemente las reservas de carbono del suelo, degrada los hábitats autóctonos y altera la capacidad de las turberas de prestar servicios de regulación del clima. En cambio, se puede gestionar el carbono del suelo de modo que aumenten varios de los servicios de los ecosistemas. Incrementar la materia orgánica de los suelos degradados puede simultáneamente dar un gran impulso a la productividad agrícola, secuestrar CO<sub>2</sub> cuyas emisiones podrían exacerbar en caso contrario el cambio climático y aumentar la captación de aguas.

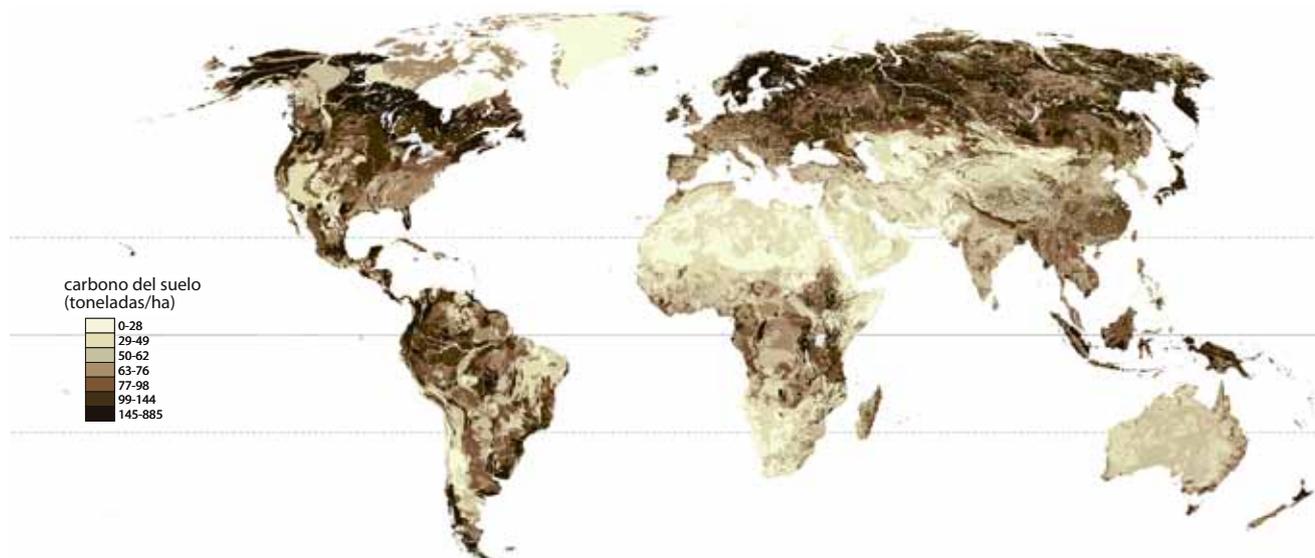
## ¿Qué determina la distribución mundial del carbono del suelo?

La distribución mundial del carbono orgánico del suelo refleja la distribución de las lluvias, y las mayores acumulaciones se producen en las zonas más húmedas (**gráfico 3**). La mayor parte del carbono orgánico del suelo se encuentra en el hemisferio norte, que contiene más masa de tierras en climas húmedos que el hemisferio sur. La temperatura desempeña una función secundaria en la distribución mundial del carbono orgánico del suelo, como pone de manifiesto el hecho de que haya depósitos profundos de turba en zonas húmedas tropicales y polares.

Dentro de cada zona climática, lo que determina la cantidad de carbono orgánico del suelo es la humedad del suelo, que a su vez está influenciada por el relieve, la textura del suelo y el tipo de arcilla. Los suelos que contienen mucha agua tienden a conservar la materia orgánica porque la disponibilidad reducida de oxígeno en los suelos

húmedos ralentiza la descomposición de la materia orgánica operada por los microbios. Los suelos más secos y bien aireados favorecen una descomposición más rápida y acumulan menos materia orgánica. Cuando el oxígeno, los niveles de humedad y el contenido en nutrientes del suelo son suficientes, las temperaturas más elevadas aceleran procesos biológicos como la descomposición y la producción de biomasa y, por consiguiente, la dinámica del carbono orgánico del suelo (Batjes, 2011). Por esa razón, el avenamiento de turberas produce una rápida oxidación de la materia orgánica del suelo almacenada y libera grandes cantidades de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, especialmente en los climas más cálidos. De modo similar, la conversión de bosques o praderas naturales en áreas agrícolas fragmenta los agregados del suelo, produce una mejor aireación y con ello aumenta la descomposición de la materia orgánica del suelo y libera CO<sub>2</sub>, fenómenos que se dan a las velocidades más rápidas en los climas cálidos. Los científicos han demostrado que la introducción de sistemas de labranza cero disminuyen las pérdidas de carbono del suelo y aumentan las posibilidades de su almacenamiento (**recuadro 3**).

El contenido de carbono de los suelos de los distintos tipos de la cubierta terrestre varía mucho (**gráfico 4**). Los suelos de las sabanas contienen relativamente poco carbono orgánico, pero las reservas de carbono de esos suelos son importantes a nivel mundial debido a la enorme superficie terrestre que cubre ese bioma. En cambio, las turberas cubren solo el 3% de la superficie terrestre pero contienen casi un tercio del carbono del suelo del mundo, lo que las convierte en la reserva de carbono espacialmente más efectiva de todos los ecosistemas terrestres. Las turberas avenadas y en degradación, que ocupan 50 millones de hectáreas en todo el mundo (0,3% de la superficie terrestre del planeta) producen anualmente más de 2 Gt de emisiones de CO<sub>2</sub>, lo que equivale al 6% de todas las emisiones antropógenas mundiales de CO<sub>2</sub> (Joosten, 2009).



**Gráfico 3:** Carbono orgánico del suelo hasta una profundidad de 1 metro en toneladas por hectárea. Los datos proceden de la Base de Datos Mundial Armonizada sobre el Suelo, v1.1. Fuente: PNUMA-WCMC (2009)

## Modelamiento, medición y seguimiento

Se siguen elaborando métodos para calcular las reservas y las corrientes de carbono del suelo desde una escala local a una regional y mundial (Bernoux *et al.*, 2010 y Hillier *et al.*, 2011). La falta de metodologías y enfoques adecuados ha sido uno de los obstáculos principales para poder contabilizar los importantes efectos de mitigación que pueden tener los proyectos de gestión de tierras. Esto es importante en el caso de los proyectos cuyo propósito es secuestrar el carbono en la biomasa

o en el suelo, o los proyectos para reducir la pobreza rural o lograr la seguridad alimentaria que incluyen como beneficio colateral el secuestro del carbono. La iniciativa Global Soil Mapping, cuyo objetivo es establecer una cartografía del suelo mundial, proporcionará un conjunto de datos sobre el suelo que serán homogéneos en todo el mundo, continuos geográficamente y escalables e incluirán estimaciones de incertidumbre (Global Soil Mapping, 2011). Esos datos han de ser completados con mediciones realizadas al mismo tiempo sobre el terreno (como las que financian en África la Fundación de Bill y

### Recuadro 3: Efectos de los sistemas de labranza cero en Argentina y Brasil

En Argentina, que actualmente está experimentando una expansión agrícola, la gestión de tierras con base en sistemas de labranza cero ha demostrado ser una alternativa viable al cultivo tradicional que implica trabajar la tierra con arado y rastra varias veces antes de la siembra. Además de los beneficios procedentes de una mejor retención e infiltración del agua y de la prevención de la erosión, se han obtenido incrementos pequeños pero significativos de las reservas de carbono orgánico del suelo allí donde los agricultores cambiaron a sistemas de labranza cero (Alvarez y Steinbach, 2009 y Fernández *et al.*, 2010).

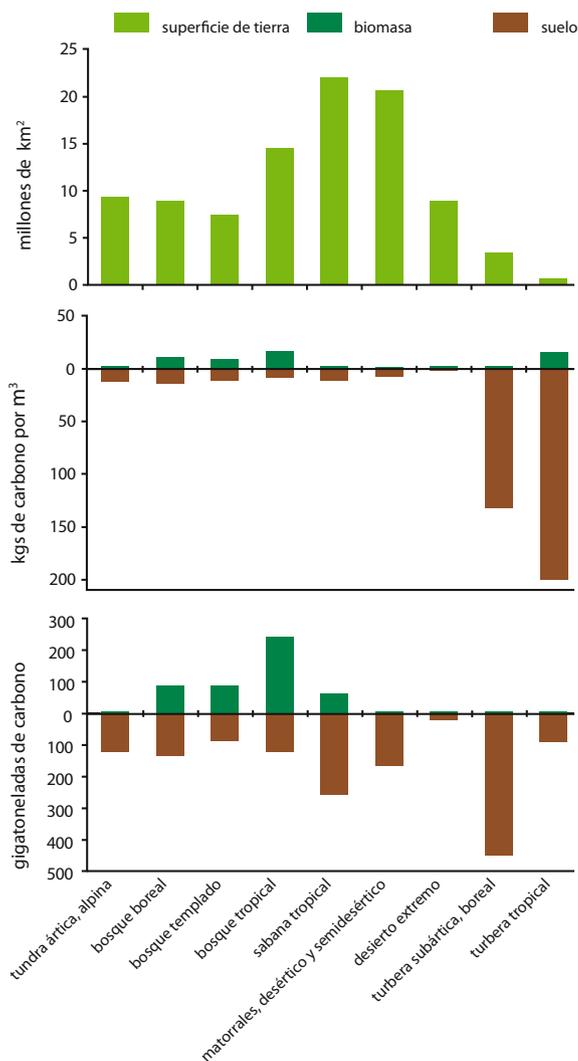
En el Brasil, los cambios en las prácticas de cultivo también tuvieron efectos significativos en las reservas de carbono del suelo. La conversión a prácticas de labranza cero en los sistemas de rotación de soja, maíz y otros cultivos relacionados ha provocado una tasa media de secuestro de carbono orgánico del suelo de 0,41 toneladas por hectárea al año. Los pastizales también tienen potencial de secuestro del carbono del suelo cuando se integran en la agricultura arable (rotaciones), con el beneficio añadido de aumentar la producción agrícola (De Figueiredo y La Scala, 2011 y La Scala *et al.*, 2011).



Campos de soja en la pampa semiárida argentina. Tras 15 años de una gestión de labranza cero (derecha) los niveles de carbono en el suelo a una profundidad de entre 0 y 20 cm fueron de 15,8 toneladas por hectárea, frente a las 13,8 toneladas por hectárea en el cultivo tradicional (izquierda).

Fuente: Fernández *et al.*, (2010), Foto: Elke Noellemeyer





**Gráfico 4:** Superficie de tierra y reservas de carbono en el suelo y en la biomasa en biomas, usos de la tierra y tipos de cubiertas vegetales seleccionados. Las reservas de carbono del suelo se refieren a la capa superior del suelo, hasta un metro de profundidad, excepto en el caso de las turberas. Los tres biomas forestales y la tundra incluyen cierta cantidad de carbono de las turberas en sus reservas totales de carbono del suelo. Fuente: Adaptado de Gorham (1991), ORNL (1998), Verwey y Van de Meer (2010) y Page et al., (2011)

Melinda Gates y el Servicio de Información sobre Suelos Africanos) y con un monitoreo progresivo de los suelos (Africa Soil Information Service, 2011 y Fundación Gates, 2011).

También es fundamental elaborar métodos, tanto para el terreno como de laboratorio, universalmente aceptados y reproducibles, con los que se puedan medir, notificar y verificar las variaciones que se vayan produciendo en el carbono del suelo.

#### Recuadro 4: El Proyecto Beneficios de Carbono (Carbon Benefits)

Las actividades de uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS) pueden proporcionar una forma relativamente económica de compensar las emisiones incrementando la eliminación de gases de efecto invernadero de la atmósfera (por ejemplo plantando árboles o gestionando los bosques) o reduciendo su emisión (por ejemplo ralentizando la deforestación) (CMNUCC, 2012). Sin embargo, a menudo es difícil estimar la emisión y la eliminación de gases de efecto invernadero resultantes de las actividades UTCUTS. El Proyecto que llevan a cabo el PNUMA y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial “Carbon Benefits Project: Modelling, Measurement and Monitoring” ha desarrollado un conjunto de herramientas económicas y científicamente rigurosas para establecer los beneficios en cuanto a carbono derivados de las intervenciones de gestión sostenible del suelo. Estas herramientas están diseñadas para calcular las reservas y los flujos de carbono, así como las emisiones de gases de efecto invernadero según las modalidades actuales y alternativas de gestión y elaborar modelos al respecto, y medir y vigilar los cambios de carbono cuando se aplican usos del suelo específicos (gráfico 6).

Se puede aplicar un grupo de herramientas en línea a proyectos relacionados con la gestión de los servicios del suelo y de los recursos naturales (por ejemplo silvicultura, agrosilvicultura, agricultura y gestión de pastizales) en todas las zonas climáticas. El sistema de modelización permite a los proyectos evaluar las fuentes y los sumideros de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero en cualquier punto del ciclo. El sistema de medición utiliza una combinación de observaciones efectuadas por teledetección, sistemas de calibración de suelos y de información geográfica a través de Internet. También ofrece estimaciones de dinámicas de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O basadas en mediciones de campo directas de los flujos.

Estos métodos podrían permitir la evaluación del carbono encima y debajo del suelo en grandes superficies de terreno para poner en marcha mecanismos políticos cuyo objetivo sea mitigar el cambio climático mediante la reducción de las emisiones debidas a la deforestación y la degradación forestal (REDD) en los países en desarrollo. La eliminación y las emisiones de gases invernadero por la forestación y la reforestación desde 1990 podrían servir para alcanzar el cumplimiento de los objetivos de emisión del Protocolo de Kyoto siguiendo determinadas reglas (CMNUCC, 2012). Las Partes también podrían seleccionar actividades UTS inducidas por el hombre, tales como la gestión de pasturas, tierras cultivables, bosques y la revegetación, para los cuales estas herramientas podrían ser útiles.

La medición del carbono está siendo debatida a varios niveles para encarar adecuadamente los mercados del carbono, por ejemplo en los sectores agrícola y forestal. Disponer de unas mejores estimaciones de la materia orgánica del suelo y las reservas y los flujos de carbono ayudaría mucho a los científicos para hacer un seguimiento y predecir la respuesta de los ecosistemas al cambio climático, a los responsables de la formulación de políticas sobre el uso y la gestión de la tierra, y a los

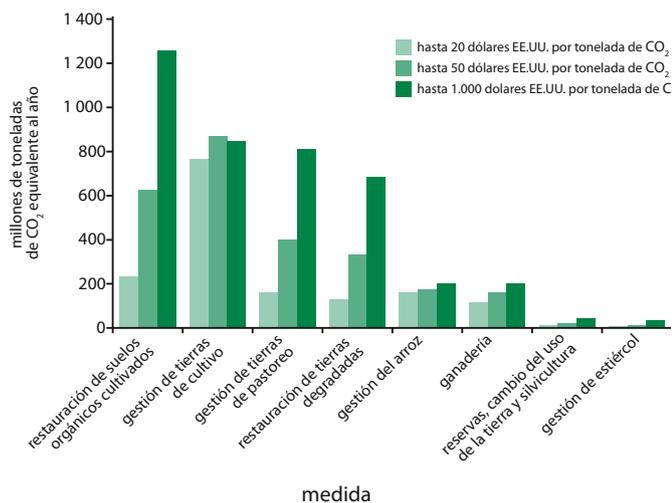


Gráfico 5: Efecto de los precios de mercado en la eficacia de las medidas de gestión para aumentar el carbono del suelo. Fuente: Adaptación de Smith et al., (2007)

encargados de la ordenación de tierras para lograr un mayor acceso a los mercados de carbono (Smith et al., 2007; Ravindranath y Ostwald, 2008; Milne et al., 2010; FAO, 2011 y Schmidt et al., 2011). Cuando existen mecanismos de medición e incentivación adecuados, los precios de mercado pueden influir notablemente en la eficacia de las medidas de gestión para aumentar el carbono del suelo (**gráfico 5**). Un proyecto conjunto del PNUMA y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial, el Carbon Benefits Project, está elaborando un instrumento para calcular los beneficios relacionados con el carbono y medir y hacer un seguimiento de los efectos de las intervenciones de gestión de las tierras (**gráfico 4**).

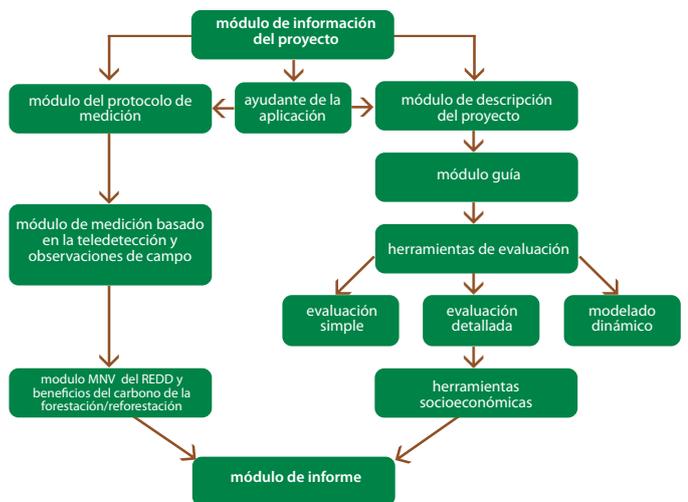


Gráfico 6: Concepto sobre el que se basa la aplicación en línea del Proyecto sobre los Beneficios del Carbono: Modelación, Medición y Monitoreo. Fuente: CBP (2012)

## Vulnerabilidad de las reservas de carbono del suelo a las actividades humanas

Las reservas de carbono del suelo son muy vulnerables a las actividades humanas. Disminuyen notablemente (y con frecuencia, a gran velocidad) en respuesta a los cambios en la cubierta terrestre y el uso de la tierra, como la deforestación, el desarrollo urbano y el aumento de la labranza y también como resultado de las prácticas agrícolas y forestales no sustentables. El carbono orgánico del suelo también se puede aumentar (aunque mucho más lentamente) con la forestación y otras actividades que disminuyen la degradación de la materia orgánica (por ejemplo, la labranza mínima, los pastizales perennes o la designación de zonas protegidas). Las prácticas que añaden más materia orgánica al suelo, como el compostaje o el añadido de estiércol, solo pueden aumentar el balance de carbono de un sitio al tiempo que disminuyen el de otro. Se espera que el cambio climático influya notablemente en la dinámica del carbono del suelo (Schils et al., 2008 y Conant et al., 2011). Incrementar los niveles del CO<sub>2</sub> de la atmósfera podría aumentar la producción de biomasa y el aporte de materiales orgánicos al suelo. Sin embargo, el aumento de la temperatura podría reducir el carbono orgánico del suelo al acelerar la descomposición microbiana y la oxidación de la materia orgánica del suelo, especialmente en el permafrost que se está descongelando. A los expertos les preocupa que si el permafrost se descongela, tal vez se liberen enormes cantidades de carbono en el aire, con lo que se intensificaría en gran medida el calentamiento del planeta (Schoor y Abbot, 2011). Aunque la magnitud de ese efecto sigue siendo muy incierta, las estimaciones recientes del carbono del suelo congelado son muy elevadas. Según algunos científicos, unos 18,8 millones de km<sup>2</sup> de suelos del hemisferio norte contienen aproximadamente 1,7 trillones de toneladas de carbono orgánico (Tarnocai et al., 2009).

Los conocimientos científicos actuales sobre cómo afectan a las variaciones en las reservas de carbono y a los flujos de carbono las



El deshielo del permafrost podría provocar la liberación de enormes cantidades de carbono en el aire. Foto: Hans Joosten

propiedades de los suelos y las condiciones climáticas locales son insuficientes y contradictorios (Tuomi *et al.*, 2008, Conant *et al.*, 2011 y Falloon *et al.*, 2011). Se necesitarán más estudios para poder predecir con mayor exactitud los efectos del cambio climático sobre los suelos, el carbono del suelo y los servicios conexos de los ecosistemas a escalas que sean de utilidad para la gestión local y para los inventarios nacionales del carbono.

La velocidad actual de cambio en el carbono orgánico del suelo se debe en gran medida a la intensificación mundial del uso de la tierra y la conversión de tierras para la producción de alimentos y fibra. La producción agrícola moderna e industrializada se basa en monocultivos comerciales altamente eficientes, que por lo general tienen un balance negativo de carbono. Los usos alternativos que se dan a los desechos agrícolas como forraje o combustible o para aplicaciones industriales exacerban esa tendencia a disminuir el retorno del carbono al suelo. También influye lo que se cultiva. Los monocultivos de soja, que en los últimos tiempos se han extendido ampliamente, aceleran las pérdidas de carbono orgánico del suelo porque sus escasos desechos agrícolas proporcionan menos cubierta para proteger a los suelos de la erosión hídrica y eólica, son muy lábiles y se oxidan rápidamente a CO<sub>2</sub>. Los sistemas ganaderos intensivos que cosechan toda la biomasa vegetal reducen también las reservas de carbono orgánico del suelo, frente a los sistemas tradicionales de pastoreo, que solo eliminan parcialmente la biomasa vegetal. La consecuencia global de esa intensificación es que

las reservas de carbono orgánico del suelo están disminuyendo en grandes superficies, aunque los índices de emisiones de carbono de gran parte de las tierras arables del mundo siguen siendo bajos. Por consiguiente, a nivel mundial se puede considerar que los suelos sometidos a un uso agrícola intensivo constituyen una fuente importante de CO<sub>2</sub> atmosférico y otros gases de efecto invernadero (Janzen, 2006 y Powlson *et al.*, 2011).

El uso intensivo de la tierra también se están extendiendo a zonas en las que las reservas de carbono orgánico del suelo tienen menos capacidad de recuperación o las características del suelo son marginales para la agricultura. Por ejemplo, las praderas y sabanas semiáridas, los bosques tropicales y las turberas están siendo convirtiéndose en tierras cultivables a un ritmo cada vez mayor. Mientras que las praderas húmedas templadas pierden alrededor del 30% de su carbono orgánico del suelo después de 60 años de cultivo (Tiessen y Stewart, 1983), las reservas de carbono del suelo de las regiones semiáridas pueden disminuir en un 30% en menos de cinco años cuando la vegetación o las praderas autóctonas son convertidas en tierras de cultivo (Zach *et al.*, 2006 y Noellemeyer *et al.*, 2008). Las pasturas establecidas en áreas taladas de la selva amazónica emiten entre 8 y 12 toneladas de carbono por hectárea (Fearnside y Barbosa, 1998 y Cerri *et al.*, 2007). El cultivo de los suelos de bosques tropicales produce pérdidas de más del 60% de las reservas originales de carbono orgánico del suelo en unos pocos años (Brown y Lugo, 1990).

#### Recuadro 5: Paludicultura: cultivo sostenible de turberas



Cosecha de biomasa en la turbera de Biebrza, en Polonia.  
Foto: Lars Lachmann, BMBF-VIP-Project

El uso actual de las turberas drenadas es solo el 0,3% de la superficie terrestre es responsable de un desproporcionado 6% de las emisiones globales de CO<sub>2</sub> producidas por los seres humanos (Joosten, 2009). Las turberas drenadas se utilizan cada vez más para producir combustibles de biomasa como el aceite de palma en Asia Sudoriental, la caña de

azúcar en la Florida, el maíz y el *miscanthus* en la Europa templada y la madera en zonas de Escandinavia. Este tipo de cultivo genera muchas más emisiones de CO<sub>2</sub> que las que se evitan al sustituir los combustibles fósiles por los de biomasa (Couwenberg, 2007; Sarkkola, 2008; Wicke *et al.*, 2008 y Couwenberg *et al.*, 2010). La paludicultura (*palus* en latín significa pantano) es el cultivo de biomasa en turberas húmedas y rehumidificadas (Wichtmann *et al.*, 2010). Ofrece una alternativa innovadora a la agricultura y la silvicultura convencionales en turberas. La paludicultura puede contribuir a mitigar el cambio climático de dos formas: reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero mediante la rehumidificación del suelo drenado de las turberas; y sustituyendo los recursos fósiles con alternativas de biomasa renovable. Generalmente, la rehumidificación de las turberas es beneficiosa para la diversidad biológica, ya que las turberas fuertemente degradadas son desiertos ecológicos. La cosecha regular de biomasa cultivada en turberas no drenadas o rehumidificadas mantiene la vegetación baja, reduce los niveles de nutrientes y permite el (re)establecimiento de especies nativas menos competitivas. Un ejemplo de ello es el carricérin cejudo, una especie característica de los pantanos que sobrevive solo en humedales cosechados (Tanneberger *et al.*, 2009). La paludicultura ofrece un futuro sustentable para las turberas gestionadas como terreno productivo. Aunque se necesitan cosechadoras especiales adaptadas a los humedales, los juncos cosechados en invierno en el noreste de Alemania procedentes de la paludicultura pueden competir en todos los aspectos con el *miscanthus* o con la paja de los suelos minerales.



La agricultura en turberas drenadas, como la que aquí se muestra de Kalimantan central (Indonesia), causa enormes pérdidas de carbono. Foto: Hans Joosten.

Las turberas tropicales convertidas en tierras de cultivo o plantaciones son otra zona peligrosa de emisiones de carbono (**recuadro 5**). El drenaje de las turberas para introducir sistemas comerciales de producción en regiones tropicales está produciendo pérdidas de hasta 25 toneladas de carbono por hectárea al año (Jauhiainen *et al.*, 2011), mientras que en las turberas boreales las emisiones de las tierras de cultivo son de unas 7 toneladas por hectárea al año (Couwenberg, 2011).

## Consecuencias de la pérdida de carbono del suelo y posibilidades de aumentarlo

Las pérdidas de carbono del suelo no solo hacen que aumenten las concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub> al acelerarse la oxidación del carbono del suelo, sino que también disminuyen el funcionamiento del suelo y su diversidad biológica. Una menor cantidad de materia orgánica en el suelo lleva a que disminuya la cohesión entre las partículas, lo que aumenta la vulnerabilidad del suelo a la erosión hídrica y eólica, acelera la pérdida de suelo y altera los ciclos de los nutrientes y el agua. La degradación de la estructura del suelo reduce el volumen para el almacenamiento de agua y su permeabilidad para el drenaje. A su vez, ello puede hacer que aumenten los volúmenes de escorrentía superficial, lo que exacerba las inundaciones y reduce la recarga de las aguas subterráneas durante las lluvias. La reducción de la recarga de las aguas subterráneas agrava la escasez de agua y las sequías. Otra consecuencia de la pérdida de carbono del suelo es la pérdida de nutrientes, entre ellos elementos que forman parte de la materia orgánica del suelo y nutrientes inorgánicos como el fósforo y el potasio que se adhieren a las superficies minerales. Debido a la función que desempeña la materia orgánica del suelo en la formación de agregados, su pérdida puede reducir la cohesión del suelo y permitir que se fragmenten esos agregados (Malamoud *et al.*, 2009). Esto aumenta las posibilidades de que se pierdan arcillas y otros minerales adheridos, ya sea por la erosión de las partículas o por transporte de coloides cuando el agua se filtra a través del perfil del suelo.

En vista de los muchos beneficios del carbono del suelo, debería ser prioritario mantener los niveles del carbono orgánico del suelo y, cuando fuera posible, aumentarlos. Los niveles de carbono del suelo se pueden incrementar de dos modos: en primer lugar, aplicando estrategias de manejo (entre ellas, la “reserva” de tierras cuando sea social y económicamente viable) y tecnologías que reducen las pérdidas del carbono propio del suelo (lo que es de especial importancia en el caso de los suelos de tierras áridas y en praderas o sabanas naturales); y en segundo lugar, aplicando técnicas de manejo sustentable que aumenten los niveles de carbono en los suelos, sobre todo en los suelos agrícolas degradados (**recuadro 6**).

Se pueden reducir las pérdidas de carbono orgánico del suelo minimizando su oxidación en el perfil del suelo y disminuyendo la remoción de suelo (por ejemplo, la remoción de turba para combustible o uso agrícola o la remoción de suelo para la construcción). En el caso de los suelos minerales, que son típicos de las principales regiones agrícolas, se pueden minimizar las pérdidas del carbono reduciendo la labranza. Además, el carbono de la superficie del suelo se puede proteger mediante prácticas que controlen la erosión, como franjas de protección, cultivo en curvas de nivel y cultivos de cobertura. En los suelos de turba se puede conservar la densidad de carbono naturalmente alta manteniendo condiciones saturadas de humedad, en lugar de drenar las turberas para implantar cultivos forestales o plantaciones de aceite de palma. En suelos de turba ya degradados se puede reducir la oxidación y contribuir a mantener y restablecer los niveles de carbono aumentando los niveles de agua bloqueando el drenaje (Tanneberger y Wichtmann, 2011). Sin embargo, hay que tener cuidado de no inundar materia orgánica lábil, como los desechos agrícolas recientes, ya que la sobresaturación puede causar una descomposición anaeróbica que puede producir grandes cantidades de metano (CH<sub>4</sub>), un potente gas de efecto invernadero (Couwenberg *et al.*, 2011).

Por otra parte, se pueden aumentar los niveles de carbono orgánico del suelo incrementando el aporte de carbono a los suelos. En el caso de los suelos manejados, esto se puede lograr aumentando el aporte y la retención de biomasa superficial. Las plantas también reparten un porcentaje importante de carbono en la biomasa subterránea a través de sus raíces, lo que contribuye a la biota de suelo en la zona de enraizamiento y a su vez facilita la absorción de nutrientes por parte de las plantas, con lo que se mejora la productividad de los cultivos y se aumentan aún más los flujos de carbono hacia el suelo. En resumen, la gestión sustentable de las tierras para aumentar los niveles de carbono orgánico del suelo se basa en una productividad óptima de las plantas (selección de cultivos, manejo apropiado de los nutrientes del suelo, riego), en pérdidas mínimas de materia orgánica en el suelo (reducción de la labranza, control de la erosión, cultivos de cobertura) y en retornos elevados de carbono al suelo (por ejemplo, dejando desechos agrícolas después de la cosecha o importando materia orgánica como el estiércol de animales, biocarbón o carbón obtenido por pirólisis de biomasa y desechos domésticos o industriales, después de sopesar los posibles riesgos que entraña utilizar esos materiales).



## Recuadro 6: Estrategias para el mantenimiento y el aumento de las reservas de carbono en tres importantes sistemas de uso de la tierra

Las reservas de carbono se pueden incrementar asegurándose que los aportes de carbono al suelo sean mayores que las pérdidas procedentes de este. Para alcanzar este objetivo se requieren diferentes estrategias, las cuales dependerán del uso de la tierra, de las propiedades del suelo, el clima y de la superficie del terreno.

### Praderas

El aumento del carbono del suelo en las praderas ofrece un potencial de reducción de los gases de efecto invernadero globales de 810 Mt de CO<sub>2</sub> (hasta 2030), de los cuales prácticamente la totalidad estaría secuestrado en el suelo (Conant *et al.*, 2001 y Ravindranath y Ostwald, 2008). La sobrepoblación de animales en pastoreo puede provocar la degradación de las praderas, el aumento de la erosión del suelo, el agotamiento del carbono orgánico del suelo y el incremento de la emisión de gases de efecto invernadero. Por lo tanto, debe evitarse. Entre las actividades que pueden aumentar la cantidad de carbono del suelo en las praderas se encuentra:

- La adición de estiércol y fertilizantes puede tener un impacto directo en los niveles de carbono orgánico del suelo a través de la materia orgánica añadida, e impactos indirectos a través del aumento de la productividad vegetal y la estimulación de la diversidad biológica del suelo (por ejemplo con lombrices de tierra que ayudan a degradar y mezclar la materia orgánica). No obstante, el uso de fertilizantes puede provocar emisiones de N<sub>2</sub>O.
- La revegetación, especialmente la que se hace utilizando pasturas mejoradas y legumbres, puede aumentar la productividad, lo que genera más mantillo y biomasa subterránea, las que a su vez pueden aumentar las reservas de carbono orgánico del suelo.
- El riego y el manejo del agua pueden mejorar la productividad vegetal y la producción de materia orgánica del suelo. No obstante, se debe tener en cuenta la relación existente entre estos beneficios y cualquier emisión de gases de efecto invernadero asociada a la energía utilizada para el riego, el lixiviado de nutrientes que afecta a la calidad del agua, y los riesgos del impacto adverso en la fertilidad del suelo debido a migración y acumulación de sales solubles.

### Tierras de cultivo

Entre las técnicas para aumentar el carbono orgánico del suelo en el sector agrícola se incluyen las siguientes (Altieri, 1995):

- El acolchado del suelo puede añadir materia orgánica. Si se utilizan residuos de cultivos, el acolchado también previene las pérdidas de carbono del sistema. Sin embargo, en suelos inundados, el acolchado puede incrementar las emisiones de CH<sub>4</sub>.
- Sistemas de labranza mínima o labranza cero evitan la descomposición acelerada de materia orgánica y el agotamiento

del carbono del suelo derivado de la labranza intensiva. La labranza mínima también evita la ruptura de los agregados del suelo que protegen el carbono.

- Un uso racional del estiércol o de los fertilizantes químicos puede aumentar la productividad vegetal y, en consecuencia, el carbono orgánico del suelo, pero la adición de nutrientes en exceso también puede aumentar las pérdidas de carbono orgánico del suelo en forma de emisión de gases de efecto invernadero. Cualquier agregado de fertilizantes debe tener en cuenta también la relación entre los costes de producción y transporte en forma de gases de efecto invernadero y el mayor rendimiento de los cultivos, ya que dicha relación puede contrarrestar la demanda de producción en tierras marginales, y el transporte desde el lugar de producción al mercado.
- La rotación entre cultivos comerciales y pastos perennes, y el uso de cultivos de cobertura y abonos verdes en algunos climas y sistemas de cultivo, tienen la posibilidad de aumentar la biomasa que vuelve al suelo y, por lo tanto, pueden aumentar las reservas de carbono del suelo.
- El uso de variedades mejoradas de cultivos puede incrementar la productividad aérea y subterránea del suelo, así como los residuos vegetales y, por tanto, el carbono orgánico del suelo.
- El manejo específico de la agricultura por sitios puede reducir el riesgo de malas cosechas y aumentar así la productividad total de una zona, con el consiguiente aumento de las reservas de carbono.
- La integración simultánea de distintos cultivos en un campo puede aumentar la cantidad de material orgánico, la biodiversidad y la salud del suelo, así como la producción de alimento, lo cual es especialmente importante en el caso de la agricultura de subsistencia.

### Tierras forestales y plantaciones forestales

Los bosques tienen un potencial considerable para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera almacenando grandes reservas de carbono tanto en la superficie del suelo como debajo de este. Las estrategias para desarrollar este potencial incluyen:

- La protección de los bosques existentes preservará las reservas actuales de carbono en el suelo.
- La reforestación de las zonas degradadas y el aumento de la densidad arbórea aumentan la densidad de biomasa, y en consecuencia la densidad de carbono, en la superficie y debajo de ella.
- Los árboles en las tierras de cultivo (agrosilvicultura) y huertos pueden almacenar carbono en la superficie y debajo de ella e incluso reducir las emisiones de combustibles fósiles si los mismos se cultivan como fuente renovable de leña.



Campo de mijo y depósitos de almacenamiento de mijo en el Níger. Foto: Curt Reynolds



La restauración de la hidrología y de las comunidades vegetales en los campos agrícolas puede conllevar un secuestro neto de carbono, Carolina del Norte (EE.UU.)  
Foto: J.L. Heitman

En cualquier caso, el éxito de las estrategias para aumentar las reservas de carbono del suelo dependerá de la capacidad intrínseca de cada suelo (composición mineral, contenido en arcilla), las condiciones locales de formación del suelo (clima, pendiente) y el tipo del uso y el manejo de la tierra. Para que las variaciones netas en el carbono orgánico del suelo sean reales, hay que prestar mayor atención al cálculo de ese carbono y de las emisiones de gases de efecto invernadero. También se necesitan investigaciones que determinen la capacidad intrínseca de cada suelo de retener el carbono orgánico, a fin de orientar mejor las inversiones en prácticas de manejo; es decir, comparar las reservas y los flujos actuales de carbono orgánico del suelo con los que se podrían dar con un manejo alternativo.

## El camino a seguir: gestionar el carbono del suelo para obtener beneficios múltiples

El mundo está experimentando cambios rápidos y sin precedentes en el uso de la tierra, impulsados por una demanda creciente de alimentos, agua, energía y espacio para vivir (Verburg *et al.*, 2011). Históricamente, la demanda de alimentos y fibra se ha satisfecho convirtiendo hábitats naturales y seminaturales en tierras de cultivo para cultivar los suelos fértiles con importantes reservas de carbono. A medida que esa demanda vaya aumentando en el futuro, habrá que incrementar la intensidad de los cultivos ya que cada vez habrá menos tierras disponibles para convertirlas a la agricultura (Bruinsma, 2003). Esta conversión de tierras tiene repercusiones muy importantes para las reservas de carbono del suelo (Smith *et al.*, 2010).

Si continúan las tendencias actuales, en los próximos años se producirán pérdidas rápidas de carbono del suelo a la atmósfera, con lo que no solo se exacerbará el cambio climático, sino que además aumentará la superficie de suelos degradados en todo el mundo y disminuirán muchos de los servicios esenciales de los ecosistemas. Las consecuencias de que se siga perdiendo carbono del suelo tal vez no se evidencien hasta dentro de varios decenios, pero para entonces podría resultar difícil o demasiado caro remediarlas.

Las reservas de carbono del suelo desaparecen rápidamente como consecuencia de cambios en el uso de la tierra y el manejo no sustentable, mientras que reponerlas es un proceso lento que exige una inversión importante. Se pueden adoptar hoy medidas pro-activas para evitar que se pierda carbono orgánico del suelo protegiendo las reservas existentes y promoviendo prácticas sustentables que las aumenten. La apreciación detallada de los costos y beneficios sociales, económicos y ambientales puede contribuir a una conciencia generalizada de las consecuencias de los cambios en el uso y la gestión de la tierra, desde el nivel local al global, que mantendrán, aumentarán o degradarán el carbono orgánico del suelo.

Hay posibilidades de aumentar el carbono del suelo y evitar sus pérdidas a nivel mundial, regional y local. El desafío consiste en elaborar y aplicar procesos, políticas e incentivos para la planificación que encuentren un equilibrio entre las distintas presiones ejercidas sobre el suelo por exigencias opuestas (y en ocasiones, contradictorias): cultivos de alimentos, fibra y combustible, regulación del clima, agua, conservación de la biodiversidad, espacio para vivir y otros beneficios. En algunos lugares será necesario mecanismos para proteger los suelos que almacenan importantes cantidades de carbono (por ejemplo, las turberas y la tundra) como alternativa a otros usos como la expansión agrícola o forestal. Sin embargo, en muchos casos se pueden obtener múltiples beneficios económicos, sociales y ambientales de la misma tierra mediante una gestión efectiva del carbono del suelo.

En todo el mundo hay ejemplos de cómo obtener esos múltiples beneficios mediante una gestión efectiva del carbono del suelo (PNUMA- WCMC, 2008; Marks *et al.*, 2009; Kapos *et al.*, 2010; Reed *et al.*, 2010 y Watson, 2010). Por ejemplo, el Fondo del Biocarbono del Banco Mundial proporciona 350.000 dólares estadounidenses al Proyecto del Carbono Agrícola de Kenya para que se pague a pequeños agricultores a fin de que mejoren sus prácticas agrícolas y aumenten la seguridad alimentaria y el secuestro del carbono del suelo (Banco Mundial, 2010). Paralelamente, la iniciativa de la Gran Muralla Verde es un proyecto de forestación masiva para crear una franja de 15 km de ancho de árboles y otra vegetación a lo largo de una zona de 7.000 km del continente africano desde Senegal hasta Djibouti (Bellefontaine *et al.*, 2011). Entre los objetivos de este proyecto están el secuestro de carbono, la estabilización de los suelos, la conservación de la humedad de los suelos y el apoyo a la agricultura. En China se está llevando a cabo un seguimiento de enfoques similares para evaluar si con ellos se puede revertir de un modo sustentable el proceso de degradación de las tierras en regiones áridas (Bai y Dent, 2009).

Existen tecnologías y opciones de manejo que ya han demostrado su eficacia para conservar y aumentar el carbono orgánico del suelo, pero su aplicación generalizada dependerá de las políticas e incentivos que propicien su utilización. En la actualidad, el valor del carbono del suelo (y de los suelos en general) raras veces se tiene en cuenta a través de todos los sectores. Los beneficios que se atribuyen al carbono del suelo con frecuencia reflejan solo las demandas primarias de



La integración de las políticas sobre el suelo puede lograr múltiples beneficios económicos, sociales y ambientales. Foto: Clean Seed Capital.

cada uso de la tierra, como ser la producción de alimentos. En algunas partes del mundo ya existen estrategias y políticas de gestión de las tierras con las que se trata de encontrar un equilibrio entre las exigencias de la producción y otros objetivos sociales como aumentar la diversidad biológica o mejorar la calidad del agua. Sin embargo, ninguna política ha sido diseñada específicamente para optimizar el manejo del suelo a fin de obtener múltiples beneficios del carbono y servicios conexos de los ecosistemas. Por ejemplo, los aportes de materia orgánica a los suelos agrícolas generalmente tienen por objetivo aumentar la fertilidad del suelo, aunque esa práctica también sirva para reducir la erosión, lograr el secuestro de carbono y hacer que los sistemas agrícolas tengan mayor capacidad de recuperación.

Existe una oportunidad clara de utilizar los mecanismos existentes, por sí solos y en combinación, para fomentar una gestión activa del carbono del suelo y ampliar así los posibles beneficios. Donde no existan estrategias para aplicar esos mecanismos, hay una oportunidad de diseñar nuevas estrategias que tomen en cuenta los múltiples beneficios de la gestión del carbono del suelo. Existen diversas opciones normativas y medidas de carácter mundial que se podrían intensificar para que el aumento del carbono orgánico del suelo produzca beneficios más amplios (**recuadro 7**).

A la larga, esos acuerdos y políticas globales podrían vincularse de modo que promuevan la obtención de múltiples beneficios a partir del carbono del suelo. En septiembre de 2011, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en Inglés) comenzó a planificar junto con otros organismos de las Naciones Unidas, entre ellos el PNUMA, el establecimiento de una alianza mundial en pro del suelo; el objetivo es apoyar y facilitar las labores conjuntas para lograr el manejo sustentable de los recursos del suelo para la seguridad alimentaria y la adaptación al cambio climático y su mitigación (FAO, 2012). Las actuales reglamentaciones e incentivos locales y nacionales que se ocupan de los usos de la tierra y la

#### Recuadro 7: Opciones de política a nivel global para obtener beneficios del carbono de suelo

- Los esfuerzos internacionales ante el cambio climático para reducir la intensidad del calentamiento global (por ejemplo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático) podrían reducir de manera indirecta las pérdidas de carbono del suelo, deteniendo la aceleración de las pérdidas de carbono orgánico en suelos altamente orgánicos de la tundra y otras zonas, impidiendo así la expansión del uso intensivo de la tierra en zonas en las que las condiciones climáticas actuales limitan el cultivo, como son las regiones montañosas, y promoviendo el aumento del carbono orgánico en suelos agrícolas.
- Las acciones para enfrentar la degradación del suelo (por ejemplo bajo la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación) podrían reducir las pérdidas de carbono fomentando medidas de conservación para evitar la erosión y aumentar las reservas de carbono en las zonas afectadas, así como promoviendo prácticas que incrementen la materia orgánica del suelo para recuperar los suelos degradados.
- Las políticas comerciales (por ejemplo a través de la Organización Internacional del Comercio) podrían promover beneficios de mercado asociados al incremento del carbono en el suelo (por ejemplo mediante la aplicación de mejores precios a productos derivados de sistemas de producción sustentables, con una huella de carbono baja, convenientemente identificados con una etiqueta), o contrarrestar las pérdidas del carbono del suelo causadas por la expansión de determinados tipos de cultivos o usos de la tierra en zonas vulnerables (por ejemplo mediante el control de la comercialización de productos procedentes de turberas drenadas o de la conversión de la selva tropical).
- Los acuerdos globales podrían incluir carbono negociable u otros créditos (por ejemplo agua verde) relacionados con los suelos, como mecanismos para gestionar los recursos del suelo y obtener así beneficios ambientales, sociales y económicos tanto *in situ* como a distancia (Tanneberger y Wichtmann, 2011). La adopción generalizada de estrategias de gestión del carbono orgánico del suelo se verá influenciada por la estabilidad y el nivel del precios de mercado para el carbono orgánico del suelo, así como por el acceso a mecanismos financieros e incentivos, y por cuestiones locales como la tenencia de la tierra. Los créditos de carbono solo serán eficaces si se puede realizar un seguimiento adecuado y una evaluación del secuestro del carbono orgánico del suelo, y si los impactos sociales y ambientales a largo plazo son considerados conjuntamente con los beneficios económicos a corto plazo.
- Las políticas de conservación cuyo propósito es detener la pérdida de diversidad biológica y proteger los ecosistemas también pueden proteger las reservas de carbono del suelo (por ejemplo al rehumidificar las turberas o al restaurar la vegetación sobre el suelo) (Bain *et al.*, 2011). El Convenio sobre la Diversidad Biológica y la Convención de Ramsar sobre los Humedales se centran en la protección y la conservación de zonas designadas. Dentro de la Convención para el Patrimonio Mundial existe un mecanismo internacional para proteger el patrimonio del suelo mundial. Su puesta en funcionamiento debería servir para mejorar la protección y la gestión de los recursos del suelo, incluido el carbono.

recuperación de los suelos degradados se pueden utilizar también para tratar de mejorar la gestión del carbono del suelo y obtener beneficios múltiples. Algunos de esos mecanismos podrían ser los siguientes:

- Planificación del uso de la tierra que excluya a los suelos vulnerables de los usos que causen pérdidas del carbono orgánico del suelo.
- Promoción de un manejo que proteja y aumente la materia orgánica del suelo como un elemento esencial de la buena calidad del suelo y del ambiente.
- Reglamentaciones y directrices sobre la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, las liberaciones de carbono, nitrato y otros contaminantes del suelo a las aguas superficiales y subterráneas, y el drenaje de los suelos con alto contenido de carbono.
- Promoción de las fuentes de nutrientes vegetales que aumentan las reservas de carbono orgánico del suelo (por ejemplo, cultivos de cobertura, leguminosas, "efectores biológicos" que promuevan el crecimiento de las plantas).
- Incentivos financieros tales como pagos por almacenamiento del carbono, control de inundaciones, mejoramiento de la calidad del agua conservación de la diversidad biológica del suelo y otros servicios ecosistémicos.

- Sistemas de asesoramiento técnico para la agricultura y la silvicultura (servicios de extensión), que consideren todos los servicios ecosistémicos proporcionados por los suelos.

El carbono del suelo se pierde fácilmente pero es difícil de recuperar. Dado que es esencial para la productividad agrícola, la estabilización del clima y otros servicios fundamentales de los ecosistemas, la creación de incentivos normativos que giren en torno al manejo sustentable del carbono del suelo podría proporcionar numerosos beneficios a corto y largo plazo. Estos incentivos deberían procurar una mejor distribución de los recursos del suelo a los diferentes usos de la tierra y prácticas de manejo, en comparación con las políticas actuales (cuyo objetivo es suministrar servicios individuales de los ecosistemas, en lugar de servicios múltiples). Políticas integradas y cuidadosamente diseñadas también podrían evitar la creación de incentivos financieros que generen nuevos conflictos o favorezcan unos elementos a costa de otros en relación con el carbono del suelo.

Un nuevo énfasis a todos los niveles de gobernanza, centrado en un manejo de los suelos para múltiples beneficios a través de una gestión efectiva del carbono del suelo constituiría un importante avance para satisfacer la necesidad de servicios ecosistémicos que tendrá la población del mundo en 2030 y más allá.

El carricerín cejudo (*Acrocephalus paludicola*) es una especie amenazada en todo el mundo y solo sobrevive en humedales cultivados, ricos en carbono.  
Foto: Franziska Tanneberger.



## Referencias

- Altieri, M.A. (1995). *Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture*. Westview Press, Boulder, Colorado (Estados Unidos de América)
- Álvarez, R. y Steinbach, H.S. (2009). A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. *Soil & Tillage Research*, 104(1), 1-15
- Bai, Z.G. y Dent, D.L. (2009). Recent Land Degradation and Improvement in China. *Ambio*, 38(3), 150-156
- Bai, Z.G., Dent, D.L., Olsson, L. y Schaeppman, M.E. (2008). Proxy global assessment of land degradation. *Soil Use and Management*, 24(3), 223-234
- Bain, C.G., Bonn, A., Stoneman, R., Chapman, S., Coupar, A., Evans, M., Gearey, B., Howat, M., Joosten, H., Keenleyside, C., Labadz, J., Lindsay, R., Littlewood, N., Lunt, P., Miller, C.J., Moxey, A., Orr, H., Reed, M., Smith, P., Swales, V., Thompson, D.B.A., Thompson, P.S., van de Noort, R., Wilson, J.D. y Worrall, F. (2011). IUCN UK Commission of Inquiry on Peatlands. Programa de Turberas del Reino Unido de la UICN, Edimburgo (Reino Unido)
- Banco Mundial (2010). Project Information Document: Kenya Agricultural Carbon Project. <http://web.worldbank.org/external/projects/main?pagePK=64283627&piPK=73230&theSitePK=40941&menuPK=228424&ProjectID=P107798>
- Batjes, N.H. (1996). Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, 47(2), 151-163
- Batjes, N.H. (2011). Soil organic carbon stocks under native vegetation - Revised estimates for use with the simple assessment option of the Carbon Benefits Project system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 142(3-4), 365-373
- Batjes, N.H. y Sombroek, W.G. (1997). Possibilities for carbon sequestration in tropical and subtropical soils. *Global Change Biology*, 3(2), 161-173
- Beer, J. y Blodau, C. (2007). Transport and thermodynamics constrain belowground carbon turnover in a northern peatland. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 71(12), 2989-3002
- Bellefontaine, R., Bernoux, M., Bonnet, B., Cornet, A., Cudennec, C., D'Aquino, P., Droy, I., Jauffret, S., Leroy, M., Malagnoux, M. y Réquier-Desjardins, M. (2011). The African Great Green Wall project. What advice can scientists provide? *CSFD Topic Briefs - February 2011*. [http://www.csfd-desertification.org/pdf\\_csfd/GMV/fiche-A4-GMV-eng.pdf](http://www.csfd-desertification.org/pdf_csfd/GMV/fiche-A4-GMV-eng.pdf)
- Bernoux, M., Branca, G., Carro, A., Lipper, L., Smith, G. y Bockel, L. (2010). Ex-ante greenhouse gas balance of agriculture and forestry development programs. *Scientia Agricola*, 67(1), 31-40
- Black, H.I.J., Glenk, K., Towers, W., Moran, D. y Hussain, S. (2008). Valuing our soil resource for sustainable ecosystem services. Programa de investigación del Gobierno de Escocia sobre la gestión de las zonas rurales, el uso de la tierra y el medio ambiente 2006-2010. <http://www.programme3.net/soil/p3-soilsposter-2.pdf>
- Brantley, S.L. (2010). Weathering: Rock to regolith. *Nature Geoscience*, 3(5), 305-306
- Broadbent, F.E. (1953). The Soil Organic Fraction. *Advances in Agronomy*, 5, 153-183
- Brown, S. y Lugo, A.E. (1990). Effects of forest clearing and succession on the carbon and nitrogen content of soils in Puerto Rico and US Virgin Islands. *Plant and Soil*, 124(1), 53-64
- Bruinsma, J. (ed.) (2003). *World Agriculture: Towards 2015/2030. An FAO Perspective*. Earthscan Publications, Londres
- Brussaard, L., de Ruiter, P.C. y Brown, G.G. (2007). Soil biodiversity for agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 121(3), 233-244
- Burauel, P. y Baßmann, F. (2005). Soils as filter and buffer for pesticides - experimental concepts to understand soil functions. *Environmental Pollution*, 133(1), 11-16
- CBP (en preparación). (2012). Carbon Benefits Project: [www.unep.org/ClimateChange/carbon-benefits/cbp\\_pim](http://www.unep.org/ClimateChange/carbon-benefits/cbp_pim)
- Cerri, C.E.P., Easter, M., Paustian, K., Killian, K., Coleman, K., Bernoux, M., Falloon, P., Powelson, D.S., Batjes, N.H., Milne, E. y Cerri, C.C. (2007). Simulating SOC changes in 11 land use change chronosequences from the Brazilian Amazon with RothC and Century models. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 122(1), 46-57
- CMNUCC (2012). *Land Use, Land-Use Change and Forestry (LULUCF)*. [http://unfccc.int/methods\\_and\\_science/lulucf/items/3060.php](http://unfccc.int/methods_and_science/lulucf/items/3060.php)
- Conant, R.T., Paustian, K. y Elliott, E.T. (2001). Grassland management and conversion into grassland: Effects on soil carbon. *Ecological Applications*, 11(2), 343-355
- Conant, R.T., Ryan, M.G., Ågren, G.I., Birge, H.E., Davidson, E.A., Eliasson, P.E., Evans, S.E., Frey, S.D., Giardina, C.P., Hopkins, F.M., Hyvönen, R., Kirschbaum, M.U.F., Lalvallee, J.M., Leifeld, J., Parton, W.J., Steinweg, J.M., Wallenstein, M.D., Wetterstedt, J.Á.M. y Bradford, M.A. (2011). Temperature and soil organic matter decomposition rates - synthesis of current knowledge and a way forward. *Global Change Biology*, 17(11), 3392-3404
- Couwenberg, J. (2007). Biomass energy crops on peatlands: on emissions and perversions. *IMCG Newsletter*, 3, 12-14
- Couwenberg, J. (2011). Greenhouse gas emissions from managed peat soils: is the IPCC reporting guidance realistic? *Mires and Peat*, 8, 1-10
- Couwenberg, J., Dommain, R. y Joosten, H. (2010). Greenhouse gas fluxes from tropical peatlands in south-east Asia. *Global Change Biology*, 16(6), 1715-1732
- Couwenberg, J., Thiele, A., Tanneberger, F., Augustin, J., Bärtsch, S., Dubovik, D., Liaschynskaya, N., Michaelis, D., Minke, M., Skuratovitch, A. y Joosten, H. (2011). Assessing greenhouse gas emissions from peatlands using vegetation as a proxy. *Hydrobiologia*, 674(1), 67-89
- De Figueiredo, E.B. y La Scala Jr., N. (2011). Greenhouse gas balance due to the conversion of sugarcane areas from burned to green harvest in Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 141(1-2), 77-85
- Dexter, A.R. (2004). Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, 120(3-4), 201-214
- EEM (Evaluación de Ecosistemas del Milenio) (2005). *Ecosistemas y Bienestar Humano: Marco para la Evaluación*. Resúmen. Island Press, Washington, D.C.
- Falloon, P., Jones, C.D., Ades, M. y Paul, K. (2011). Direct soil moisture controls of future global soil carbon changes: An important source of uncertainty. *Global Biogeochemical Cycles*, 25(3), GB3010
- FAO (2012). Global Soil Partnership. [http://www.fao.org/nr/water/landandwater\\_gsp.html](http://www.fao.org/nr/water/landandwater_gsp.html)
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) (2011). La herramienta de balance de carbono ex ante (EX-ACT). <http://www.fao.org/tc/exact/ex-act-home/es/>
- FAO/IIASA (Instituto Internacional de Análisis de Sistemas Aplicados)/ISRIC-Centro Internacional de Referencia e Información de Suelos/ISSCAS (Instituto de Ciencias del Suelo, Academia China de Ciencias)/CCI (Centro Común de Investigación de la Unión Europea) (2009). Harmonized World Soil Database (version 1.1). FAO, Roma (Italia) e IIASA, Laxenburg (Austria). [http://www.iiasa.ac.at/Research/LUC/External/World-soil-database/HTML/HWSD\\_Data.html?sb=4](http://www.iiasa.ac.at/Research/LUC/External/World-soil-database/HTML/HWSD_Data.html?sb=4)
- Fearnside, P.M. y Barbosa, R.I. (1998). Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 108(1-2), 147-166
- Fernández, R., Quiroga, A., Zorati, C. y Noellemeier, E. (2010). Carbon contents and respiration rates of aggregate size fractions under no-till and conventional tillage. *Soil & Tillage Research*, 109(2), 103-109
- Foresight (2011). *The Future of Food and Farming: Challenges and choices for global sustainability. Final Project Report*. Oficina del Gobierno para la Ciencia, Londres
- Fundación Gates (2011). *2010 Annual Report: Strategy Refinement* (Fundación de Bill y Melinda Gates). <http://www.gatesfoundation.org/annualreport/2010/Pages/strategy-development.aspx>
- Global Soil Mapping (2011). Global Soil Information Facilities. <http://www.globsoilmap.net/category/image-galleries/global-soil-information-facilities-book>
- Gorham, E. (1991). Northern Peatlands: Role in the Carbon Cycle and Probable Responses to Climatic Warming. *Ecological Applications*, 1(2), 182-195
- Hillier, J., Walter, C., Malin, D., Garcia-Suarez, T., Mila-i-Canals, L. y Smith, P. (2011). A farm-focused calculator for emissions from crop and livestock production. *Environmental Modelling & Software*, 26(9), 1070-1078
- Houghton, R.A. (1995). Changes in the storage of terrestrial carbon since 1850. En Lal, R., Kimble, J., Levine, E. y Stewart, B.A. (eds.), *Soils and Global Change*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida (Estados Unidos de América)
- Janzen, H.H. (2006). The soil carbon dilemma: Shall we hoard it or use it? *Soil Biology & Biochemistry*, 38(3), 419-424
- Jauhainen, J., Hooijer, A. y Page, S.E. (2011). Carbon dioxide emissions from an *Acacia* plantation on peatland in Sumatra, Indonesia. *Biogeosciences Discussions*, 8(4), 8269-8302
- Joosten, H. (2009). *The Global Peatland CO<sub>2</sub> Picture. Peatland status and drainage related emissions in all countries of the world*. Wetlands International, Ede, Países Bajos
- Kapos, V., Ravilious, C., Leng, C., Bertzy, M., Osti, M., Clements, T. y Dickson, B. (2010). *Carbon, biodiversity and ecosystem services: Exploring co-benefits. Cambodia*. PNUMA-WCMC, Cambridge (Reino Unido)
- La Scala, Jr., N., de Figueiredo, E.B. y Panosso, A.R. (2011). On the mitigation potential associated with atmospheric CO<sub>2</sub>

- sequestration and soil carbon accumulation in major Brazilian agricultural activities. *Brazilian Journal of Biology* (aceptado)
- Lal, R. (2010a). Managing Soils and Ecosystems for Mitigating Anthropogenic Carbon Emissions and Advancing Global Food Security. *BioScience*, 60(9), 708-721
- Lal, R. (2010b). Managing soils for a warming earth in a food-insecure and energy-starved world. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 173(1), 4-15
- Malamoud, K., McBratney, A.B., Minasny, B. y Field, D.J. (2009). Modelling how carbon affects soil structure. *Geoderma*, 149(1-2), 19-26
- Marks, E., Afllakpui, G.K.S., Nkem, J., Poch, R.M., Khouma, M., Kokou, M., Sagoe, R. y Sebastião, M.-T. (2009). Conservation of soil organic carbon, biodiversity and the provision of other ecosystem services along climatic gradients in West Africa. *Biogeosciences*, 6(8), 1825-1838
- Milne, E., Sessay, M., Paustian, K., Easter, M., Batjes, N.H., Cerri, C.E.P., Kameni, P., Gicheru, P., Oladipo, E.O., Minxia, M., Stocking, M., Hartman, M., McKeown, B., Peterson, K., Selby, D., Swan, A., Williams, S. y Lopez, P.J. (2010). Towards a standardized system for the reporting of carbon benefits in sustainable land management projects. En Abberton, M., Conant, R. y Batello, C. (eds.) *Grassland carbon sequestration: management, policy and economics. Proceedings of the Workshop on the role of grassland carbon sequestration in the mitigation of climate change, Rome, April 2009*. Integrated Crop Management, 11, 105-117
- Montgomery, D.R. (2007). Soil erosion and agricultural sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(33), 13268-13272
- Nachtergaele, F.O., Petri, M., Biancalani, R., van Lynden, G., van Velthuizen, H. y Bloise, M. (2011). Global Land Degradation Information System (GLADIS). An Information database for Land Degradation Assessment at Global Level. Informe técnico de LADA núm. 17, FAO, Roma
- Noellemeyer, E., Frank, F., Alvarez, C., Morazzo, G. y Quiroga, A. (2008). Carbon contents and aggregation related to soil physical and biological properties under a land-use sequence in the semiarid region of central Argentina. *Soil & Tillage Research*, 99(2), 179-190
- NRC (Consejo Nacional de Investigaciones de los Estados Unidos), (2001). *Basic Research Opportunities in Earth Science*. National Academies Press, Washington, D.C.
- Oldeman, L.R., Hakkeling, R.T.A. y Sombroek W.G. (1991). World Map of the Status of Human-Induced Soil Degradation: An Explanatory Note (revised edition). PNUMA e ISRIC, Wageningen (Países Bajos)
- ORNL (1998). Terrestrial ecosystem responses to global change: a research strategy. Environmental Sciences Division Publication No. 4821.
- Page, S., Rieley, J.O. y Banks, C.J. (2010). Global and regional importance of the tropical peatland carbon pool. *Global Change Biology*, 17(2), 798-818
- PlanetEarth (2005). *Soil – Earth's living skin*. International Year of Planet Earth, Trondheim, Noruega. [http://www.isric.nl/isric/webdocs/Docs/Soil\\_2.pdf](http://www.isric.nl/isric/webdocs/Docs/Soil_2.pdf)
- PNUMA-WCMC (2009). Updated global carbon map. Póster presentado en la reunión de la CP en la CMNUCC, Copenhague. [Artículo de Scharlemann *et al.* sobre metodología en preparación (2012)].
- PNUMA-WCMC (Centro Mundial de Vigilancia de la Conservación) (2008). *Carbon and biodiversity: A demonstration atlas*. Kapos V., Ravilious, C., Campbell, A., Dickson, B., Gibbs, H., Hansen, M., Lysenko, I., Miles, L., Price, J., Scharlemann, J.P.W. y Trumper, K. (eds.). PNUMA-WCMC, Cambridge (Reino Unido)
- Powilson, D.S., Whitmore, A.P. y Goulding, K.W.T. (2011). Soil carbon sequestration to mitigate climate change: a critical re-examination to identify the true and the false. *European Journal of Soil Science*, 62(1), 42-55
- Ravindranath, N.H. y Ostwald, M. (2008). *Carbon Inventory Methods: Handbook for Greenhouse Gas Inventory, Carbon Mitigation and Roundwood Production Projects*. Advances in Global Change Research 29. Springer Science + Business Media B.V.
- Reed, M., Buckmaster, S., Moxey, A., Keenleyside, C., Fazey, I., Scott, A., Thomson, K., Thorp, S., Anderson, R., Bateman, I., Bryce, R., Christie, M., Glass, J., Hubacek, K., Quinn, C., Maffey, G., Midgely, A., Robinson, G., Stringer, L., Lowe, P. y Slee, B. (2010). *Policy Options for Sustainable Management of UK Peatlands*. Scientific Review. Comisión de Investigación sobre Turberas del Programa de Turberas del Reino Unido de la UICN
- Sarkkola, S. (ed.) (2008). *Greenhouse Impacts of the Use of Peat and Peatlands in Finland. Research Programme Final Report*. Ministerio de Agricultura y Silvicultura, Helsinki
- Schils, R., Kuikman, P., Liski, J., van Oijen, M., Smith, P., Webb, J., Alm, J., Somogyi, Z., van den Akker, J., Billett, M., Emmett, B., Evans, C., Lindner, M., Palosuo, T., Bellamy, P., Jandl, R. y Hiederer, R. (2008). *Review of existing information on the interrelations between soil and climate change (ClimSoil). Final report*. Bruselas, Comisión Europea
- Schmidt, M.W.I., Torn, M.S., Abiven, S., Dittmar, T., Guggenberger, G., Janssens, I.A., Kleber, M., Kögel-Knabner, I., Lehmann, J., Manning, D.A.C., Nannipieri, P., Rasse, D.P., Weiner, S. y Trumbore, S.E. (2011). Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature*, 478(7367), 49-56
- Servicio de Información sobre Suelos Africanos (2011). Africa Soil Information Service Labs: Data Analysis. <http://africasoils.net/labs/data-analysis-2/>
- Smith P., Gregory, P.J., van Vuuren, D., Obersteiner, M., Havlik, P., Rounsevell, M., Woods, J., Stehfest, E. y Bellarby, J. (2010). Competition for land. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 365(1554), 2941-2957
- Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S., O'Mara, F., Rice, C., Scholes, B. y Sirotenko, O. (2007). Agriculture. En Metz, B., Davidson, O.R., Bosch, P.R., Dave, R., y Meyer, L.A. (eds.), *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge (Reino Unido) y Nueva York (Estados Unidos de América)
- Tanneberger, F. y Wichtmann, W. (eds.) (2011). *Carbon credits from peatland rewetting. Climate – biodiversity – land use. Science, policy, implementation and recommendations of a pilot project in Belarus*. Schweizerbart Science Publishers, Stuttgart (Alemania)
- Tanneberger, F., Tegetmeyer, C., Dylawerski, M., Flade, M. y Joosten, H. (2009). Commercially cut reed as a new and sustainable habitat for the globally threatened Aquatic Warbler. *Biodiversity and Conservation*, 18(6), 1475-1489
- Tarnocai, C., Canadell, J.G., Schuur, E.A.G., Kuhry, P., Mazhitova, G. y Zimov, S. (2009). Soil organic carbon pools in the northern circumpolar permafrost region. *Global Biogeochemical Cycles*, 23(2), GB2023
- Taylor, L.L., Leake, J.R., Quirk, J., Hardy, K., Banwart, S.A. y Beerling, D.J. (2009). Biological weathering and the long-term carbon cycle: integrating mycorrhizal evolution and function into the current paradigm. *Geobiology*, 7(2), 171-191
- Tiessen, H. y Stewart, J.W.B. (1983). Particle-size Fractions and their Use in Studies of Soil Organic Matter: II. Cultivation Effects on Organic Matter Composition in Size Fractions. *Soil Science Society of America Journal*, 47(3), 509-514
- Tuomi, M., Vanhala, P., Karhu, K., Fritze, H. y Liski, J. (2008). Heterotrophic soil respiration – Comparison of different models describing its temperature dependence. *Ecological Modelling*, 211(1-2), 182-190
- Verburg, P.H., Neumann, K. y Nol, L. (2011). Challenges in using land use and land cover data for global change studies. *Global Change Biology*, 17(2), 974-989
- Verwer, C.C. y van der Meer, P.J. (2010). *Carbon pools in tropical peat forest: Towards a reference value for forest biomass carbon in relatively undisturbed peat swamp forests in Southeast Asia*. Alterra, Wageningen
- von Lützwow, M., Kögel-Knabner, I., Ekschmitt, K., Matzner, E., Guggenberger, G., Marschner, B. y Flessa, H. (2006). Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions – a review. *European Journal of Soil Science*, 57(4), 426-445
- Wachs, T. y Thibault, M. (eds.) (2009). *Benefits of Sustainable Land Management*. WOCAT (Reseña mundial de enfoques y tecnologías de la conservación). Berna (Suiza)
- Watson, L. (2010). Portugal gives green light to pasture carbon farming as a recognised offset. *Australian Farm Journal*, January, 44-47
- Wichtmann, W., Tanneberger, F., Wichtmann, S. y Joosten, H. (2010). Paludiculture is paludifiture: Climate, biodiversity and economic benefits from agriculture and forestry on rewetted peatland. *Peatlands International*, 1, 48-51
- Wicke, B., Dornburg, V., Junginger, M. y Faaij, M. (2008). Different palm oil production systems for energy purposes and their greenhouse gas implications. *Biomass & Bioenergy*, 32(12), 1322-1337
- WRB (2006). World reference base for soil resources 2006: A framework for international classification, correlation and communication. <http://www.fao.org/ag/agl/agll/wrb/doc/wrb2006final.pdf>
- Zach, A., Tiessen, H. y Noellemeyer, E. (2006). Carbon Turnover and Carbon-13 Natural Abundance under Land Use Change in Semiarid Savanna Soils of La Pampa, Argentina. *Soil Science Society of America Journal*, 70(5), 1541-1546



# Cierre y desmantelamiento de los reactores de energía nuclear

## Otro parecer después del accidente de Fukushima

Tras el accidente de la central nuclear Fukushima Daiichi en Japón, se han estado revisando los programas de energía nuclear de varios países. Alemania decidió poner fin completamente a su programa. Cualquiera que sea la decisión de los demás gobiernos, a nivel internacional seguirá aumentando el número de reactores nucleares de uso civil que se pondrán fuera de servicio a medida que vayan llegando al final de su vida útil originalmente prevista.

Hay planes de cerrar hasta 80 reactores nucleares de uso civil en los próximos diez años. Aunque es probable que se prorroguen las licencias de explotación de muchos de ellos, a la larga se pondrán fuera de servicio. La envergadura de la tarea que se avecina requerirá el establecimiento de reglamentos nacionales e internacionales adecuados, la asignación de una gran cantidad de fondos, la utilización de tecnologías innovadoras y un gran número de trabajadores calificados.

Durante años se ha procedido al desmantelamiento sin grandes percances radiológicos. Sin embargo, tenemos que preguntarnos cuán seguro es el desmantelamiento; cuáles son las implicaciones del cierre definitivo como el que proyecta Alemania; si cuentan los países con los conocimientos especializados y la infraestructura necesarios para hacer frente al incremento previsto del número de reactores que van a quedar fuera de servicio; y cómo se van a sufragar los elevados e imprevisibles costos del desmantelamiento.

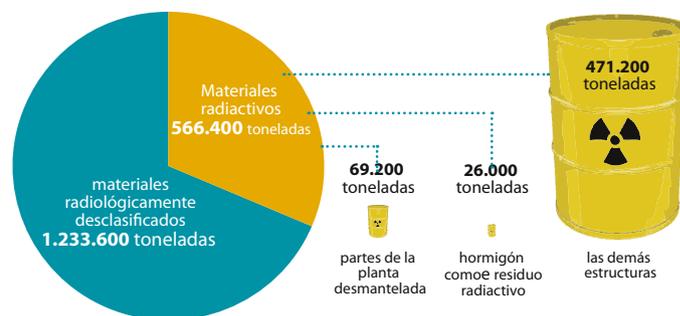
### ¿Qué es el desmantelamiento nuclear?

El término “desmantelamiento” se refiere a la gestión en condiciones seguras al final de su vida útil de muchos tipos diferentes de instalaciones y emplazamientos nucleares. El desmantelamiento tiene lugar en centrales eléctricas, instalaciones de procesamiento de combustible, reactores de investigación, plantas de enriquecimiento, laboratorios nucleares y radiológicos, minas de uranio y plantas de transformación de uranio. Los reactores que impulsan submarinos y buques (incluidos los rompehielos y los portaaviones) también deben ser desmantelados. La labor de desmantelamiento más importante será la de los reactores nucleares de uso civil (**recuadro 1**).

El número de reactores nucleares de uso civil por desmantelar aumentará significativamente en el próximo decenio. *Foto: visdia*

**Autores:** Jon Samseth (presidente), Anthony Banford, Borislava Batandjieva-Metcalf, Marie Claire Cantone, Peter Lietava, Hooman Peimani and Andrew Szilagyi  
**Redactor científico:** Fred Pearce

El desmantelamiento es solo parte del cierre definitivo de un reactor nuclear, el cual se inicia retirando el combustible gastado altamente radiactivo y puede terminar con la descontaminación y limpieza de toda la instalación o del emplazamiento, por ejemplo en algunos casos del suelo contaminado y de las aguas subterráneas (OIEA, 2004a). El desmantelamiento supone la demolición de los edificios y demás estructuras, entre ellas las partes cercanas al núcleo del reactor que pueden haberse vuelto radiactivas, así como la manipulación local de los materiales de construcción (fundamentalmente acero y hormigón) y el embalaje y transporte de esos materiales para su almacenamiento y eliminación en condiciones seguras. Cada desmantelamiento entraña problemas técnicos específicos y riesgos para la salud humana y el medio ambiente, que suelen estar determinados por las decisiones adoptadas decenios atrás sobre el diseño y la construcción del reactor (cuando apenas se tenía en cuenta la necesidad de desmantelar) y por las prácticas de funcionamiento durante años.



**Gráfico 1:** Durante el desmantelamiento de un reactor nuclear se generan grandes cantidades de residuos, tanto radiactivos (naranja) como radiológicamente desclasificados (azul). El diagrama se basa en el flujo de masa de la central nuclear desmantelada de Greifswald en Alemania. *Fuente: Adaptación de EWN – The Greifswald Nuclear Power Plant Site*



La mayor parte de los residuos generados durante el desmantelamiento no está radiológicamente clasificado (**gráfico 1**). Los residuos radiactivos del desmantelamiento, en su mayoría, tienen un nivel de radiactividad de muy bajo a intermedio (**cuadro 1**). Los residuos radiactivos de alta actividad (combustible nuclear gastado) se generan durante el funcionamiento del reactor. Pese a que los niveles de radiactividad de los residuos generados durante el desmantelamiento son mucho más bajos que los de los residuos generados durante el funcionamiento, el volumen de residuos radiactivos generados durante el desmantelamiento

es mucho mayor que el generado mientras el reactor está funcionando. Tan pronto deja de funcionar el reactor, los niveles de radiación van disminuyendo con el tiempo.

## Estado y tendencias del desmantelamiento nuclear

En enero de 2012, se habían cerrado 138 reactores nucleares de uso civil en 19 países, de ellos 28 en los Estados Unidos, 27 en el Reino Unido, 27 en Alemania, 12 en Francia, 9 en Japón y 5 en la Federación de Rusia (OIEA, 2012a). En el momento de redactar este artículo solo se había completado el desmantelamiento de 17 de ellos. La tarea es un proceso complejo que demora años. El Reino Unido, por ejemplo, completó su primer desmantelamiento de un reactor en 2011. Este reactor, situado en Sellafield, fue cerrado en 1981 (WNN, 2011a).

Se prevé un aumento de la demora en desmantelar los reactores nucleares de uso civil que han dejado de funcionar. También hay una larga lista de espera de reactores militares y de investigación (**recuadro 2**). Un reactor nuclear de uso civil se diseña para que dure de 30 a 40 años. Actualmente hay 435 de esos reactores funcionando en todo el mundo con una capacidad instalada total de generación eléctrica de 368.279 millones de vatios (GW) (**gráfico 3**). De estos 435 reactores nucleares de uso civil, 138 se instalaron hace más de 30 años y 24 llevan más de 40 años en uso (OIEA, 2012a). La edad promedio de los reactores nucleares que están en funcionamiento es de 27 años (OIEA, 2012a y WNA, 2011a).

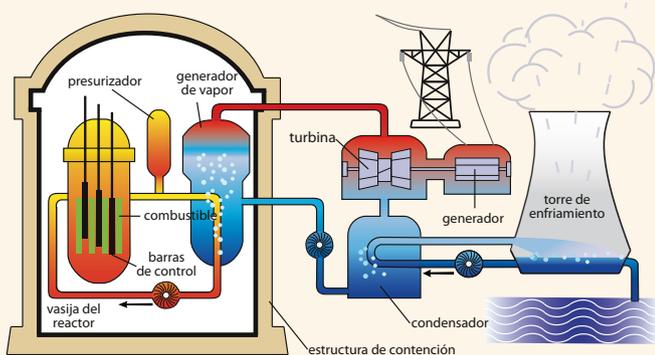
Muchos reactores nucleares de uso civil seguirán funcionando sin contratiempos después de cumplir su ciclo de vida originalmente previsto. Para algunos se renovarán las licencias de explotación hasta una duración de 60 o incluso 80 años (Energetics Inc. 2008). Además, hay 63 reactores nucleares de uso civil en construcción con una capacidad neta de generación de electricidad de 61 GW (OIEA, 2012a; WNA, 2011b) (**gráfico 4**). Todos los reactores nucleares tendrán que ser desmantelados algún día, y entonces los residuos radiactivos resultantes tendrán que ser tratados y eliminados en condiciones seguras (Bylkin *et al.*, 2011).

En marzo de 2011, un devastador terremoto de magnitud 8,9 seguido de un tsunami de 15 metros de altura afectó a la población del Japón. Miles de personas perecieron, muchos resultaron heridos y se registraron daños sin precedentes en las viviendas e infraestructuras. El trágico terremoto y el tsunami posterior causaron también el accidente en la central nuclear de Fukushima en que fueron liberados al mar y a la atmósfera materiales radiactivos. La contaminación del emplazamiento del reactor y sus alrededores dejó inhabitable o inapropiada para la producción de alimentos una superficie de un radio de 30 km en algunos casos durante meses o años. La capacidad de generación eléctrica del Japón se ha visto seriamente afectada, y el impacto político en otros países ha hecho que algunos gobiernos cuestionen su dependencia de la energía nuclear. Hasta la fecha, solo Alemania ha

### Recuadro 1: Reactor nuclear

El tipo más común de reactor nuclear es el reactor de agua a presión (**gráfico 2**). En este tipo de reactor, el calor generado por el combustible de uranio radiactivo situado en la vasija del reactor es impulsado por agua hacia arriba y transportado a través de un intercambiador de calor donde se genera vapor. El vapor mueve una turbina y un generador que producen electricidad. Una fuente de enfriamiento (agua de un río, lago o mar, o de una torre de enfriamiento) hace que el vapor se condense en agua.

La vasija del reactor, el generador de vapor y, en algunos casos, la piscina de almacenamiento del combustible gastado (no mostrada en la figura) están situados en una estructura de contención hecha de acero grueso, de hormigón o ambos, que protege contra las fugas de radiactividad hacia el medio ambiente. Las partes del reactor que se han vuelto radiactivas, y requieren atención especial durante el desmantelamiento, son la propia vasija del reactor y los materiales que contiene, entre ellos las barras de control. Las tuberías, las bombas y el resto del equipo que ha estado en contacto directo con el agua que ha pasado a través de la vasija del reactor o de la piscina de almacenamiento también están contaminados. Una cantidad relativamente pequeña de hormigón puede estar contaminada, por lo que requerirá un cierto tratamiento (O'Sullivan *et al.*, 2010).



**Gráfico 2:** Un reactor de agua a presión produce electricidad a partir del calor generado por el combustible de uranio radiactivo para crear grandes cantidades de vapor que mueven una turbina y un generador. Fuente: Kazimi (2003)

## Recuadro 2: El legado nuclear

Los primeros años de la energía nuclear nos dejaron en herencia una gran cantidad de instalaciones contaminadas, en particular reactores nucleares. Algunos se han utilizado con fines civiles, pero la mayoría son instalaciones militares, científicas y de experimentación. Mientras las viejas instalaciones contaminadas no se hayan desmantelado del todo, seguirán siendo un peligro y a los ojos de muchas personas suscitarán dudas acerca de la industria nuclear de nuestros días. Los desafíos que deben abordar quienes participan en el desmantelamiento suelen ser la falta de determinada información en el historial de las instalaciones y el desconocimiento acerca del estado de los emplazamientos y del equipo. La Autoridad de Desmantelamiento Nuclear del Reino Unido ha informado de que algunas instalaciones “no cuentan con inventarios pormenorizados de los residuos, algunas carecen de diagramas fiables del diseño [y] muchas son proyectos únicos” (NDA, 2011).

El Departamento de Energía de los Estados Unidos ha decidido descontaminar para 2025 más de 100 antiguos emplazamientos de investigación y armas nucleares que ocupan miles de hectáreas de superficie. La tarea supondrá tratar millones de metros cúbicos de residuos y terrenos contaminados, que incluyen grandes extensiones donde las aguas subterráneas están contaminadas (Szilagy, 2012). Por ejemplo, el Laboratorio Nacional de Oak Ridge en Tennessee tiene una superficie de 15.000 hectáreas con más de 100 emplazamientos contaminados conocidos (DOE, 2011). En la instalación nuclear más grande de Hanford en el Estado de Washington, hay cantidades considerables de residuos líquidos radiactivos (EPA, 2011a).

El Departamento de Energía ha logrado descontaminar emplazamientos complejos como Rocky Flats en Colorado (Tetra Tech, 2012). Sin embargo, algunos lugares posiblemente no se descontaminen nunca hasta el punto de no existir limitaciones de uso. En el Reino Unido, el Organismo de Protección del Medio Ambiente de Escocia (SEPA) llegó en 2011 a la conclusión de que “causaría más perjuicio que beneficio” tratar de eliminar todos los vestigios de contaminación radiactiva de la zona costera y el lecho marino alrededor del emplazamiento del reactor nuclear de Dounreay (SEPA, 2011). En muchos países se podrán reutilizar los emplazamientos que no se han descontaminado del todo para nuevas aplicaciones nucleares (OIEA, 2011a).

Los reactores construidos para propulsar submarinos o buques son uno de esos legados que causan preocupación. La puesta fuera de servicio de un submarino nuclear típico produce más de 800 toneladas de residuos peligrosos (Kværner Moss Technology, 1996). Al terminar la guerra fría, había más de 400 submarinos nucleares, tanto en funcionamiento como en construcción, fundamentalmente en la antigua Unión Soviética y en los Estados Unidos (WNA, 2011d). Muchos submarinos nucleares han sido retirados del servicio y están en espera de ser desmantelados. Los Estados Unidos han desactivado algunos de ellos, les han quitado los reactores, los han embalado debidamente y han previsto su eliminación en Hanford. Antes de 1988, unos 16 reactores de los submarinos nucleares desmantelados en la antigua Unión Soviética fueron eliminados arrojándolos al mar (Mount *et al.*, 1994; OIEA, 1999).

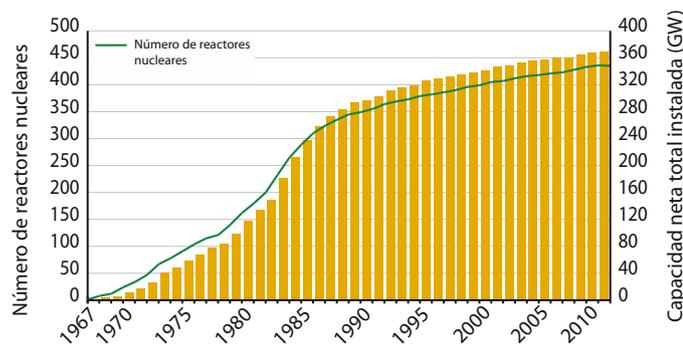
decidido poner fin a la generación de energía nuclear (BMU, 2011 y WNA 2011c). Sin embargo, esta cuestión se sigue debatiendo en otros países (Okyar, 2011). La empresa que construyó muchos de los reactores nucleares de Alemania anunció que no tiene en proyecto construir ningún otro reactor en ningún otro país (Der Spiegel, 2011). A medida

que algunos de los reactores nucleares de uso civil que se preveía que funcionasen durante muchos años más vayan llegando al final de su vida útil, es probable que el número total de los que van a ser desmantelados aumente significativamente.

## Tres procedimientos para el desmantelamiento

Existen tres procedimientos para el desmantelamiento generalmente aceptados: inmediato, diferido y enterramiento. Cada procedimiento requiere decisiones prontas y claras acerca del momento en que se cerrarán las instalaciones y el uso que se dará al emplazamiento en el futuro (**gráfico 5**). Cada uno requiere también suficientes fondos, personal capacitado, supervisión reglamentaria e instalaciones de almacenamiento y eliminación de residuos (OIEA, 2006).

**Desmantelamiento inmediato:** Todo el equipo, las estructuras y demás partes de una instalación que contenga contaminantes radiactivos se extraen (o descontaminan totalmente) de modo que se pueda considerar que el sitio está descontaminado para uso ilimitado o más limitado (a veces llamado emplazamiento a “campo abierto”). Este procedimiento acordado a nivel internacional tiene la ventaja de que se puede seguir utilizando al personal experimentado en el funcionamiento de la instalación que conoce la historia del emplazamiento, por ejemplo



**Gráfico 3:** A principios de 2012 el número de reactores nucleares en todo el mundo había aumentado a 435. La capacidad instalada total de generación de electricidad ha aumentado relativamente con más rapidez que el número de reactores. Fuente: OIEA (2012)





**Gráfico 4:** Se están construyendo 63 reactores nucleares, la mayoría en China, la India y la Federación de Rusia. Fuente: Adaptación de OIEA (2012)

los incidentes ocurridos en el pasado que pudieran complicar el proceso de desmantelamiento. El desmantelamiento inmediato evita también efectos imprevistos de la corrosión y de otro tipo de degradación de las partes del reactor durante un período prolongado, elimina el riesgo de exposición a la radiación en el futuro y evita la afectación sobre el paisaje. La desventaja de este procedimiento es que los niveles de radiactividad de las partes del reactor son mayores que en el caso del desmantelamiento diferido, lo que significa que hay que tomar más precauciones durante el desmantelamiento y que mayores volúmenes de material desmantelado serán clasificados como radiactivos.

**Desmantelamiento diferido:** Tras la eliminación de todo el combustible gastado, se drenan las tuberías y se dispone la instalación en condiciones de seguridad para proceder al desmantelamiento en otro momento más adelante. Este procedimiento se suele denominar de “recinto seguro”. El aplazamiento puede demorar entre 10 y 80 años (Deloitte, 2006). Por ejemplo, el reactor Dodewaard en los Países Bajos se cerró en 1997 pero no se desmantelará hasta por lo menos 2047 (OIEA, 2004b). El desmantelamiento diferido tiene la ventaja de que los materiales radiactivos presentan a la larga niveles más bajos de radiactividad que en el caso del desmantelamiento inmediato (**recuadro 3**). Esto reduce

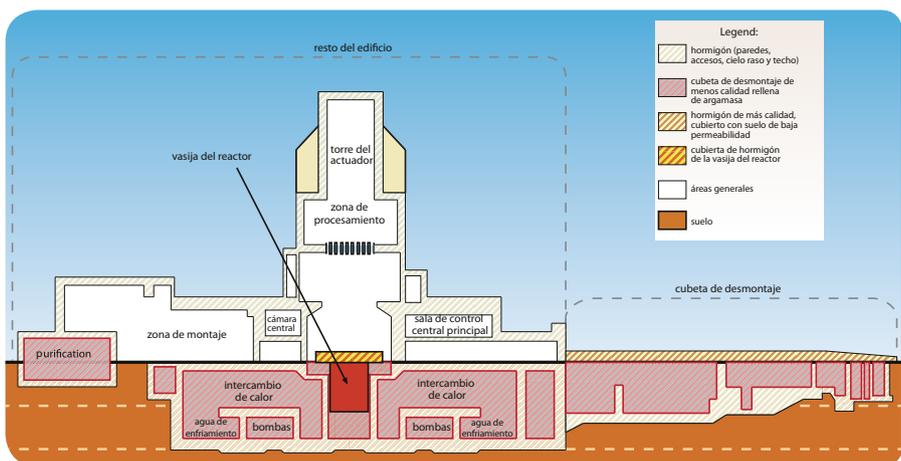
tanto los problemas de eliminación como los riesgos de los trabajadores de sufrir un percance. Entre tanto, seguirán desarrollándose la robótica y otros tipos de técnicas que harán el desmantelamiento más seguro y menos costoso. La desventaja es que algunos materiales, entre ellos el hormigón y el acero pueden deteriorarse y a la larga dificultar el desmantelamiento. Además, el conocimiento personal de la historia del emplazamiento se perderá a medida que pase el tiempo.

**Enterramiento:** Tan pronto se ha extraído el combustible gastado, se puede proceder al enterramiento de los reactores. Este procedimiento consiste en recubrir la estructura con un material sumamente duradero, como el hormigón, hasta que la radiactividad disminuya. El enterramiento es un procedimiento relativamente nuevo que se tiene en cuenta sobre todo en casos especiales (por ejemplo, pequeños reactores de investigación o reactores situados en lugares remotos). Este procedimiento puede reducir la exposición de los trabajadores a la radiactividad ya que se manipularán menos materiales contaminados. Ahora bien, hacen falta mantenimiento y vigilancia durante un largo período. En los Estados Unidos se han enterrado cinco reactores, tras el enterramiento de los dos reactores del emplazamiento del río Savannah que finalizó en 2011 (**gráfico 6**).





Central nuclear antes del desmantelamiento



Corte transversal de la estructura enterrada

**Gráfico 6:** Enterramiento del emplazamiento en río Savannah (Estados Unidos). Todo el combustible gastado y otros residuos muy contaminados fueron extraídos del reactor, así como la parte de los residuos/la contaminación clasificada como inadmisibles sobre la base de una rigurosa evaluación de riesgo y comportamiento. El enterramiento conllevó el consiguiente relleno con una argamasa especializada de todos los espacios de la subsuperficie donde se detectó la contaminación. Las zonas de superficie no contaminadas quedaron, en general, tal como estaban. Para añadir protección contra la intrusión y la infiltración de las aguas, se dejó en pie el edificio que se mantendrá bajo vigilancia durante un largo tiempo. *Fuente: Adaptación de DOE (2012)*

## Los retos del desmantelamiento

Hasta la fecha se ha logrado el desmantelamiento sin generar riesgos adicionales de importancia para la salud, la seguridad o el medio ambiente, aunque en ocasiones se ha detectado cierta contaminación previa causada por las operaciones nucleares (WNA, 2011a). De todos modos, hay que establecer un marco jurídico adecuado, con responsabilidades inequívocas asignadas a las diferentes entidades, incluidos los organismos reguladores. De lo contrario, los riesgos podrían aumentar a medida que aumenten los desmantelamientos; ya que en algunos países se están incrementando las presiones para acelerar el cierre y el desmantelamiento de las centrales nucleares, así como para reducir en general los plazos y los costos; y a medida que comiencen los desmantelamientos en países con poca o ninguna experiencia previa y poca capacidad de gestión de los residuos. A la larga, una mayor experiencia deberá contribuir a mejorar las técnicas y reducir los costos. Sin embargo, la eliminación acelerada de los reactores nucleares, a menos que se realice con sumo cuidado y con la debida supervisión reglamentaria, podría llevar a decisiones sobre desmantelamiento demasiado precipitadas o a que los reactores queden inactivos durante muchos años antes de que finalmente se produzca su desmantelamiento. En este último caso, si no existe una vigilancia y una gestión adecuadas, podrían aumentar los riesgos de

liberación de contaminantes radiactivos al medio ambiente y de exposición de las poblaciones de las cercanías (OIEA, 2007).

## Un desmantelamiento más inteligente

Un aspecto crítico del desmantelamiento es que hay que llevarlo a cabo de manera que se puedan separar los materiales radiactivos de los no radiactivos. De esta forma se minimiza la cantidad de residuos que requerirán tratamiento especial debido a su radiactividad. La separación maximiza también la cantidad de materiales, como el acero y el aluminio, que se pueden reciclar, así como la cantidad de escombros de hormigón que se pueden reutilizar en el lugar (Dounreay, 2012). Algunos materiales posiblemente tengan que ser desmantelados y descontaminados en el emplazamiento. La compleja tarea de desmantelar requiere una buena información al comienzo del proceso acerca de las características radiológicas y del estado del reactor, entre ellas el historial de funcionamiento, por ejemplo los incidentes y accidentes ocurridos, y la presencia de algún residuo de combustible gastado.

La necesidad de desmantelar estructuras cuya finalidad ha sido proteger a los trabajadores durante el funcionamiento del reactor puede dificultar aún más el desmantelamiento. Por ejemplo, las tuberías de acero por donde fluyen líquidos altamente radiactivos suelen estar



**Gráfico 5:** El desmantelamiento y clausura del reactor nuclear de uso civil Vandellòs I en España se está llevando a cabo en tres etapas: cierre del reactor y actividades preliminares (1991-1997); eliminación de estructuras no relacionadas con el reactor (1998-2003); y desmantelamiento de la vasija del reactor (hacia 2028). La tercera etapa está programada para comenzar tras un período de inactividad de 25 años, tras el cual el reactor permanecerá bajo estrecha vigilancia. *Fuente: Adaptación de ENRESA (2009)*

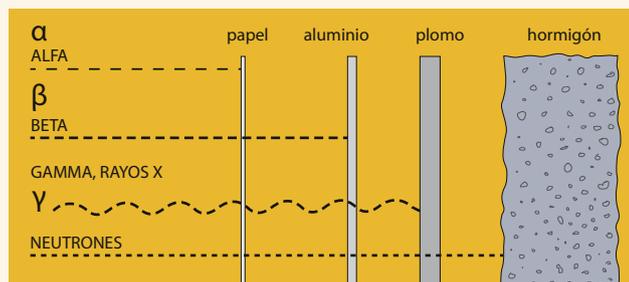
### Recuadro 3: Radiación relacionada con el desmantelamiento

El grueso de los residuos radiactivos del desmantelamiento son residuos de baja o muy baja actividad, fundamentalmente acero y hormigón. Los residuos radiactivos de mayor actividad son los componentes del reactor que contienen isótopos que emiten radiaciones a medida que se desintegran. La liberación inicial de radiación disminuye con rapidez debido a que el período de semidesintegración de algunos isótopos es relativamente corto. Al cabo de 50 años, el grado de radiación de la mayoría de los residuos disminuye a un pequeño porcentaje del nivel inicial.

Isótopo	Período de semidesintegración (años)
C-14	5.730
Ni-59	75.000
Ni-63	96
Fe-55	2,7

La radiación en dosis muy altas puede causar enfermedades por radiación, cánceres e incluso la muerte inmediata o a corto plazo, como ocurrió con los trabajadores durante el accidente de Chernobyl. En dosis más bajas puede inducir cánceres y daños genéticos. Sin embargo, los riesgos que entrañan las dosis que se reciben normalmente durante el funcionamiento o el desmantelamiento deben ser insignificantes.

Durante el desmantelamiento y la eliminación de los residuos generados se emiten casi exclusivamente radiaciones beta y gamma (**gráfico 7**). Los riesgos del desmantelamiento están más relacionados con la exposición a estos tipos de radiación. Dado que los residuos del desmantelamiento suelen ser por regla general sólidos, solo las emisiones no intencionales del polvo radiactivo generado durante la demolición pueden ocasionar la exposición del público en general (EPA, 2011b).



**Gráfico 7:** Las radiaciones alfa, beta, gamma y de neutrones difieren en su capacidad para penetrar los materiales. Las partículas alfa no penetran mucho. Una simple hoja de papel las detiene, mientras que las partículas beta quedan detenidas por una fina lámina de aluminio, los rayos gamma se detienen ante metales pesados como el plomo y los neutrones ante el hormigón o el agua.

Fuente: WNA (2011e)

revestidas de hormigón. Esto complica el desmantelamiento porque las tuberías pueden ser radiactivas, aunque grandes volúmenes del hormigón en el que están empotradas no lo sean. En tal caso habrá que retirar por separado el material contaminado o segregarlo posteriormente (O'Sullivan *et al.*, 2010).

Lo fundamental para reducir el volumen de residuos contaminados es mejorar la separación de los materiales durante el desmantelamiento. Pero conciliar esta práctica con la minimización de la exposición de los trabajadores puede ser difícil. Por eso hace falta realizar evaluaciones antes del desmantelamiento a fin de elegir los procedimientos apropiados que incluyen técnicas manuales o de control remoto. En muchos casos los vehículos operados por control remoto, los brazos manipuladores y los robots se pueden utilizar para cortar los materiales de desecho en pedazos más pequeños. El constante desarrollo de esas tecnologías será de un valor incalculable, ya que podrán reducir los volúmenes de residuos radiactivos mediante un corte más selectivo, lo que reducirá tanto los costos como los riesgos radiológicos.

La experiencia adquirida con el desmantelamiento de los reactores nucleares de primera generación indica que el desmantelamiento habría sido más fácil y menos costoso si se hubieran diseñado teniendo en mente esta etapa (AEN/AEN/OCDE, 2010a). Son pocos los reactores viejos que incorporan características de diseño que ayudan al desmantelamiento o lo simplifican. Las centrales nucleares que están funcionando actualmente tienen un plan de desmantelamiento, ya que los planes preliminares suelen ser un requisito para presentar la solicitud de licencia de funcionamiento de una instalación nuclear (AEN/AEN/OCDE, 2010a). Los planes de desmantelamiento deben actualizarse periódicamente, junto con un plan detallado preparado al menos dos años antes del cierre programado (OIEA, 2008, 2011b). Ahora bien, es inevitable el cierre de algunos reactores antes del plazo programado debido a un cambio de política, un accidente o un desastre natural (**recuadro 4**).



Los residuos compactables de baja actividad pueden ser ropas radiactivas, vidrio y materiales de construcción. Foto: Sellafield Ltd.



Corte transversal de un contenedor de residuos líquidos de actividad media, solidificados en hormigón. Los residuos de actividad media consisten en materiales fuertemente contaminados como las envolturas de las barras de combustible o las partes desactivadas de la vasija del reactor. Estos residuos requieren blindaje contra las radiaciones. El tiempo de almacenamiento dependerá del tipo de isótopos radiactivos presentes en los residuos. Los líquidos radiactivos se solidifican antes de su almacenamiento definitivo. *Foto: Dounreay*

## Recursos y capacidad

Varios países han aumentado sus conocimientos especializados en el desmantelamiento. En los Estados Unidos, por ejemplo, se han desactivado totalmente 1.450 instalaciones nucleares públicas de diversos tipos, entre ellas algunos reactores (DOE, 2012). Si bien esos conocimientos especializados hacen abrigar optimismo en algunos países, otros todavía tienen que desarrollar especialidades y crear la infraestructura a la escala que será necesaria en el futuro. Las universidades y centros técnicos de algunos países están elaborando programas de capacitación o emprendiendo actividades de investigación y desarrollo específicamente relacionadas con el desmantelamiento. Gran parte de esta actividad se centra en el equipo automático y en métodos de trabajo innovadores en un medio radiactivo.

En el futuro se competirá para obtener especialistas, recursos e instalaciones de eliminación de residuos para el desmantelamiento de reactores nucleares de uso civil y el desmantelamiento de muchos reactores y otras instalaciones militares y de investigación. Más de 300 de esos reactores, tanto pequeños como grandes, han quedado ya fuera de servicio (WNA, 2011a), pero en su mayoría no han sido desmantelados aún.

## Aceptación del público

La aceptación del público es decisiva para el futuro de la energía nuclear (AEN/OCDE, 2010b). De la aceptación del público, tanto como de las consideraciones técnicas, dependerá si las centrales nucleares se clausurarán de inmediato o más adelante, lo que pasará con los residuos radiactivos y si al final se recuperará el emplazamiento original o se producirá un enterramiento o una solución intermedia. Es posible que la población de las cercanías no esté muy de acuerdo con una actividad

## Recuadro 4: Tratamiento de los reactores dañados

La puesta fuera de servicio requiere una evaluación de seguridad que debe ser aprobada por los organismos reguladores, por lo que hay que realizar una evaluación de impacto ambiental (EIA) y una declaración sobre el impacto ambiental. La puesta fuera de servicio a raíz de un accidente de importancia como el de Three Mile Island (Estados Unidos), Chernobyl (Ucrania) o Fukushima (Japón) es muy diferente de la proyectada al final de la vida útil de una instalación. Se requieren diferentes tipos de planificación, equipo y financiación. Un reactor averiado puede contener combustible nuclear expuesto y su contenedor puede estar en malas condiciones. El reactor y las instalaciones correspondientes deben ser estabilizados y puestos en condiciones de seguridad antes de proceder al desmantelamiento o al enterramiento.

En 1979 el reactor n.º 2 de Three Mile Island experimentó una fusión parcial durante la cual el núcleo se recalentó. Los operadores llevaron a cabo una limpieza, eliminaron el combustible, descontaminaron el agua radiactiva y trasladaron los residuos radiactivos a un lugar de almacenamiento final. El combustible y los residuos del núcleo fundido fueron trasladados a una instalación del gobierno donde se encuentran ahora en almacenamiento en seco en espera de una decisión sobre el lugar donde se almacenarán definitivamente. El propio reactor se encuentra en "almacenamiento vigilado" hasta que se produzca el cierre del reactor n.º 1. Ambos reactores quedarán definitivamente fuera de servicio (NRC, 2009).

En 1986 el reactor n.º 4 de Chernobyl explotó, se quemó y liberó grandes cantidades de material radiactivo a la atmósfera. El incendio causado por la explosión fue extinguido al cabo de varias horas, pero el grafito del reactor siguió quemándose durante varios días. Se necesitó medio año para recubrir el reactor con un sarcófago de hormigón. Pero éste no será el enterramiento definitivo. El sarcófago se ha deteriorado a tal punto que el agua está penetrando y podría derrumbarse. Hay planes de colocar un nuevo medio de contención alrededor del sarcófago para finales de 2015 a fin de poder extraer en condiciones de seguridad la estructura que se está deteriorando, el combustible y el resto de los materiales contaminados en el interior para trasladarlos a un nuevo almacén de residuos (Wood 2007, Yanukovych 2011).

En diciembre de 2011 la Compañía Eléctrica de Tokio (Tepco), el Organismo de Recursos Naturales y Energía del Ministerio de Economía, Comercio e Industria y el Organismo de Seguridad Nuclear e Industrial del Japón anunciaron el primer plan de acción para poner fuera de servicio a los reactores de Fukushima. Se prevé la extracción del combustible que queda en las piscinas de almacenamiento en un plazo de diez años. Transcurrido ese período, se procederá a extraer el combustible que constituía los núcleos de los reactores. Será una tarea muy compleja, porque se desconoce hasta qué punto están dañados los núcleos. Se estima que el núcleo de uno de los reactores se ha fundido hasta la vasija del reactor y en el piso de hormigón debajo del reactor. La extracción de los núcleos demorará entre 10 y 15 años más. En otros 30 a 40 años se habrá completado la demolición definitiva de las estructuras de los reactores (WNN, 2011b).





Embalaje y almacenamiento provisional de residuos radiactivos.  
Fuente: Autoridad de Desmantelamiento Nuclear del Reino Unido

intensa de desmantelamiento, pero esa actividad puede evitar que se perjudique el paisaje y propiciar un nuevo uso del lugar. El enterramiento, por otra parte, no solo es poco atractivo a la vista, sino que mantener un reactor en “modo seguro” obliga a adoptar disposiciones de seguridad permanentes (AEN/OCDE, 2010b).

Algunos operadores temen el debate público, mientras que otros son partidarios de él. La Autoridad de Desmantelamiento Nuclear del Reino Unido, por ejemplo, ha adoptado un criterio más abierto que en el pasado (DTI, 2002). Una mayor apertura puede tener un éxito palpable. En los Estados Unidos, la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA), que opera el reactor de investigaciones de Plum Brook en el Estado de Ohio, reaccionó ante la preocupación del público por la decisión de desmantelar el reactor con un programa de talleres comunitarios, sitios web, vídeos, visitas de los medios de comunicación al reactor y días de visitas públicas. Este desmantelamiento que pudo haber sido polémico logró el apoyo local (OIEA, 2009a). El Foro para la Confianza de las Partes Interesadas, creado en 2000 por el la Agencia para la Energía Nuclear, de carácter intergubernamental, facilita el intercambio de experiencias para abordar la dimensión social del manejo de los residuos radiactivos. Este órgano estudia la manera de mantener un diálogo constructivo con el público a fin de fortalecer la confianza en los procesos de adopción de decisiones, en el que pueden participar las entidades a nivel nacional, regional y local (AEN/OCDE, 2011).

### Imposibilidad de prever el desmantelamiento

Las decisiones de los países sobre la reevaluación de sus programas de energía nuclear adoptadas a raíz del accidente de Fukushima tendrán consecuencias importantes para los programas nacionales de desmantelamiento. También plantearán cuestiones acerca de si se cuenta con los conocimientos, la especialización, los fondos y la infraestructura necesarios para atender demandas de desmantelamiento nuevas e imprevistas.

De los 50 reactores nucleares que quedan en el Japón, solo 5 estaban funcionando en el momento de redactar este artículo (OIEA, 2012a y WNN, 2012a). Cualquiera de esos reactores podría, con el tiempo, reanudar sus operaciones tan pronto se realicen las pruebas de resistencia de los sistemas, se establezcan mejores sistemas de protección contra los tsunamis y se haya obtenido la aprobación de las autoridades públicas y locales. El gobierno cerró la central nuclear de Hamaoka temporalmente en 2011 debido al temor de un futuro terremoto de gran magnitud en esa zona. Esta central reanudará sus operaciones cuando cuente con mejores sistemas de protección contra los tsunamis (WNN, 2011d).

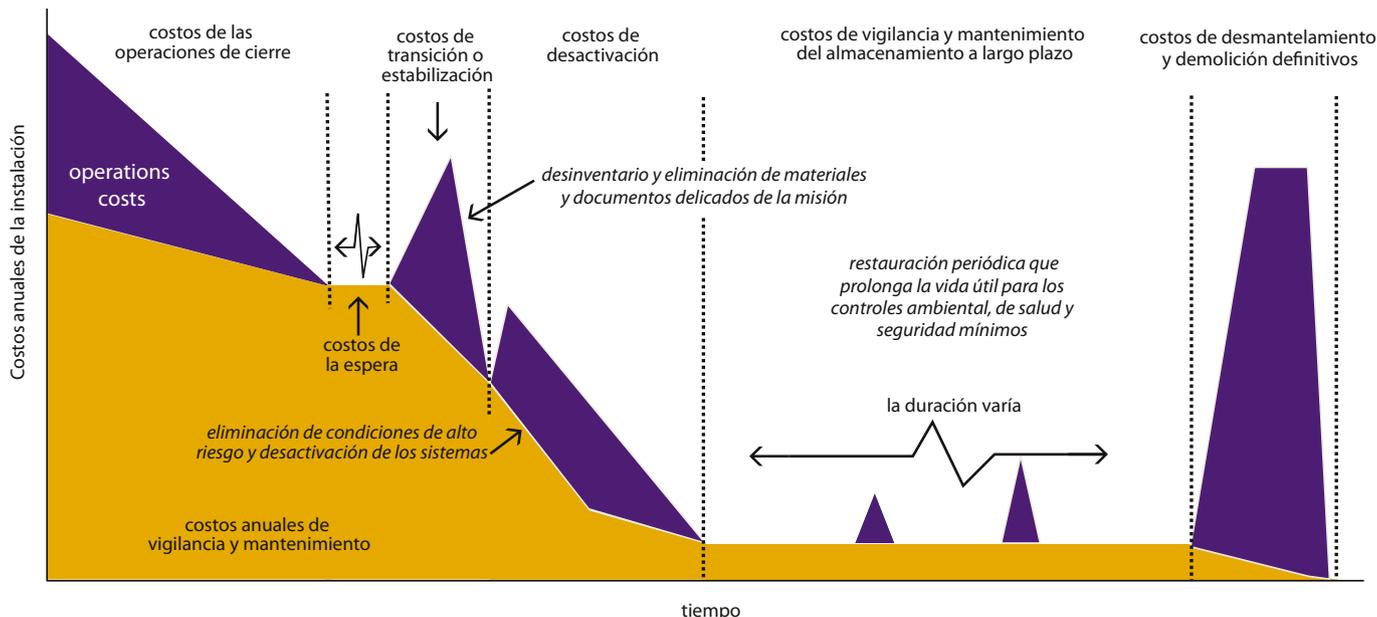
La decisión de Alemania de eliminar todas sus centrales nucleares para 2022 significa adelantar el cierre de las 13 centrales que están actualmente en funcionamiento (WNA, 2011d). La eliminación anticipada de esas centrales será costosa. También obligará a manejar volúmenes muy grandes de residuos del desmantelamiento en condiciones seguras o, si se aplaza el desmantelamiento, a mantener protegidas algunas instalaciones que quedarán fuera de servicio. Alemania va a necesitar gran cantidad de expertos e infraestructura para acometer el desmantelamiento.

Todo el que participe en el desmantelamiento en cualquier país tendrá que prepararse para lo imprevisto. Por ejemplo, legisladores, reguladores o abogados podrían intervenir para iniciar o poner fin al desmantelamiento. En 2010, el Senado del Estado de Vermont en los Estados Unidos revocó la licencia de la central nuclear Yankee de Vermont debido a preocupaciones por las fugas de gas de tritio radiactivo, así como por acusaciones de que los operadores habían formulado declaraciones engañosas al respecto. La central estaba programada para el cierre en marzo de 2012, pero los operadores lograron impugnar el derecho del Estado a exigir el cierre (WNN, 2011d, 2012b).

### Costos y financiación del desmantelamiento

Los costos de desmantelamiento de los reactores nucleares varían muchísimo, según el tipo y el tamaño del reactor, su ubicación, la proximidad y disponibilidad de instalaciones de eliminación de residuos, el uso futuro previsto del emplazamiento y el estado del reactor y del emplazamiento en el momento en que quedan fuera de servicio. Se han desarrollado métodos para hacer el cálculo de los costos (AEN/OCDE, 2010c). Sin embargo, escasean los datos publicados sobre los costos incurridos en el pequeño número de desmantelamientos completados hasta la fecha (AEN/OCDE, 2010c; GAO, 2010), y las estimaciones de los futuros costos varían enormemente.

Los costos del desmantelamiento representan un porcentaje considerable del costo de funcionamiento de un reactor nuclear (**gráfico 8**). Por otra parte, pueden representar solo un pequeño porcentaje del ingreso generado por un reactor de uso civil durante un período de 40 años. En los Estados Unidos, los costos promedio del desmantelamiento de un reactor nuclear han rondado los 500 millones



**Gráfico 8:** El desmantelamiento de una central nuclear demora muchos años y los costos son muy variables. Los costos más elevados se incurrirán durante el cierre inicial y el desmantelamiento y la demolición definitivos. Todo el período intermedio será menos costoso. Estos factores pueden influir en las decisiones sobre cuán rápido se procederá al desmantelamiento. Fuente: Departamento de Energía de los Estados Unidos (2010)

de dólares o, aproximadamente entre el 10% y el 15% del costo del capital inicial. En Francia se calcula que el desmantelamiento del pequeño reactor de Brennilis (en funcionamiento de 1967 a 1985) será equivalente al 59% del costo inicial del reactor. Esta estimación aumentó en un 26% entre 2001 y 2008 a casi 500 millones de euros, lo que representa hasta 20 veces más la estimación original (Tribunal de Cuentas, 2005, 2012). En el Reino Unido, el crédito financiero del gobierno para el desmantelamiento aumentó de 2 millones de libras en 1970 a 9.500 millones de libras en 1990 y 53.700 millones de libras en 2011 (Huhne, 2011). Es evidente que el desmantelamiento puede a veces ser mucho más costoso que el presupuestado originalmente (AEN/OCDE, 2010d). A medida que se gane en experiencia, este tipo de incertidumbre disminuirá y los costos se reducirán.

En muchos países, la responsabilidad de financiar las actividades de desmantelamiento recae sobre el propietario, en cumplimiento del principio de “el que contamina paga” (Deloitte, 2006 y Wuppertal, 2007). No obstante, los gobiernos tienen la responsabilidad de velar por que se generen fondos suficientes durante el funcionamiento de las centrales nucleares de su territorio para pagar estos elevados y a veces imprevisibles costos. No siempre está claro hasta qué punto los fondos están protegidos contra las crisis financieras. Los fondos de inversión no tienen que aportar necesariamente los rendimientos previstos. En todo caso, los gobiernos probablemente serán los financiadores en última instancia (SwissInfo, 2011).

En 2006, la Comisión Europea emitió una recomendación y una guía sobre la gestión de los recursos financieros para el desmantelamiento de instalaciones nucleares y la manipulación del combustible gastado y los residuos radiactivos (UE, 2006a, b). Además, según una Directiva reciente de la UE por la que se establece un marco comunitario para el manejo responsable y seguro del combustible gastado y los residuos radiactivos, todos los Estados miembros tienen la obligación de

#### Recuadro 5: Reglamentación del desmantelamiento a nivel mundial

La Convención conjunta sobre seguridad en la gestión del combustible gastado y sobre seguridad en la gestión de residuos radiactivos es el primer instrumento jurídico que aborda directamente, entre otras cosas, el manejo de los residuos radiactivos procedentes del desmantelamiento a escala mundial (OIEA, 2011c). La Convención conjunta, que entró en vigor el 18 de junio de 2001, ha sido ratificada por 62 países. Su artículo 26 especifica que “Cada Parte Contratante adoptará las medidas adecuadas para garantizar la seguridad durante la clausura de una instalación nuclear. Dichas medidas garantizarán que: i) se disponga de personal calificado y recursos financieros adecuados; ii) se apliquen las disposiciones del artículo 24 con respecto a la protección radiológica operacional, las descargas y las emisiones no planificadas y no controladas; iii) se apliquen las disposiciones del artículo 25 con respecto a la preparación para casos de emergencia; y iv) se mantengan registros de información importante para la clausura”.



Cuadro 1: Clasificación de los residuos radiactivos. Fuente: Adaptación de OIEA (2009b)

	residuos de muy baja actividad	residuos de baja actividad	residuos de media actividad	residuos de alta actividad
radiactividad	contienen concentraciones muy limitadas de isótopos radiactivos de período largo con concentraciones de actividad que suelen estar por encima de los niveles de dispensa	contienen concentraciones limitadas de isótopos radiactivos de período largo pero con alta radiactividad	contienen isótopos radiactivos de período largo que no se desintegrarán a un grado de concentración de la actividad admisible para que sean depositados cerca de la superficie	contienen niveles de concentración de la actividad suficientemente altos para generar grandes cantidades de calor por desintegración radiactiva o con grandes cantidades de isótopos radiactivos de período largo
ejemplos de fuentes de residuos	escombros de hormigón, suelo	ropa, vidrio, materiales de construcción	envoltura de las barras de combustible, parte de la vasija del reactor	residuos del combustible gastado
aislamiento	depósito en superficie	disposición cercana a la superficie a una profundidad de hasta 30 metros	disposición a baja profundidad, de pocas decenas a varios centenares de metros	formaciones geológicas profundas
blindaje necesario	No	No	sí	sí
enfriamiento necesario	No	No	no	sí

garantizar que se disponga de recursos financieros para el desmantelamiento (UE, 2011). Muchos gobiernos europeos, aunque no todos, han asegurado que se dispone de esa financiación. Los sistemas de financiación varían. En España, por ejemplo, una empresa pública está encargada de la financiación, mientras que en Eslovaquia la responsabilidad compete al Ministerio de Economía. A nivel mundial, la necesidad de contar con recursos disponibles suficientes para el desmantelamiento está siendo examinada por la Convención conjunta sobre seguridad en la gestión del combustible gastado y sobre seguridad en la gestión de residuos radiactivos (**recuadro 5**).

## Riesgos relacionados con el desmantelamiento

Los riesgos de que se libere radiactividad en gran escala durante la clausura son mucho menores que durante el funcionamiento del reactor. Tan pronto se ha extraído el combustible nuclear, la mayor parte de la radiactividad desaparece. Cuando se vacían los tanques y las tuberías, la mayoría de los materiales radiactivos que permanecen se encuentran en estado sólido, lo que facilita su manipulación y hace menos probable que se transfieran al medio ambiente. Sin embargo, la índole de los trabajos prácticos que no son de carácter rutinario hace que los trabajadores corran más riesgos de exposición durante el desmantelamiento que durante las operaciones.

## Tipos y cantidad de residuos radiactivos

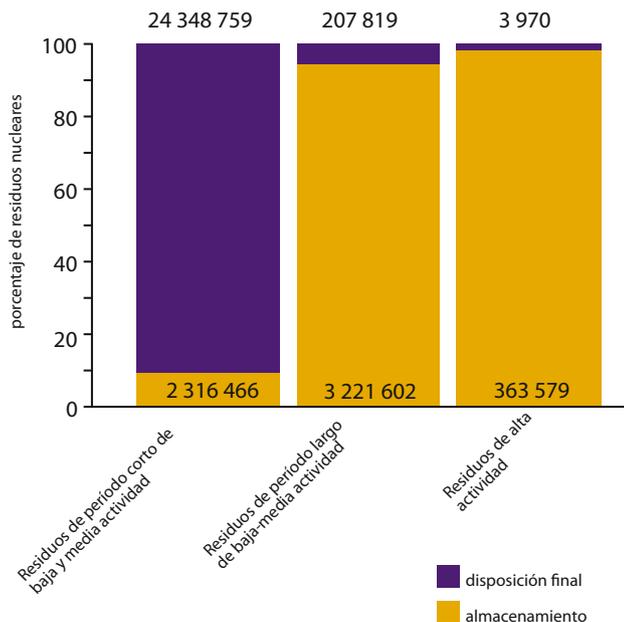
Mientras el reactor nuclear está funcionando produce isótopos que emiten una radiación potencialmente perjudicial a medida que se desintegran. Su período de semidesintegración (tiempo que demora la radiactividad del isótopo en reducirse a la mitad) varía de segundos a millones de años. Los isótopos que tienen un período de semidesintegración de más de diez días pueden contribuir a los residuos radiactivos. Los residuos tienen que mantenerse en condiciones de seguridad hasta que el proceso de desintegración reduzca los niveles de radiactividad de los materiales. En lo que respecta al almacenamiento y la eliminación, se suelen clasificar en diferentes tipos (residuos de muy baja actividad, de baja actividad, de media actividad y de alta actividad), según los riesgos y el tiempo de desintegración (**cuadro 1**).

Gran parte del material altamente radiactivo que, a fin de cuentas, contribuye a los residuos de alta radiactividad es combustible gastado que se elimina periódicamente de los reactores en funcionamiento. Un reactor típico de 1000-MW produce unas 27 toneladas de estos residuos al año (WNA, 2011e). La cantidad de combustible gastado producida por los reactores del mundo llenaría apenas dos piscinas olímpicas cada año. Pese a que esos volúmenes son relativamente pequeños, los residuos de alta actividad contienen el 95% de la radiactividad de los residuos de la industria nuclear. Habrá que mantenerlos aislados durante miles de años.

De conformidad con las prácticas actuales de gestión de residuos, los residuos de alta actividad requerirán en última instancia ser depositados en formaciones geológicas profundas. Si bien algunos países, entre ellos Finlandia, Francia y Suecia, cuentan con emplazamientos seleccionados, ningún país cuenta todavía con una instalación en funcionamiento para el almacenamiento definitivo de residuos de alta actividad. Ello obedece en parte a los costos y en parte a que la opinión pública se opone al uso de los sitios propuestos (WNA, 2011f), y en



Un método típico de disposición de los residuos de baja actividad es depositarlos bajo la superficie. Se debe procurar que el agua no transporte isótopos radiactivos fuera del depósito. Foto: Comisión Reguladora Nuclear de los Estados Unidos.



**Gráfico 9:** El desmantelamiento genera residuos que se pueden clasificar como residuos nucleares de actividad baja, media y alta. El inventario total de residuos muestra el porcentaje de residuos nucleares almacenados por tipo en comparación con el enviado para su disposición final. Los volúmenes se expresan en metros cúbicos y se basan en los datos comunicados por los países utilizando el sistema más antiguo de clasificación de los residuos del OIEA de 1994, según el cual los residuos de actividad baja y media se combinaron en dos subgrupos: los de período corto y los de período largo. Los residuos de muy baja actividad no se consideraron como categoría aparte. Fuente: Adaptación de OIEA (2011d)

parte al hecho de que ha transcurrido poco tiempo para que el combustible gastado y otros residuos de alta actividad se hayan enfriado lo suficiente para que sean colocados en un depósito permanente. En los primeros 20 a 30 años después de la clausura definitiva, parte de los componentes internos que se manipularán durante el desmantelamiento pertenecen a la categoría de residuos de alta actividad.

Una vez extraído el combustible gastado, el desmantelamiento produce solo pequeñas cantidades de residuos de alta actividad, que en su mayor parte son residuos del combustible nuclear que queda después de extraerlo del reactor. No obstante, el desmantelamiento suele generar dos terceras partes del total de residuos de actividad muy baja, baja y media producidos durante el período de actividad del reactor.

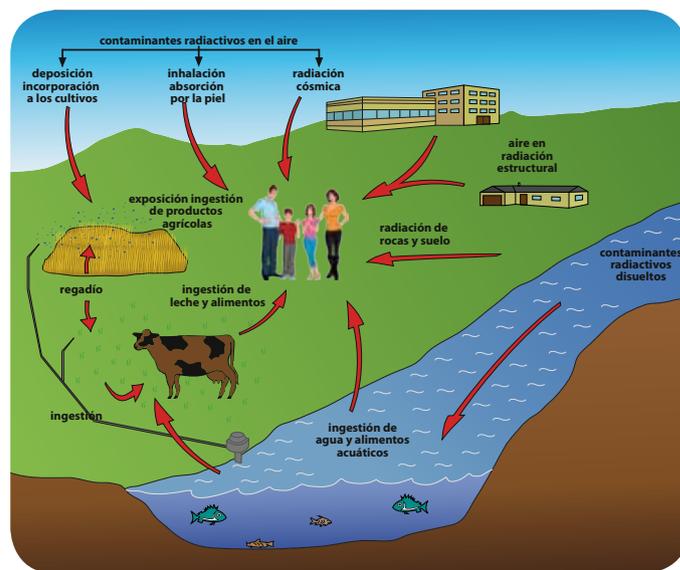
El desmantelamiento de un reactor de 1000-MW genera unos 10.000 m<sup>3</sup> de residuos de actividad muy baja, baja y media, pero esa cantidad se podrá reducir en gran medida con una gestión adecuada y el uso de robots para separar con más precisión las partes más radiactivas del resto (McCombie, 2010). Estos residuos pueden incluir grandes cantidades de materiales de construcción, junto con el equipo de la

vasija de acero del reactor, los lodos químicos, las barras de control y otros tipos de materiales que han estado muy próximos al combustible del reactor. La radiactividad de los residuos generados durante el desmantelamiento será, por regla general, insignificante al cabo de algunos decenios. No obstante, mientras llega ese momento estos residuos requerirán manipulación, almacenamiento y eliminación en condiciones de seguridad.

De los residuos de baja y media actividad de período largo producidos durante el desmantelamiento, solo el 7 % se ha eliminado hasta la fecha (gráfico 9). El 93% restante permanece almacenado y en espera de su disposición final en condiciones de seguridad. Muchos países han establecido organismos de gestión de los residuos radiactivos, pero todavía queda un largo camino por recorrer antes de que esos organismos estén dotados del equipo para manipular los volúmenes de residuos que probablemente surjan del desmantelamiento en el futuro (Comité sobre Gestión de Residuos Radiactivos 2006). Ya existen instalaciones para la disposición final de residuos de muy baja actividad en países que producen energía nuclear.

### Posibles vías de exposición a la radiactividad

Las actividades de desmantelamiento, como el corte del equipo, posibilitan la dispersión de polvo o gases radiactivos (Shimada *et al.*, 2010) (gráfico 10). Esas emisiones a la atmósfera representan riesgos fundamentalmente para los trabajadores, y deben ser contenidas o ventiladas en condiciones seguras utilizando filtros para captar el polvo. A veces se pueden cortar los componentes del reactor que están altamente contaminados bajo el agua para que los trabajadores queden



**Gráfico 10:** Vías de exposición a la radiación. Durante el desmantelamiento se pueden liberar al aire partículas de polvo radiactivo si ocurre algún percance. Fuente: Adaptación de Universidad del Estado de Arizona (2011)

protegidos y para prevenir las liberaciones radiactivas a la atmósfera. Los residuos almacenados en el lugar plantean riesgos potenciales si el equipo de almacenamiento sufre corrosión o disolución o en caso de incendio. También hay riesgos relacionados con los incendios o las inundaciones en los sitios donde se produce el desmantelamiento que liberan materiales radiactivos a la atmósfera, al suelo o a las aguas subterráneas (por ejemplo, de las zonas donde se procesan o almacenan los residuos). Si el agua penetra el lugar donde se almacenan los residuos, puede disolver los isótopos radiactivos y transportarlos al sistema hídrico. Ahora bien, la mayoría de los isótopos encontrados durante el desmantelamiento son relativamente insolubles o tiene un período de semidesintegración corto.

El potencial de liberaciones de radiactividad en gran escala fuera de la central nuclear durante el desmantelamiento es mucho menor que durante su funcionamiento. Sin embargo, se pueden producir liberaciones de baja radiactividad a corta distancia a través del aire o la superficie y las aguas subterráneas. Una planificación cuidadosa y el uso de barreras y vigilancia local y perimétrica pueden ayudar a proteger contra esas liberaciones.

Durante el desmantelamiento de una instalación que haya estado funcionando durante varios decenios pueden aparecer condiciones imprevistas. Es posible que haya residuos imprevistos de combustible gastado en el reactor, aunque esto ocurre con más frecuencia en los reactores de investigación y en otros reactores no utilizados para generar energía. Es posible que no se detecte la contaminación radiactiva debajo del emplazamiento del reactor que no haya migrado aún a las aguas subterráneas subyacentes hasta que se produzca la demolición de la instalación. Aunque este caso es más bien la excepción y no la regla, cuando la central nuclear Yankee del Estado de Connecticut (Estados Unidos) fue desmantelada (**gráfico 11**), los encargados del desmantelamiento descubrieron 33.000 m<sup>3</sup> de suelo contaminado radiactivamente que hubo que excavar y eliminar, lo que incrementó el costo de protección del emplazamiento (EPRI, 2008). El desmantelamiento en sí puede, mediante excavaciones u otras actividades, aumentar el riesgo de contaminación radiactiva que migra del suelo a la superficie o a las aguas subterráneas.

Durante las operaciones, partes de la central nuclear cercanas al núcleo del reactor se vuelven radiactivas. Para mantener las dosis de radiación recibidas por los trabajadores durante estas actividades en el nivel mínimo razonablemente posible, y por debajo de los límites reglamentarios, es menester realizar una amplia planificación de los trabajos, aplicar controles administrativos y físicos, utilizar trajes de protección y ejecutar un amplio programa de supervisión. Las dosis se pueden seguir reduciendo mediante el uso de robots y otras técnicas de control remoto que permiten evitar que los trabajadores se encuentren en lugares que presenten riesgos de radiactividad. Hasta la fecha, el grado de exposición durante el desmantelamiento ha estado por debajo de los límites reglamentarios.



**Gráfico 11:** La central nuclear Yankee de Connecticut fue desmantelada con éxito y el emplazamiento se ha convertido en un terreno rural. Las fotos muestran el progreso logrado con el tiempo desde el inicio (junio de 2003), durante las operaciones (enero de 2006) y después de terminado el desmantelamiento (septiembre de 2007). Foto: Connecticut Yankee Atomic Power Company

Las centrales nucleares dañadas como resultado de accidentes, como las de Chernobyl y Fukushima, deben ser manipuladas de manera muy diferente a las que llegan al final de su vida útil prevista. El material contaminado puede haber sido liberado a grandes distancias, en cuyo caso habrá que adoptar medidas de emergencia para prevenir nuevas liberaciones. Tan pronto se pone fin a las liberaciones radiactivas y se logra estabilizar la central averiada, se ha de extraer el combustible gastado del reactor, que podría estar dañado. Solo entonces podrán iniciarse los trabajos de desmantelamiento de la instalación y de descontaminación del emplazamiento y de las zonas aledañas.

Históricamente, los debates sobre el impacto ambiental de las actividades nucleares (incluido el desmantelamiento) se han centrado casi exclusivamente en los riesgos para la salud humana. En 1991, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR) emitió su opinión de que “la norma de control ambiental necesaria para proteger al ser humano, hasta el nivel considerado actualmente deseable, garantizará que no se ponga en riesgo a las demás especies”. La Comisión actualmente señala que esa opinión es demasiado limitada. En cambio, plantea que los riesgos que entrañan el desmantelamiento y otras actividades para la diversidad biológica y los ecosistemas no se pueden suponer a partir de los calculados para los seres humanos (Higley *et al.*, 2004).

Desde 2007 la CIPR ha estado elaborando niveles de referencia de las dosis de radiación para 12 animales y plantas, desde patos hasta venados y desde algas hasta lombrices de tierra (CIPR, 2007). Los niveles de referencia no se consideran límites, sino umbrales que se seguirán examinando (Andersson *et al.*, 2009). En lugar de eliminar todos los riesgos para los distintos organismos, el objetivo ha sido “prevenir o reducir la frecuencia de los efectos perniciosos de las radiaciones a un nivel en el que tendrían un impacto insignificante en el mantenimiento de la diversidad biológica, la conservación de las especies o la salud y el estado de los hábitats naturales” (CIPR, 2007).

## Lecciones aprendidas

El desmantelamiento no es una simple demolición. Se trata de la deconstrucción sistemática de una instalación nuclear compleja y contaminada constituida por un reactor con numerosos componentes de gran tamaño como la vasija del reactor, los generadores de vapor, las bombas y los tanques y los sistemas auxiliares que incluyen miles de metros de tuberías, junto con volúmenes aún mayores de materiales de construcción. Este tipo de deconstrucción demora mucho tiempo y requiere una gran financiación, planificación detallada y ejecución precisa en un grado análogo al que requiere la construcción de una instalación nuclear. También requiere conocimientos especializados y un control reglamentario parecidos.

Pese a que el desmantelamiento es todavía una industria en proceso de maduración en diferentes partes del mundo, su crecimiento es rápido.

Existen considerables diferencias geográficas en los grados de especialización. Algunos países cuentan con decenios de experiencia. Para otros, esas experiencias están todas en el futuro. Se han acumulado conocimientos importantes, pero las enseñanzas extraídas todavía no se reflejan en una práctica uniforme a nivel internacional. El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) ha establecido una red internacional de desmantelamiento para facilitar los intercambios de experiencia entre los países (OIEA, 2012b).

Asegurar que esas importantes enseñanzas se apliquen en todo el mundo a tiempo para el incremento previsto del desmantelamiento es de gran importancia. Los organismos internacionales y los propietarios y operadores de instalaciones nucleares, en particular, necesitan tener acceso a toda la información disponible de los contratistas. Compartir la información serviría para elaborar leyes internacionales y nacionales, incluyendo conocimientos especializados obtenidos cuando las cosas salen mal, que dan lugar a las enseñanzas más importantes. Es muy necesario lograr que las consideraciones de la confidencialidad comercial no se interpongan en el camino.

La industria nuclear tendrá que seguir innovando y desarrollando nuevos métodos y nuevas tecnologías que faciliten un proceso de desmantelamiento “más inteligente” en el sentido de que sea más seguro, rápido y menos costoso. Además, hacer frente al desafío del desmantelamiento requerirá políticas y medidas que apoyen la constante evolución de esas mejoras en el desmantelamiento. Las investigaciones podrían contribuir además a crear los fundamentos del conocimiento y establecer una base científica sólida para el desmantelamiento.

El próximo decenio probablemente será testigo de la rápida expansión de la actividad de desmantelamiento, que costará decenas de miles de millones de dólares. Los resultados de la industria de desmantelamiento serán fundamentales para el futuro de la generación de energía nuclear. Las dificultades son técnicas, pero también políticas, financieras, sociales y ambientales.

La experiencia demuestra que el desmantelamiento se puede llevar a cabo oportunamente, en condiciones de seguridad y de manera eficaz en función de los costos. Una de las enseñanzas adquiridas es que las centrales nucleares deberán diseñarse desde el principio con miras a su desmantelamiento seguro y eficaz, así como para un funcionamiento seguro, la prevención de accidentes y la protección de la población y el medio ambiente que podrían verse afectados. La primera generación de centrales nucleares se diseñó sin tener apenas en cuenta el desmantelamiento, lo que ha dado lugar a costos que podrían haberse evitado de otra manera. Hoy día muchos operadores y organismos reguladores incorporan en el diseño de las nuevas centrales nucleares características que ayudarán al desmantelamiento o lo simplificarán.



## Referencias

- AEN/OCDE (2010b). **Public Attitudes to Nuclear Power**. NEA No. 6859. <http://www.oecd-nea.org/ndd/reports/2010/nea6859-public-attitudes.pdf>
- AEN/OCDE (2010c). **Cost Estimation for Decommissioning: An International Overview of Cost Elements, Estimation Practices and Reporting Requirements**. NEA No. 6831. <http://www.oecd-nea.org/rwm/reports/2010/nea6831-cost-estimation-decommissioning.pdf>
- AEN/OCDE (2010d). **Towards Greater Harmonisation of Decommissioning Cost Estimates**. NEA No. 6867. <http://www.oecd-nea.org/rwm/reports/2010/nea6867-harmonisation.pdf>
- AEN/OCDE (2011). Forum on Stakeholder Confidence. <http://www.oecd-nea.org/rwm/fsc/>
- AEN/OCDE (Agencia para la Energía Nuclear de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico) (2010a). **Applying Decommissioning Experience to the Design and Operation of New Nuclear Power Plants**. NEA No. 6924. <http://www.oecd-nea.org/rwm/reports/2010/nea6924-applying-decommissioning.pdf>
- Andersson, P., Garnier-Laplace, J., Beresford, N.A., Copplestone, D., Howard, B.J., Howe, P., Oughton, D. y Whitehouse, P. (2009). Protection of the environment from ionising radiation in a regulatory context (PROTECT): proposed numerical benchmark values. *Journal of Environmental Radioactivity*, 100(12), 1100-1108
- Arizona State University (2011). Radiation Exposure Pathways. <http://holbert.faculty.asu.edu/eee460/pathways.jpg>
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Ministerio Federal de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear) (2011). Questions and answers about transforming our energy system. [http://www.bmu.de/english/transformation\\_of\\_the\\_energy\\_system/faq/doc/47589.php](http://www.bmu.de/english/transformation_of_the_energy_system/faq/doc/47589.php)
- Bylkin, B.K., Pereguda, V.I., Shaposhnikov, V.A. y Tikhonovskii, V.L. (2011). Composition and structure of simulation models for evaluating decommissioning costs for nuclear power plant units. *Atomic Energy*, 110(2), 77-81
- CIPR (Comisión Internacional de Protección Radiológica) (2007). **The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection**. Publicación 103 del CIPR. [http://www.icrp.org/docs/ICRP\\_Publication\\_103-Annals\\_of\\_the\\_ICRP\\_37\(2-4\)-Free\\_extract.pdf](http://www.icrp.org/docs/ICRP_Publication_103-Annals_of_the_ICRP_37(2-4)-Free_extract.pdf)
- Comité sobre Gestión de Desechos Radiactivos (2006). **Managing our Radioactive Waste Safely. CoRWM's recommendations to Government**. CoRWM Doc 700. Julio. [http://news.bbc.co.uk/1/hi/shared/bsp/hi/pdfs/310706\\_corwmfullreport.pdf](http://news.bbc.co.uk/1/hi/shared/bsp/hi/pdfs/310706_corwmfullreport.pdf)
- Deloitte (2006). Nuclear Decommissioning and Waste: A Global Overview of Strategies and the Implications for the Future. **Deloitte Energy & Resources**, mayo. <http://deloitte-ftp.fr/Lot-B-Energie-ressources/doc/NuclearDecommissioning.Mai06.pdf>
- Der Spiegel (2011). Response to Fukushima: Siemens to Exit Nuclear Energy Business, 19 de septiembre. <http://www.spiegel.de/international/business/0,1518,787020,00.html>
- DOE Departamento de Energía de los Estados Unidos (2011). DOE Awards Contract for Decontamination & Decommissioning Project for the East Tennessee Technology Park. Comunicado de prensa, 29 de abril. <http://www.em.doe.gov/pdfs/DOE%20Awards%20Contract%20for%20ETTP%20DD.pdf>
- DOE (Departamento de Energía de los Estados Unidos) (2009). **DOE EM Strategy and Experience for In Situ Decommissioning**. [http://www.em.doe.gov/EM20Pages/PDFs/ISD\\_Strategy\\_Sept\\_4\\_2009.pdf](http://www.em.doe.gov/EM20Pages/PDFs/ISD_Strategy_Sept_4_2009.pdf)
- DOE Departamento de Energía de los Estados Unidos (2012). Deactivation & Decommissioning (D&D) Program Map. <http://www.em.doe.gov/EM20Pages/DDMaps.aspx>
- Dounreay (2012). Non-radioactive waste. Waste is the product of decommissioning. Dounreay Site Restoration Ltd. <http://www.dounreay.com/waste/nonradioactive-waste>
- DTI Departamento de Comercio e Industria del Reino Unido (2002). **Managing the Nuclear Legacy – A strategy for action**. <http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/+http://www.dti.gov.uk/nuclearcleanup/ach/whitepaper.pdf>
- ENRESA (Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, S.A.) (2009). Paso a paso del desmantelamiento y clausura de la central nuclear Vandellós I. [http://www.enresa.es/actividades\\_y\\_proyectos/clausura\\_desmantelamiento\\_y\\_restauracion/desmantelamiento\\_vandellos\\_i](http://www.enresa.es/actividades_y_proyectos/clausura_desmantelamiento_y_restauracion/desmantelamiento_vandellos_i)
- EPA Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (2011b). Radiation Protection. <http://epa.gov/rpdweb00/index.html>
- EPA Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (2011a). Hanford – Washington. <http://yosemite.epa.gov/R10/CLEANUP.NSF/sites/Hanford>
- EPRI (Instituto de Investigaciones sobre Energía Eléctrica) (2008). **Power Reactor Decommissioning Experience**. Technical Report ID 1023456. Palo Alto, California (Estados Unidos de América). <http://my.epri.com>
- EWN (Energiewerke Nord GmbH) (1999). **EWN – The Greifswald Nuclear Power Plant Site**. <http://ec-cnd.net/eudecom/EWN-WasteManagement.pdf>
- GAO Oficina de Rendición de Cuentas del Gobierno de los Estados Unidos (2010). **Department of Energy: Actions Needed to Develop High-Quality Cost Estimates for Construction and Environmental Cleanup Projects. Report to the Subcommittee on Energy and Water Development, Committee on Appropriations, House of Representatives**. GAO-10-199. <http://www.gao.gov/new.items/d10199.pdf>
- Higley, K.A., Alexakhin, R.M. y McDonald, J.C. (2004). Dose limits for man do not adequately protect the ecosystem. *Radiation Protection Dosimetry*, 109(3), 257-264
- Huhne, C. (2011). Chris Huhne Speech to the Royal Society: Why the future of nuclear power will be different. Discurso del Secretario de Estado para la Energía y el Cambio Climático, 13 de octubre. [http://www.decc.gov.uk/en/content/cms/news/ch\\_sp\\_royal/ch\\_sp\\_royal.aspx](http://www.decc.gov.uk/en/content/cms/news/ch_sp_royal/ch_sp_royal.aspx)
- Kazimi, M.S. (2003). Thorium Fuel for Nuclear Energy. *American Scientist*, 91(5), 408. <http://www.americanscientist.org/issues/feature/2003/5/thorium-fuel-for-nuclear-energy/1>
- Kværner Moss Technology as (1996). **Disposal of Russian nuclear submarines**. Informe presentado ante el Ministerio de Relaciones Exteriores, Oslo, 19 de enero
- McCombie, C. (2010). Spent fuel challenges facing small and new nuclear programmes. Conferencia del OIEA sobre la gestión del combustible gastado, junio de 2010
- Mount, M.E., Sheaffer, M.K. y Abbott, D.T. (1994). Kara Sea radionuclide inventory from naval reactor disposal. *Journal of Environmental Radioactivity*, 25(2), 11-19
- NDA Autoridad para el desmantelamiento Nuclear del Reino Unido (2011). The Nuclear Legacy. <http://www.nda.gov.uk/aboutus/the-nuclear-legacy.cfm>
- Nilsen, T., Kudrik, I. y Nikitin, A. (1997). The Russian Northern Fleet: Decommissioning of nuclear submarines. Bellona Report No. 296
- NRC (2009). **Backgrounder on the Three Mile Island Accident** (última revisión/actualización de la página: 15 de marzo de 2011). <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/3mile-isle.html>
- NRC (2011). Low-Level Waste Disposal. <http://www.nrc.gov/waste/llw-disposal.html>
- NRC (Comisión Reguladora Nuclear de los Estados Unidos) (2001). NRC Seeks Early Public Comment on a Proposal to Permit Entombment for Reactor Decommissioning. NRC News No. 01-121, 11 de octubre. <http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML0201/ML020150438.pdf>
- O'Sullivan, O., Nokhamzon, J.G. y Cantrel, E. (2010). Decontamination and dismantling of radioactive concrete structures. NEA News No. 28.2. <http://www.oecd-nea.org/nea-news/2010/28-2/NEA-News-28-2-8-updates.pdf>
- OIEA (2004a). **Status of the decommissioning of nuclear facilities around the world**. [http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1201\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1201_web.pdf)
- OIEA (2004b). **Transition from Operation to Decommissioning of Nuclear Installations**. [http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TRS420\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TRS420_web.pdf)
- OIEA (2006). **Clausura de instalaciones que utilizan material radiactivo**. Requisitos de seguridad Nº WS-R-5. [http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1274s\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1274s_web.pdf)
- OIEA (2007). **Lessons Learned from the Decommissioning of Nuclear Facilities and the Safe Termination of Nuclear Activities. Proceedings of an International Conference held in Athens, 11-15 December 2006**. Serie

Actas del OIEA. [http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1299\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1299_web.pdf)

OIEA (2008). *Long Term Preservation of Information for Decommissioning Projects*. Serie Informes técnicos N.º 467. [http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/trs467\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/trs467_web.pdf)

OIEA (2009a). *An overview of stakeholder involvement in decommissioning*. Serie Energía nuclear del OIEA N.º NW-T-2.5. [http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1341\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1341_web.pdf)

OIEA (2009b). *Classification of Radioactive Waste*. General Safety Guide No. GSC-1. [http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1419\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1419_web.pdf)

OIEA (2010). *Nuclear Power Reactors in the World*. Serie Datos de referencia N.º 2. [http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/iaea-rds-2-30\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/iaea-rds-2-30_web.pdf)

OIEA (2011a). *Redevelopment and Reuse of Nuclear Facilities and Sites: Case Histories and Lessons Learned*. Serie Energía nuclear del OIEA N.º NW-T-2.2.

OIEA (2011b). *Design Lessons Drawn from the Decommissioning of Nuclear Facilities*. IAEA TECDOC 1657. [http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE\\_1657\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE_1657_web.pdf)

OIEA (2011c). International Conventions & Agreements. <http://www.iaea.org/Publications/Documents/Conventions/jointconv.html>

OIEA (2011d). The Net-Enabled Radioactive Waste Management Database (NEWMDB). <http://newmdb.iaea.org/datacentre-compare.aspx>

OIEA (2012a). Power Reactor Information System. <http://www.iaea.org/programmes/a2/> (fecha de consulta: 20 de enero de 2012)

OIEA (2012b). Waste Technology Section. International Decommissioning Network (IDN). <http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/WTS-Networks/IDN/overview.html>

OIEA (Organismo Internacional de Energía Atómica) (1999). *Radioactivity in the Arctic Seas. Report for the International Arctic Seas Assessment Project (IASAP)*. IAEA TECDOC 1075. [http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te\\_1075\\_prn.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1075_prn.pdf)

Okyar, H.B. (2011). International survey of government decisions and recommendations following Fukushima. NEA News No. 29.2. <http://www.oecd-nea.org/nea-news/2011/29-2/nea-news-29-2-govt-decisions-e.pdf>

SEPA (Organismo Escocés de Protección del Medio Ambiente) (2011). Remediation of Radioactively Contaminated Sites. [www.sepa.org.uk/about\\_us/sepa\\_board/agendas\\_and\\_papers/idoc.ashx?docid=3a64cb7b-e61c-4741-b2aa-049a445b8a17&version=-1](http://www.sepa.org.uk/about_us/sepa_board/agendas_and_papers/idoc.ashx?docid=3a64cb7b-e61c-4741-b2aa-049a445b8a17&version=-1)

Shimada, T., Ohshima, S. y Sukegawa, T. (2010). Development of Safety Assessment Code for Decommissioning of Nuclear Facilities (DecDose). *Journal of Power and Energy Systems*, 4(1), 40-53

SwissInfo (2011). Decommissioning nuclear plants comes at a price. 6 de abril. [http://www.swissinfo.ch/eng/politics/Decommissioning\\_nuclear\\_plants\\_comes\\_at\\_a\\_price.html?cid=29936460](http://www.swissinfo.ch/eng/politics/Decommissioning_nuclear_plants_comes_at_a_price.html?cid=29936460)

Szilagyi, A. (2012). Andrew Szilagyi, Director, Oficina de Desactivación y Desmantelamiento/ Ingeniería de Plantas, Departamento de Energía de los Estados Unidos, comunicación personal (26 de enero)

Tetra Tech (2012). Rocky Flats Decontamination and Demolition Project, CO. <http://www.ttcci.com/ttcci/Department-of-Energy/rocky-flats-decontamination-and-demolition-project-co.html>

Tribunal de cuentas Cour des comptes (2005). *Le démantèlement des installations nucléaires et la gestion des déchets radioactifs : Rapport au Président de la République suivi des réponses des administrations et des organismes intéressés*. París (Francia). <http://www.ccomptes.fr/fr/CC/documents/RPT/RapportRadioactifsnuclaire.pdf>

Tribunal de cuentas Cour des comptes (2012). *Les coûts de la filière électronucléaire. Rapport public thématique*. París (Francia). [http://www.ccomptes.fr/fr/CC/documents/RPT/Rapport\\_thematique\\_filiere\\_electronuclaire.pdf](http://www.ccomptes.fr/fr/CC/documents/RPT/Rapport_thematique_filiere_electronuclaire.pdf)

UE (2006b). Guide to the Commission Recommendation on the management of financial resources for the decommissioning of nuclear installations, spent fuel and radioactive waste (2006/851/Euratom). [http://ec.europa.eu/energy/nuclear/decommissioning/doc/2010\\_guide\\_decommissioning.pdf](http://ec.europa.eu/energy/nuclear/decommissioning/doc/2010_guide_decommissioning.pdf)

UE (2011). Directiva 2011/70/Euratom del Consejo de 19 de julio de 2011 por la que se establece un marco comunitario para la gestión responsable y segura del combustible nuclear gastado y de los residuos radiactivos. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:199:0048:0056:ES:PDF>

UE (Unión Europea) (2006a). Recomendación de la Comisión de 24 de octubre de 2006 sobre la administración de los recursos financieros destinados a la clausura de instalaciones nucleares y a la gestión del combustible gastado y los residuos radiactivos (2006/851/Euratom). <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:330:0031:0035:ES:PDF>

WNA (2011b). Nuclear power plants under construction. <http://world-nuclear.org/NuclearDatabase/rdresults.aspx?id=27569&ExampleId=62>

WNA (2011c). Nuclear Power in Germany. <http://world-nuclear.org/info/inf43.html>

WNA (2011d). Nuclear-Powered Ships. <http://www.world-nuclear.org/info/inf34.html>

WNA (2011e). Waste Management. <http://www.world-nuclear.org/education/wast.htm>

WNA (2011f). Safe Decommissioning of Civil Nuclear Industry Sites. [http://world-nuclear.org/reference/position\\_statements/decommissioning.html](http://world-nuclear.org/reference/position_statements/decommissioning.html)

WNA (Asociación Nuclear Mundial) (2011a). Decommissioning Nuclear Facilities. <http://www.world-nuclear.org/info/inf19.html>

WNN (2011b). Fukushima units enter decommissioning phase. 21 de diciembre. [http://www.world-nuclear-news.org/WR-Fukushima\\_units\\_enter\\_decommissioning\\_phase-2112114.html](http://www.world-nuclear-news.org/WR-Fukushima_units_enter_decommissioning_phase-2112114.html)

WNN (2011c). Chubu agrees to Hamaoka shut down. 9 de mayo. [http://www.world-nuclear-news.org/RS-Chubu\\_agrees\\_to\\_Hamaoka\\_shut\\_down-0905115.html](http://www.world-nuclear-news.org/RS-Chubu_agrees_to_Hamaoka_shut_down-0905115.html)

WNN (2011d). US nuclear regulator OKs Vermont Yankee extension. 11 de marzo. <http://www.world-nuclear-news.org/newsarticle.aspx?id=29618>

WNN (2012a). Japanese reactors await restart approvals. 16 de enero. [http://www.world-nuclear-news.org/RS-Japanese\\_reactors\\_await\\_restart\\_approvals-1601124.html](http://www.world-nuclear-news.org/RS-Japanese_reactors_await_restart_approvals-1601124.html)

WNN (2012b). Vermont Yankee wins right to keep generating. 20 de enero. [http://www.world-nuclear-news.org/RS\\_Vermont\\_Yankee\\_wins\\_right\\_to\\_keep\\_generating\\_200112a.html](http://www.world-nuclear-news.org/RS_Vermont_Yankee_wins_right_to_keep_generating_200112a.html)

WNN (World Nuclear News) (2011a). Decommissioning campaign complete at UK reactor. 16 de junio. [http://www.world-nuclear-news.org/WR-Decommissioning\\_campaign\\_complete\\_at\\_UK\\_reactor-1606117.html](http://www.world-nuclear-news.org/WR-Decommissioning_campaign_complete_at_UK_reactor-1606117.html)

Wood, J. (2007). *Nuclear Power*. The Institution of Engineering and Technology (IET). Power and Energy Series No. 52.

Wuppertal (ed.) (2007). *Comparison among different decommissioning funds methodologies for nuclear installations: Country Report France. On behalf of the European Commission Directorate-General Energy and Transport*. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH im Wissenschaftszentrum Nordrhein-Westfalen (Instituto Wuppertal para el Clima, el Medio Ambiente y la Energía, Centro Científico de Renania del Norte-Westfalia). [http://www.wupperinst.org/uploads/tx\\_wiprojekt/EUDecommFunds\\_FR.pdf](http://www.wupperinst.org/uploads/tx_wiprojekt/EUDecommFunds_FR.pdf)

Yanukovich (2011). President visits Chernobyl Nuclear Power Plant. Sitio web oficial de Viktor Yanukovich, Presidente de Ucrania. <http://www.president.gov.ua/en/news/19883.html>





# Indicadores ambientales principales

## Seguimiento del progreso hacia la sostenibilidad ambiental

Un primer paso importante para sensibilizar al público y atender temas que suscitan interés es medir los cambios en el medio ambiente mundial y hacer un seguimiento de estos cambios. Aunque, como dijo Einstein, “no todo lo que puede ser contado cuenta y no todo lo que cuenta puede ser contado”, hoy en día a menudo se necesita medir y monitorear antes de poder determinar y gestionar los problemas. No se habría reconocido que el cambio climático es un problema importante si no se hubiera contado con series cronológicas de datos confiables sobre la temperatura del aire y el deshielo de los glaciares. Muchas personas argumentan que los ecosistemas y la diversidad biológica no se están gestionando adecuadamente porque están subvalorados y, por lo tanto, no se tienen debidamente en cuenta en los sistemas económicos y los mecanismos de contabilidad.

A partir de datos de medición detallados se pueden obtener indicadores fáciles de comprender, los cuales se pueden presentar en gráficos claros. Estos indicadores y gráficos ayudan a explicar los fenómenos que observamos a nuestro alrededor y, en última instancia, a definir las políticas y acciones con las que reaccionar ante las tendencias desfavorables. Un buen mapa o gráfico “vale más que mil palabras”. Al mismo tiempo, los indicadores no son nada más que eso: ilustran las tendencias relativas a fenómenos medidos a lo largo del tiempo.

En este capítulo se presentan las principales tendencias ambientales mundiales utilizando un pequeño número de indicadores principales. Se llama la atención de los lectores sobre las principales cuestiones que suscitan interés con respecto al aire, el agua, la tierra y la diversidad biológica y, en ese sentido, se ayuda a comprender mejor el estado actual del medio ambiente. Hacer un seguimiento de estas tendencias cada año es fundamental para asegurarse de que la opinión pública mundial está bien informada, para crear conciencia y respaldar los procesos de toma de decisiones a nivel nacional e internacional. A menudo se necesitan estudios más exhaustivos para conocer mejor la dinámica y la complejidad de los temas ambientales y sus causas, a fin de poder elaborar estrategias de gestión eficaces y medidas normativas concretas.

En la medida de lo posible, los indicadores que figuran en este capítulo coinciden con los que se han determinado en el proceso de evaluación GEO. El quinto informe Perspectivas del Medio Ambiente Mundial (GEO 5) es una evaluación integrada y exhaustiva del medio ambiente en el mundo. En él no solo se proporciona un examen del estado del medio

Trabajadores introduciendo en aguas de Panamá un dispositivo de monitoreo ambiental a distancia del Instituto Oceanográfico Woods Hole. Foto: John F. Williams, US Navy

Los indicadores son medidas que pueden utilizarse para ilustrar y comunicar fenómenos complejos de manera sencilla, por ejemplo las tendencias y los progresos en un lapso de tiempo.

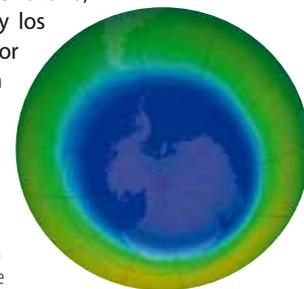
ambiente, sino que se analizan políticas viables y se proponen opciones y mecanismos para conseguir un mundo más sostenible. También se destacan los indicadores que forman parte de un conjunto para medir los avances hacia el logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) según se definen en la Declaración del Milenio de las Naciones Unidas, una iniciativa mundial para promover el desarrollo sostenible.

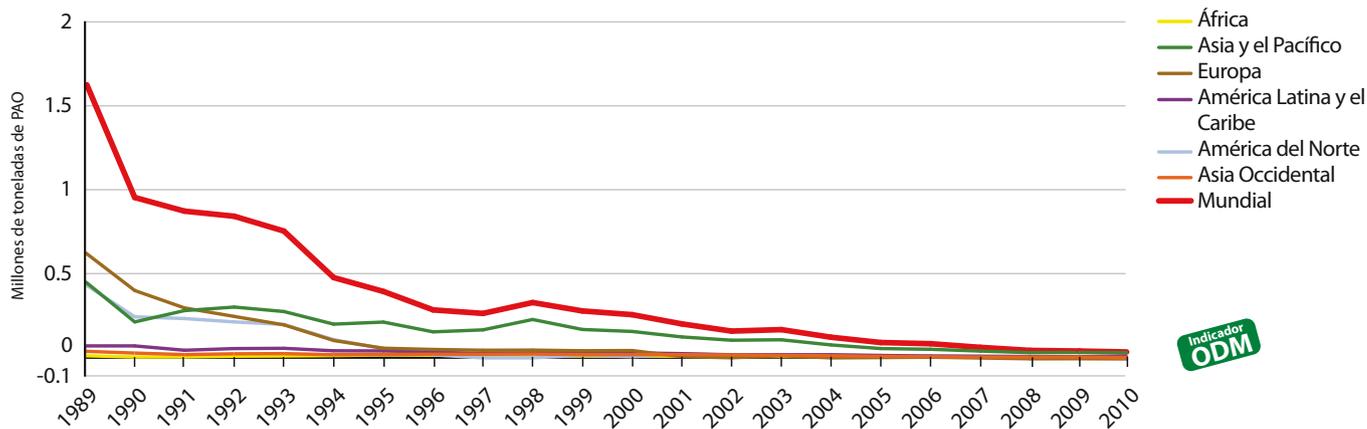
El conjunto de indicadores principales de este capítulo constituye una mirada instantánea a los problemas ambientales más acuciantes a nivel mundial y regional, en la medida en que se dispone de datos al respecto. En algunos casos, no se ha dispuesto de datos suficientes o estos eran demasiado incompletos para ilustrar adecuadamente a nivel global las tendencias numéricas. Entre los ejemplos más destacados cabe mencionar las tendencias relacionadas con el uso de productos químicos, recogida de desechos, calidad del agua dulce, contaminación del aire en las ciudades, pérdida de diversidad biológica y degradación de la tierra.

### Agotamiento de la capa de ozono

El Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono ha sido un instrumento eficaz para proteger la capa de ozono estratosférico. Este proporciona un marco internacional para la eliminación de las sustancias que agotan el ozono, entre otras los clorofluorocarbonos (CFC) y los hidroclorofluorocarbonos (HCFC). Alrededor del 98% de todas las sustancias que agotan el ozono y han sido controladas en virtud del Protocolo, se han eliminado (**gráfico 1**).

El agujero de ozono sobre la Antártida en septiembre de 2011. El mayor agujero de ozono de la Antártida se midió en septiembre de 2006. No se prevé que la capa de ozono de la Antártida se recupere hasta después de 2050. Foto: NOAA





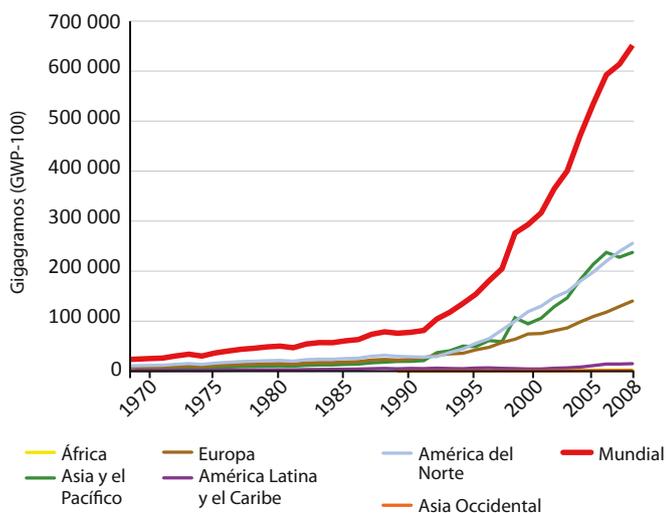
**Gráfico 1:** Consumo de sustancias que agotan la capa de ozono expresado en millones de toneladas de potencial de agotamiento del ozono (PAO), 1989-2010. A pesar de que siguen habiendo desafíos, el consumo de sustancias que agotan la capa de ozono ha disminuido enormemente gracias al Protocolo de Montreal del Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono. Fuente: Portal de Datos GEO, recopilado a partir de PNUMA (2011a)

Como consecuencia de ello, se prevé que la capa de ozono vuelva a los niveles que tenía antes de 1980 de aquí a mediados de este siglo aproximadamente. No obstante, es posible que los productos sustitutos que se utilizan también repercutan en el cambio climático. Los hidrofluorocarbonos (HFC) son sustancias alternativas excelentes que pueden usarse en frigoríficos y equipos de aire acondicionado industriales.

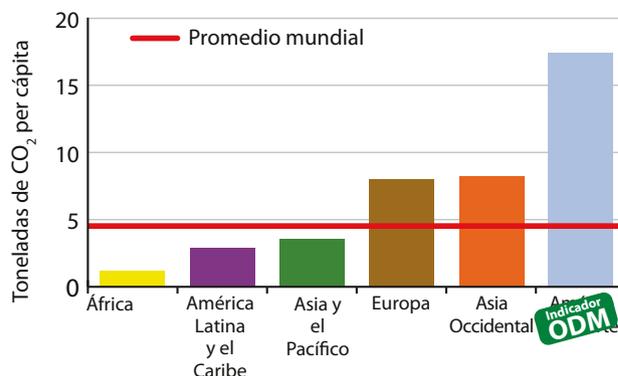
Si bien no agotan el ozono estratosférico, los HFC y otros gases de efecto invernadero son muy potentes, con un elevado potencial de calentamiento atmosférico. Las emisiones de HFC en la actualidad

están creciendo a nivel mundial a un ritmo del 8% anual (**gráfico 2**). El uso de HFC podría acabar con todos los beneficios climáticos obtenidos gracias a la eliminación de los CFC y de otras sustancias que agotan el ozono (PNUMA, 2011b).

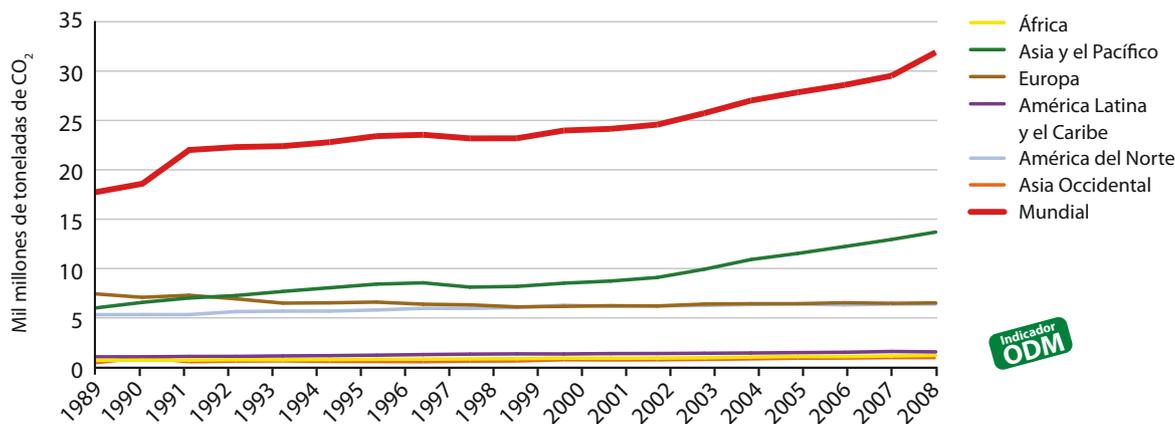
A principios de 2011, se registraron pérdidas sin precedentes de ozono sobre el Ártico (Manney *et al.*, 2011). Los científicos atribuyeron este fenómeno a condiciones de frío muy poco comunes durante un período prolongado que contribuyeron a procesos que agotan la capa de ozono estratosférico.



**Gráfico 2:** Consumo de HFC en gigagramos, 1968-2008. Los productos que sustituyen a las sustancias que agotan el ozono, como los HFC, pueden tener efectos importantes en el cambio climático. Fuente: CCI/PBL (2010) y PNUMA, (2011b)



**Gráfico 3:** Emisiones de dióxido de carbono per cápita, 2008. Las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita están muy por encima de la media mundial en Europa, Asia Occidental y, especialmente, en América del Norte. Fuente: Portal de Datos GEO, recopilado a partir de Boden *et al.*, (2011)



**Gráfico 4:** Emisiones de dióxido de carbono procedentes de combustibles fósiles y de la producción de cemento, expresadas en miles de millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, 1989-2008. Las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> han aumentado en los últimos años, principalmente en la región de Asia y el Pacífico. Fuente: Portal de Datos GEO, recopilado a partir de Boden et al., (2011)

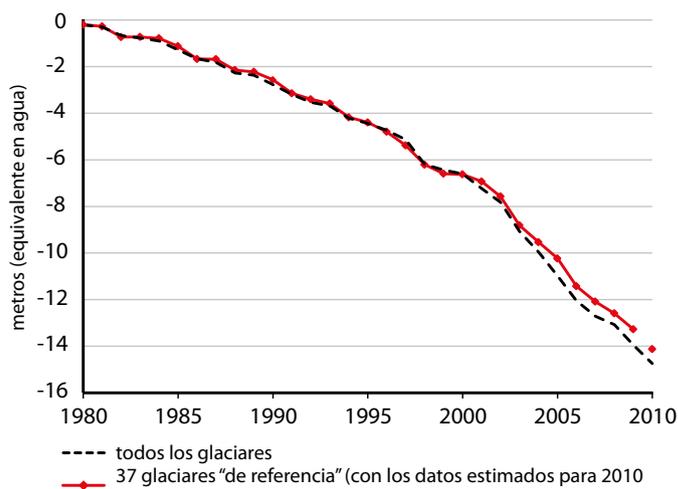
## Cambio climático

Las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) procedentes de la quema de combustibles fósiles contribuyen en gran medida al cambio climático. Las emisiones per cápita de CO<sub>2</sub> más elevadas siguen produciéndose en América del Norte, seguida de Asia Occidental y Europa; las emisiones menos elevadas en África (**gráfico 3**). Las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> siguen aumentando, y se situaron en 32.100 millones de toneladas métricas en 2008, un aumento del 2,4% con respecto al año precedente y del 42% en comparación con las cifras de 1990 (**gráfico 4**). El nivel de emisiones de CO<sub>2</sub> es muy diferente de una región y un país a otro. En el último decenio, el mayor aumento se ha registrado en la región de Asia y el Pacífico. Con el aumento de las emisiones, las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera han pasado de un estimado de 280 ppm en la época preindustrial, a 315 ppm en 1958, a 390 ppm en 2011, lo que ha ocasionado el calentamiento del planeta (Tans y Keeling, 2011). A pesar de la variabilidad espacial y temporal a corto plazo, se puede apreciar una tendencia de calentamiento atmosférico a largo plazo. El decenio pasado fue el más cálido registrado desde 1880 en cuanto a las temperaturas medias mundiales. Los diez años más cálidos que se han registrado han ocurrido a partir de 1998 (PNUMA, 2011c).

Una de las señales más claras del calentamiento atmosférico es el derretimiento de los glaciares en varias partes del mundo (**gráfico 5**). El rápido, y posiblemente acelerado, derretimiento y retroceso de los glaciares, tiene graves consecuencias para el suministro de agua y energía, las fluctuaciones del nivel del mar, los patrones de vegetación, los medios de vida económicos y la ocurrencia de desastres naturales. La drástica contracción de los glaciares podría provocar la desglaciación de grandes extensiones de varias cadenas montañosas antes de que acabe este siglo (Servicio Mundial de Vigilancia de Glaciares, 2008).

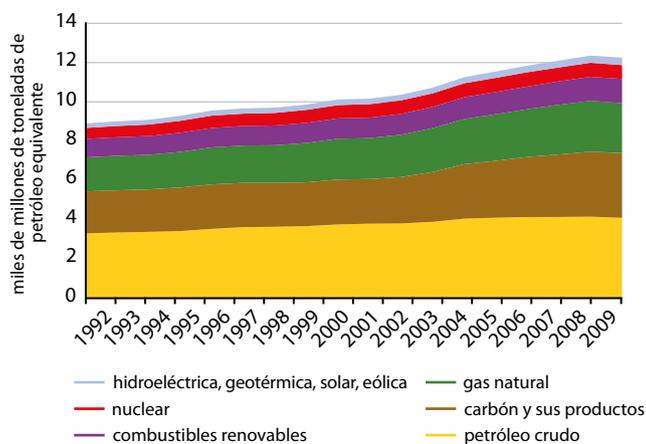
Los combustibles fósiles como el petróleo, el carbón y el gas seguirán dominando el suministro mundial de energía (**gráfico 6**). A pesar de

que se ha conseguido un aprovechamiento más eficaz de la energía y un mayor uso de fuentes de energía renovables, la utilización total de combustibles fósiles representa en la actualidad cerca del 80% del suministro de energía primaria. Sin embargo, la inversión mundial en energías renovables está creciendo muy deprisa. En 2010 se situó en 211.000 millones de dólares de los Estados Unidos, es decir más de cinco veces la cantidad registrada en 2004 (**gráfico 7**). A pesar de que el porcentaje global de energías renovables actualmente representa poco más del 13%, el aumento en el uso de energía solar y eólica, así como de biocombustibles, en los últimos años ha sido espectacular (**gráfico 8**).

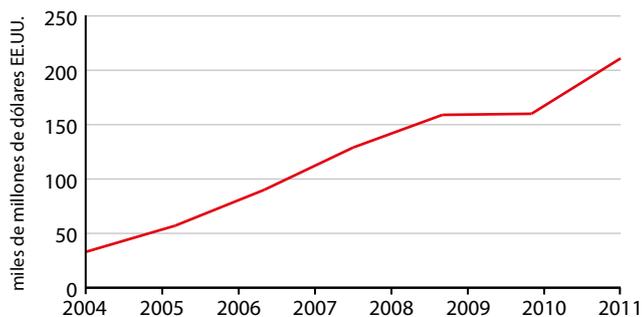


**Gráfico 5:** Balance de masa de los glaciares de montaña. Los glaciares siguen derretiéndose a un ritmo sin precedentes, produciendo así un impacto cada vez más grave sobre el medio ambiente, los recursos naturales y el bienestar humano. Fuente: (Servicio mundial de vigilancia de glaciares) (2011)

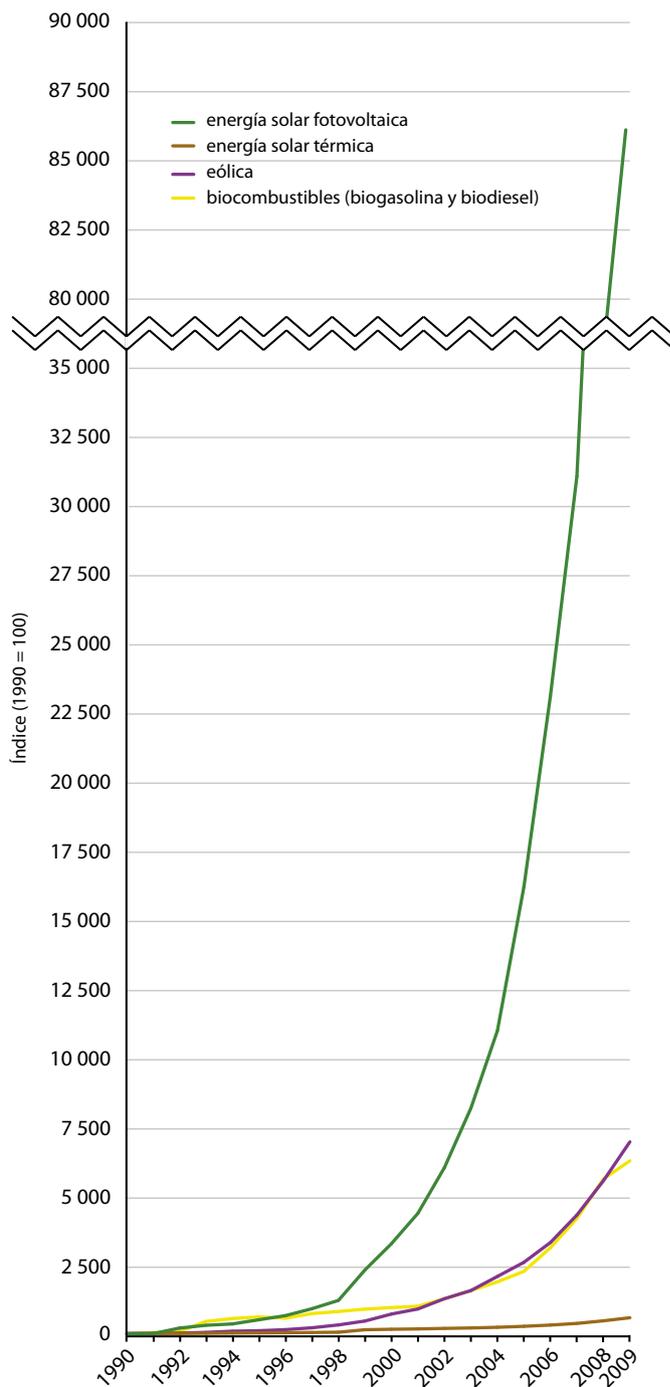
El comercio de carbono es un instrumento relativamente nuevo, cuyo uso ha crecido rápidamente (**gráfico 9**). Después de cinco años consecutivos de fuerte crecimiento, el mercado del carbono se estabilizó durante tres años, entre 2008 y 2010, en un valor máximo de 140.000 millones de dólares de los Estados Unidos aproximadamente, lo que equivale a alrededor del 0,2% del PIB mundial. El incremento con respecto a las tendencias del mercado mundial desde 2005, año en el que el Protocolo de Kyoto entró en vigor, se debe principalmente a un aumento del volumen de transacciones. Los precios del carbono también se han visto afectados por la reciente recesión económica. En menos de un año, los precios se redujeron de 30 euros a 8 euros en el mercado europeo. Además, debido a la falta de claridad acerca de las regulaciones en el régimen posterior a Kyoto después de 2012, hoy en día algunos de los mecanismos aplicados sufren grandes pérdidas de valor. De la cantidad total de derechos de emisión, el sistema de compraventa de emisiones de la Unión Europea, que se puso en marcha en 2005, representó entre el 84% y el 97% del valor del mercado del carbono mundial en 2010 (Banco Mundial, 2011).



**Gráfico 6:** Suministro de energía primaria, 2009. El uso de combustibles fósiles ha aumentado de forma constante en los dos últimos decenios, aunque ha habido una estabilización en los últimos años. Los recursos renovables representan una parte modesta pero en alza. Fuente: AIE (2011a) y REN21 (2011)

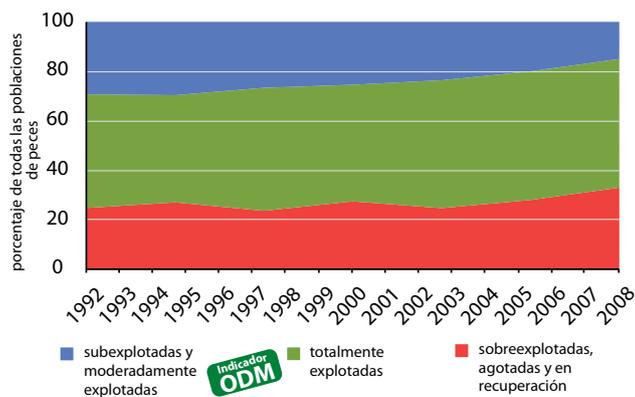


**Gráfico 7:** Inversión en energías renovables, 2004-2011. La inversión mundial en energías renovables ha crecido rápidamente en los últimos años. En 2011 se situó en 211.000 millones de dólares de los Estados Unidos. Fuente: PNUMA (2011d)

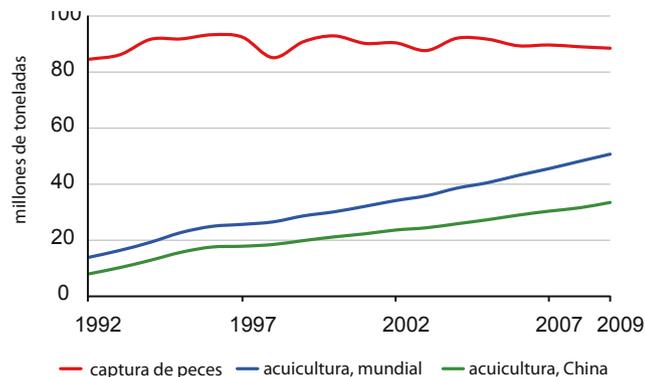


**Gráfico 8:** Índice de suministro de energía renovable, 1990-2009 (1990 = 100). El uso de energía solar va en aumento, incluso se ha disparado, seguido del de energía eólica y biocombustibles. Fuente: Portal de Datos GEO, recopilado a partir de AIE (2011b)

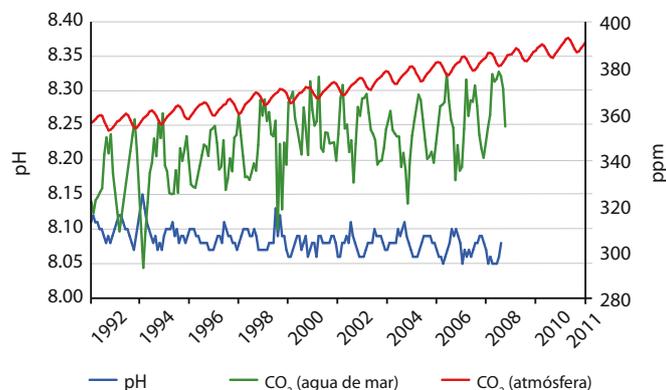




**Gráfico 11:** Explotación de las poblaciones de peces. El porcentaje de poblaciones de peces explotadas plenamente, sobreexplotadas, agotadas o en recuperación se ha incrementado hasta el 85%. Fuente: Portal de Datos GEO, recopilado a partir de FAO (2011a)



**Gráfico 12:** Captura de peces y producción acuícola. Mientras que la pesca mundial se ha estabilizado en 90 millones de toneladas por año, aproximadamente, la acuicultura ha aumentado significativamente, sobre todo en China y otras partes de Asia. Fuente: FAO (2011b)



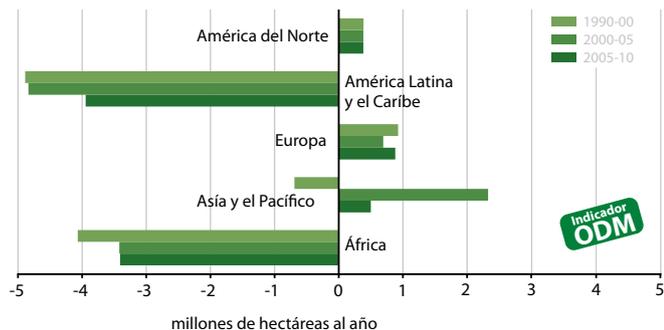
**Gráfico 13:** Concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub> y acidificación de los océanos, indicado por un aumento de la presión parcial de CO<sub>2</sub> y un descenso de pH del agua de superficie media global. Fuente: Caldeira y Wickett (2003), Feely et al., (2009), Tans y Keeling (2011)

los océanos puede tener consecuencias importantes para los organismos marinos, y llegar a alterar la composición de las especies, perturbar las cadenas alimentarias y los ecosistemas marinos y, posiblemente, ocasionar daños a la pesca, el turismo y otras actividades humanas relacionadas con el mar. Suscitando especial preocupación los corales, los crustáceos y el fitoplancton formador del esqueleto. Dadas estas tendencias, la sostenibilidad de las poblaciones mundiales de peces y la diversidad biológica marina podrían tener los días contados, y cada vez se vuelve más urgente la necesidad de un acuerdo internacional para mejorar la gestión del medio ambiente marino (PNUMA, 2010).

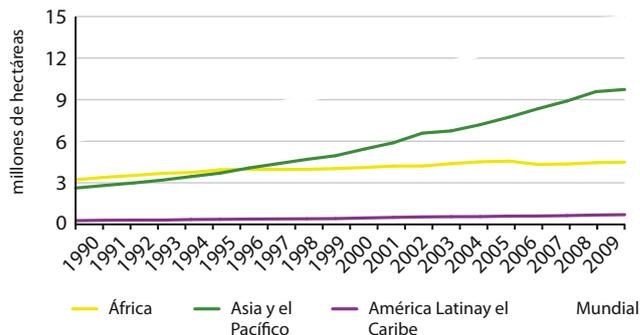
Aunque la tasa de deforestación está decreciendo, grandes superficies de bosques siguen disminuyendo, sobre todo en América Latina y África (**gráfico 14**). Al mismo tiempo, la superficie total de plantaciones forestales ha ido aumentando constantemente, y gran parte de esta superficie se ha dedicado al cultivo de palma de aceite para la producción de alimentos y de cultivos para biocombustibles (**gráfico 15**).

La superficie total de bosques gestionados en el ámbito de los dos órganos de certificación forestal principales, el Consejo de Manejo Forestal (FSC) y el Programa de Reconocimiento de Sistemas de Certificación Forestal (PEFC), ha aumentado en un 20% anual, cifra asombrosa, desde 2002 (**gráfico 16**). Sin embargo, la superficie total en el marco de cualquiera de estos sistemas es todavía modesta y, en la actualidad, representa alrededor del 10% de todos los bosques, principalmente en Europa y América del Norte. Del mismo modo, la extensión de las zonas protegidas ha ido aumentando gradualmente en todas las regiones del mundo (**gráfico 17**). No obstante, por lo que se refiere a las zonas marinas protegidas el alcance sigue siendo bajo y solo está protegido el 7% de las aguas costeras y el 1,4% de los océanos. Se han fijado nuevas metas mundiales en relación con la extensión de las zonas protegidas. Los gobiernos acordaron en 2010 proteger el 17% de las aguas terrestres y continentales, y el 10% de las zonas costeras y marinas, de aquí a 2020 (CDB, 2010).

La pérdida de diversidad biológica sigue suscitando gran preocupación, como lo indica el Índice de la Lista Roja de Especies Amenazadas (**gráfico 18**). La Lista Roja mide el riesgo de extinción de especies según siete categorías, que van desde las especies que no están amenazadas (Preocupación Menor) hasta las especies que ya están extintas. Un valor de 1,0 indica que no se prevé que la especie en cuestión llegue a extinguirse en un futuro próximo, mientras que 0,0 significa que una especie ya se ha extinguido. Un pequeño cambio en el nivel de amenaza puede tener consecuencias importantes en la desaparición de una determinada especie. En el caso de grupos de especies y años en los que se dispone de datos (es decir, aves, mamíferos y anfibios desde 1992), se observa una tendencia a la baja. Casi una quinta parte de las especies de vertebrados están clasificadas como especies amenazadas, y según las estimaciones esto abarca desde un 13% de aves a un 41% de anfibios. El mayor número de vertebrados amenazados se encuentra en las regiones tropicales (Hoffman et al., 2010).



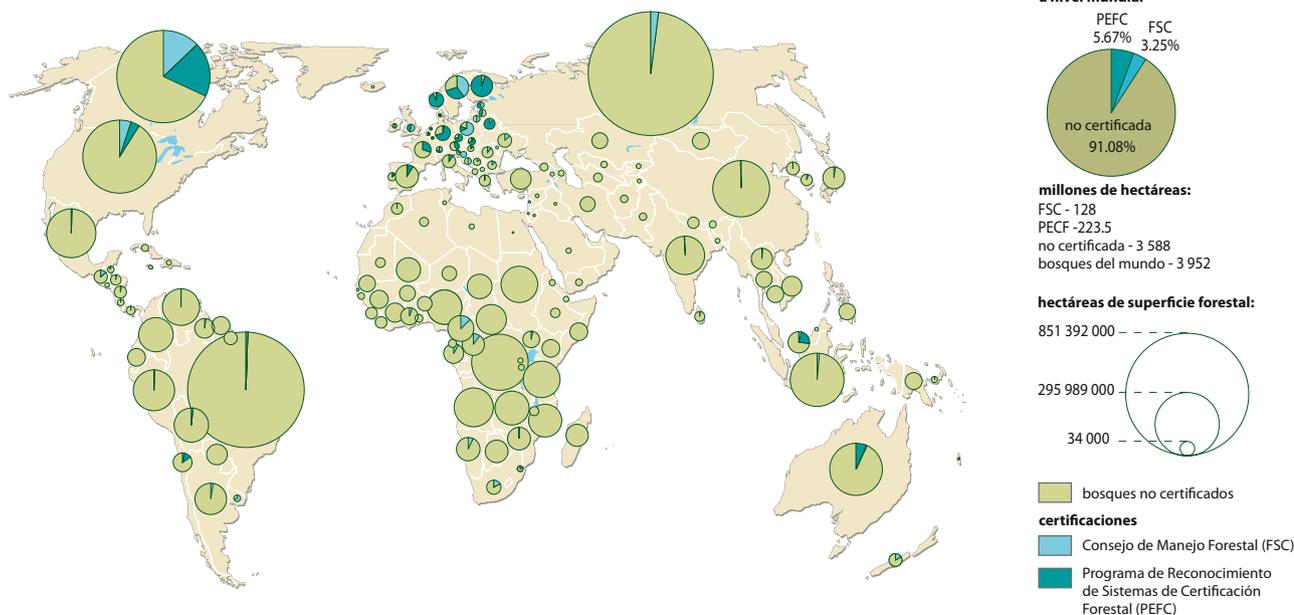
**Gráfico 14:** Cambio anual de la cubierta forestal. La tasa de deforestación está disminuyendo y, en algunas regiones, las superficies forestales están aumentando. Con todo, grandes superficies de bosques se están reduciendo, particularmente en América Latina y África. Fuente: Portal de Datos GEO, recopilado a partir de FAO (2010)



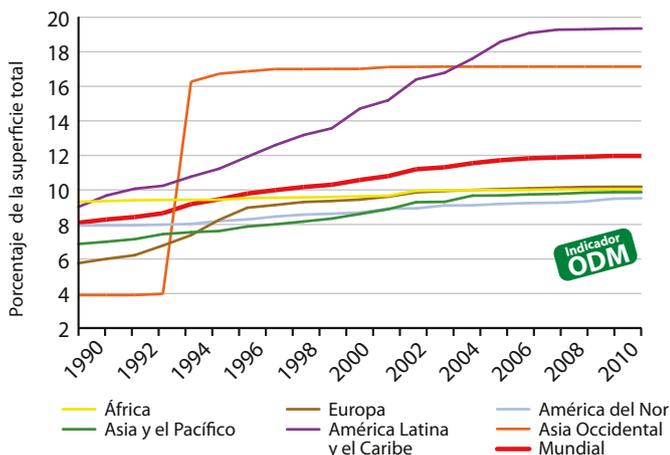
**Gráfico 15:** Superficie cosechada con palma de aceite. El aumento de la demanda mundial de alimentos y combustibles está impulsando la tala de bosques en los trópicos. Gran parte de esta pérdida de bosques se debe a la rápida expansión de los monocultivos de palma de aceite. Fuente: Portal de Datos GEO, recopilado a partir de FAO (2011c)

La reglamentación y el reporte acerca del comercio internacional de especies en peligro de extinción, cobra cada vez más importancia, según lo registrado por la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES). Este hecho se debe en parte al número cada vez mayor de Partes en la Convención y al número de especies incluidas en los Apéndices. La CITES tiene por finalidad velar por que el comercio internacional de especies animales y vegetales incluidos en la Convención sea legal, sostenible y rastreable. Hay diversos tipos de comercio, que abarca desde animales y plantas vivos a una amplia gama de productos de vida silvestre

derivados de los mismos, como productos alimentarios, artículos de cuero de animales exóticos, instrumentos musicales fabricados con madera, madera, artículos de recuerdo para turistas y medicinas. Se calcula que, cada año, el comercio internacional de especies silvestres asciende a miles de millones de dólares y afecta a cientos de millones de especímenes de plantas y animales. El volumen de comercio pone de manifiesto que el comercio de animales vivos registrado aumentó hasta la primera mitad de los años noventa y, a partir de ese momento, se mantuvo relativamente estable hasta 2005, reduciéndose en los últimos años (**gráfico 19**). No obstante, la proporción de especímenes criados



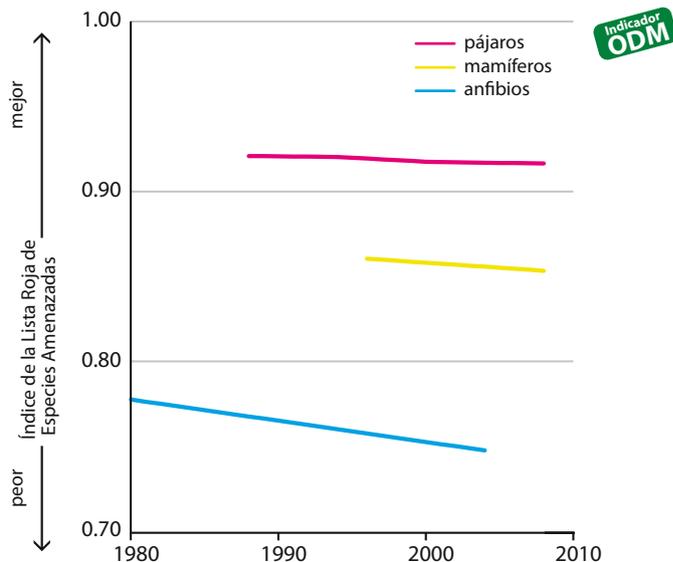
**Gráfico 16:** Certificación forestal del FSC y el PEFC en 2011. La certificación forestal ha aumentado de forma impresionante, pero esto ha tenido lugar en gran medida en Europa y América del Norte. Fuente: FSC (2012) y PEFC (2012)



**Gráfico 17:** Proporción de zonas protegidas para mantener la diversidad biológica respecto de la superficie terrestre. La extensión de zonas protegidas ha ido en aumento, sobre todo en América Latina y el Caribe, pero también en Asia Occidental, tras la creación de una gran zona protegida única en 1994. Fuente: Portal de Datos GEO, recopilado a partir de PNUMA-WCMC (2011)

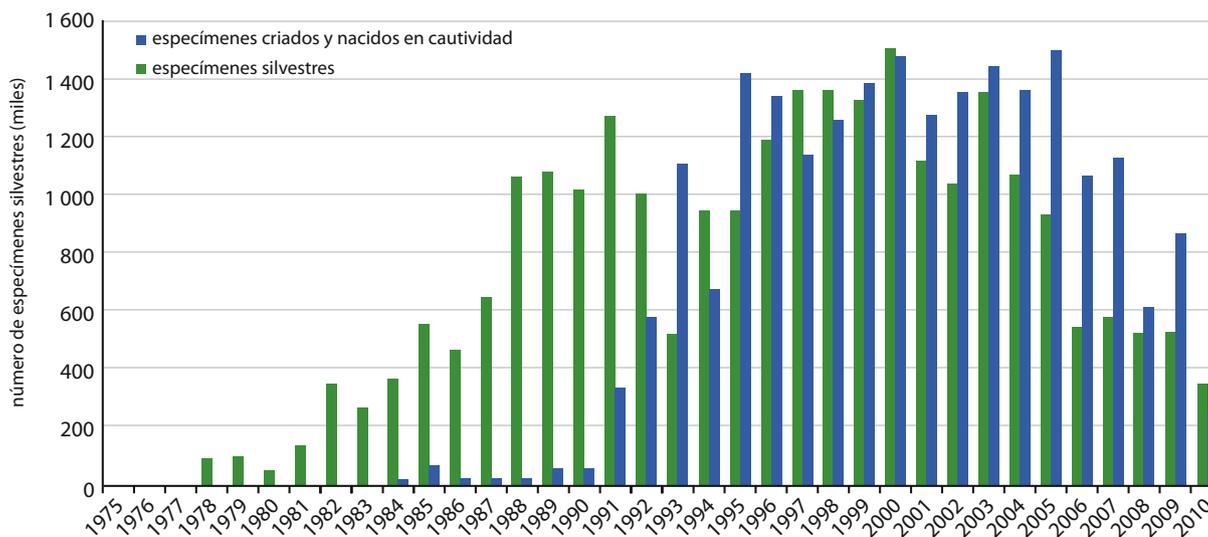
en cautividad ha aumentado y, en los últimos años, el volumen comercializado de especies de este tipo, por lo general, ha sido mayor que el de animales silvestres, según los registros disponibles.

Se ha avanzado mucho en mejorar el acceso al agua potable, y la cifra global se acercaba al 90% en 2010 (**gráfico 20**). En algunas regiones, como África y Asia y el Pacífico, el aumento ha sido notable, aunque sigue habiendo problemas, sobre todo en las zonas rurales. Sin embargo, el mundo está lejos de alcanzar la meta de acceso a servicios

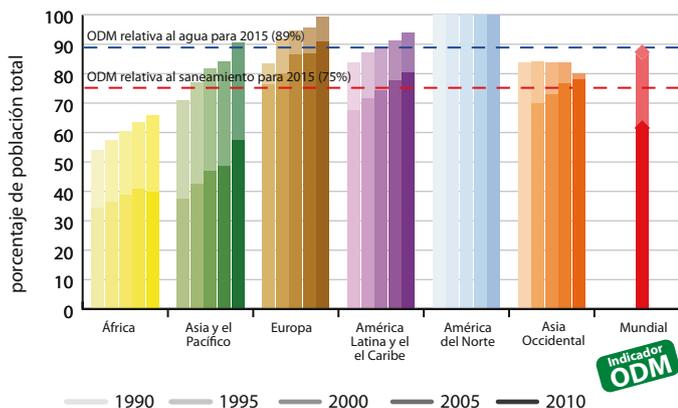


**Gráfico 18:** Índice de la Lista Roja de Especies Amenazadas. Los grupos de especies tales como aves, mamíferos y anfibios están cada vez más amenazados. Aunque no se dispone de datos suficientes, es muy probable que otros grupos se encuentren en una situación similar, si no peor. Fuente: UICN (2011)

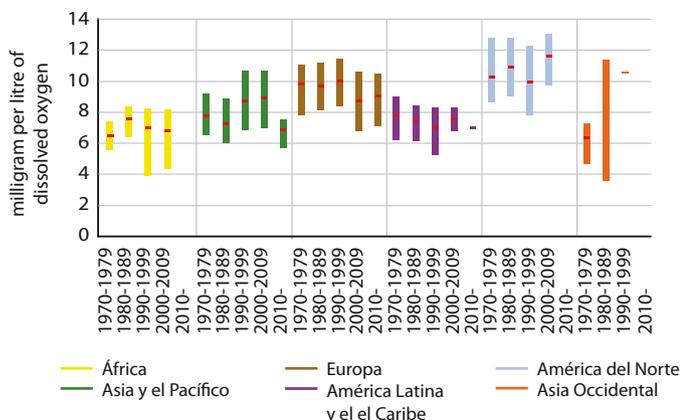
de saneamiento mejorados (OMS/UNICEF 2012). A pesar de que se han registrados avances en todos los lugares del mundo, alrededor de la mitad de la población de las regiones en desarrollo no utiliza servicios de saneamiento mejorados. En este caso también, las zonas urbanas están mejor atendidas que las rurales, aunque las diferencias están disminuyendo (OMS/UNICEF 2012).



**Gráfico 19:** Comercio de especímenes criados y nacidos en cautividad frente a especímenes silvestres, 1975-2010. La reglamentación y reporte sobre del comercio de animales vivos, ha aumentado considerablemente, y el comercio de animales criados en cautividad ha superado al comercio de animales silvestres en los últimos años. Fuente: CITES (2012)

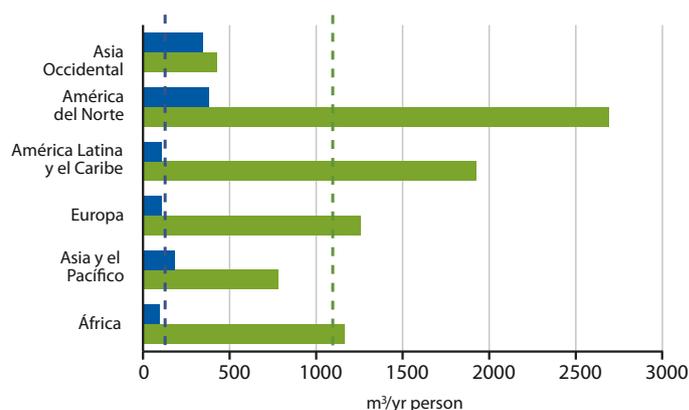


**Gráfico 20:** Proporción de población con acceso sostenible a una fuente mejorada de suministro de agua y con acceso a servicios de saneamiento mejorados. Se incluyen datos preliminares para el año 2010. La meta mundial ODM relativa al agua potable se superará antes de 2015, pero la relativa al saneamiento no se cumplirá. Existen aun desafíos en muchos lugares del mundo, sobre todo en las zonas rurales de las regiones en desarrollo. Fuente: Portal de Datos GEO, recopilado a partir de OMS/UNICEF (2012)

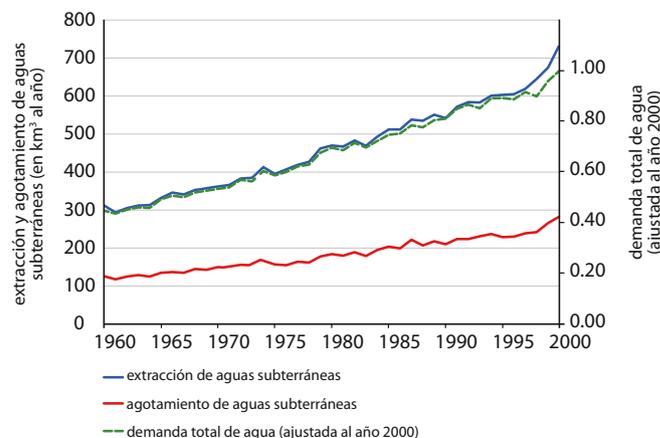


**Gráfico 21:** Niveles de oxígeno disuelto en aguas superficiales. Los datos disponibles parecen indicar que las concentraciones de oxígeno disuelto suelen estar dentro de los límites generalmente aceptados de entre 6 mg/l en agua caliente y 9,5 mg/l en agua fría, tal como se establece, por ejemplo, en Australia, Brasil y Canadá. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que estos datos no son representativos de todas las aguas de las regiones, ni de cada decenio representado aquí. Fuente: PNUMA-SIMUVIMA/Agua (2011)

Los vertidos incontrolados de aguas residuales a las aguas superficiales tienen un impacto directo en la calidad del agua. Los niveles de oxígeno disuelto en las aguas superficiales son un buen indicador de las condiciones ambientales para la vida acuática. La eutrofización, o enriquecimiento excesivo de nutrientes, puede aumentar las concentraciones debido a una mayor productividad del fitoplancton, mientras que los contaminantes orgánicos podrían ocasionar un aumento de la demanda de oxígeno y una disminución de su concentración (**gráfico 21**). Considerando que los efectos son a menudo de índole local, se está reconociendo que el impacto



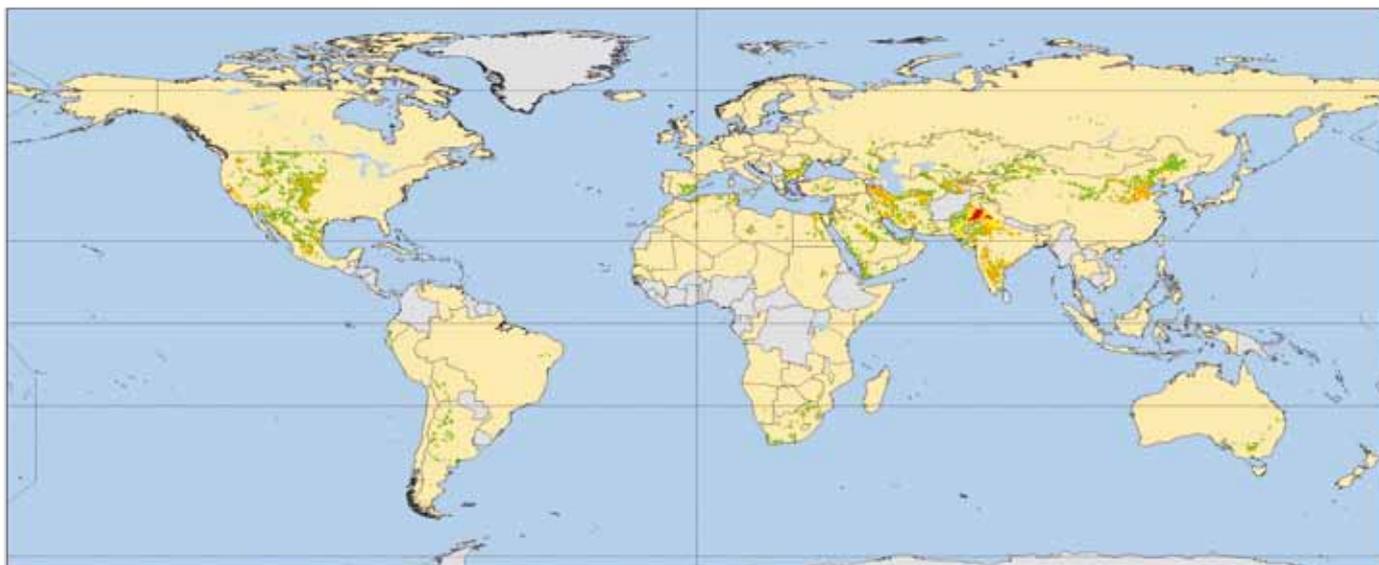
**Gráfico 22:** Huella hídrica, azul y verde. La huella hídrica de un país es el volumen total de agua dulce utilizado para producir los bienes y servicios consumidos por la población. La huella hídrica azul, que se refiere al consumo de los recursos de aguas superficiales y subterráneas, es mayor en América del Norte y Asia Occidental. América Latina y el Caribe. La huella hídrica verde, que se refiere al uso del agua de lluvia, es más elevada en América del Norte y América Latina y el Caribe. Fuente: Mekonnen y Hoekstra (2011)



**Gráfico 23:** Extracción y agotamiento de aguas subterráneas en km³ al año, 1960-2000. El agotamiento de las aguas subterráneas ha aumentado de manera constante en los últimos decenios, junto con la demanda y la extracción, según indican los datos modelados. Fuente: Wada et al., (2010)

acumulativo sobre la calidad de las masas de agua dulce es una gran preocupación a nivel mundial (PNUMA, 2012a). En algunas regiones, la vigilancia de la calidad del agua está bien establecida, mientras que en otras dista mucho de ser adecuada. Es poco probable que se pueda ofrecer una panorámica general de la calidad del agua, debido en gran medida a la falta de datos, el acceso a los mismos y la limitación de capacidades y recursos.

La huella hídrica total de un país es el volumen total de agua dulce usada para producir los bienes y servicios consumidos por la población de ese país. En parte, puede tener su origen fuera del país (**gráfico 22**). Además de la utilización del agua para el consumo humano ("agua

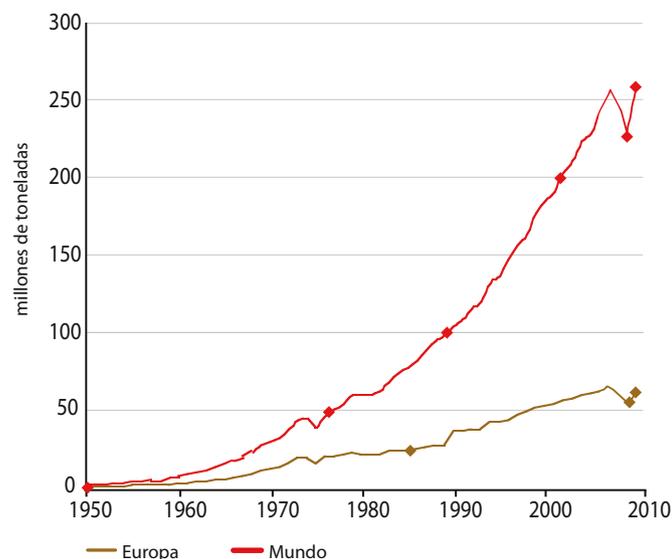


Sin datos 0 - 2 2 - 20 20 - 100 100 - 300 300 - 1000

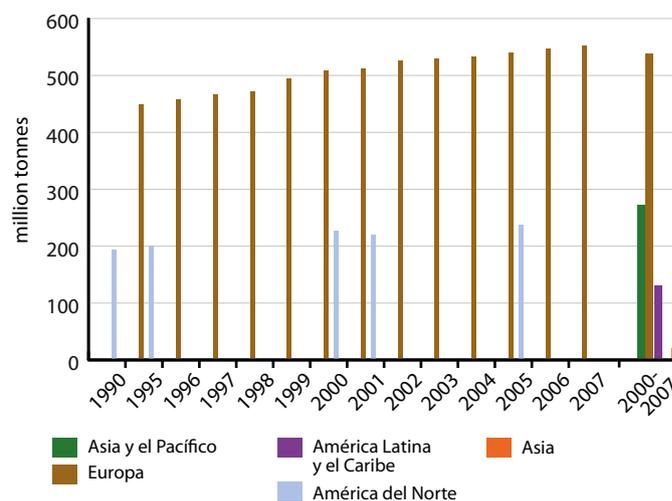
**Gráfico 24:** Mapa mundial de agotamiento del agua subterránea en mm al año en 2000. El agotamiento del agua subterránea sigue siendo especialmente grave en algunas partes de Asia y el Pacífico, así como en Asia Occidental y América del Norte. Fuente: Wada et al., (2010)

azul”), el agua es necesaria para mantener los ecosistemas y los servicios que estos prestan a la sociedad (“agua verde”). La huella hídrica total ha aumentado en muchas regiones, y un gran número de países están externalizando de manera significativa su huella hídrica al importar

bienes que requieren grandes cantidades de agua, ejerciendo así presión sobre los recursos hídricos de las regiones exportadoras (Mekonnen y Hoekstra 2011). El uso principal del agua es en el sector agrícola, seguido de la industria y los hogares.



**Gráfico 25:** Producción de plásticos en millones de toneladas, 1950-2010. Después de una rápida disminución entre 2008 y 2009, la producción mundial alcanzó un nuevo récord de 265 millones de toneladas en 2010. En los últimos años, los residuos plásticos en el océano se han convertido en un tema que suscita cada vez más inquietud. Fuente: PlasticsEurope (2011)



**Gráfico 26:** Recolección de residuos urbanos en las diferentes regiones, 1990-2007. No existen datos suficientes sobre África. La recolección de residuos es mayor en Europa, seguida de Asia y el Pacífico y América del Norte. Siguen siendo escasos los datos fidedignos sobre la generación, recolección y tratamiento de desechos peligrosos y otros desechos en la mayor parte del mundo. Fuente: Portal de Datos GEO, recopilado a partir de División de Estadística de las Naciones Unidas (2011), EPA (2012)



En Dharavi (India), el barrio marginal más grande de Asia, casi el 80% de los residuos sólidos, tales como plástico, papel y chatarra, se separa para su reciclaje. Foto: Cristen René

El crecimiento de la huella hídrica humana se hace patente también en la cantidad de agua subterránea extraída. La utilización de agua subterránea aumentó constantemente entre 1960 y 2000 (gráfico 23). El mapa de 2000 del agotamiento de las aguas subterráneas muestra las áreas donde la extracción supera la recarga, causando el agotamiento de las aguas subterráneas (gráfico 24). La reducción del nivel freático resultante y los flujos insuficientes de aguas subterráneas pueden poner en peligro de desecación a los ecosistemas que dependen del agua subterránea y causar daños a las funciones de regulación y otros servicios de los ecosistemas.

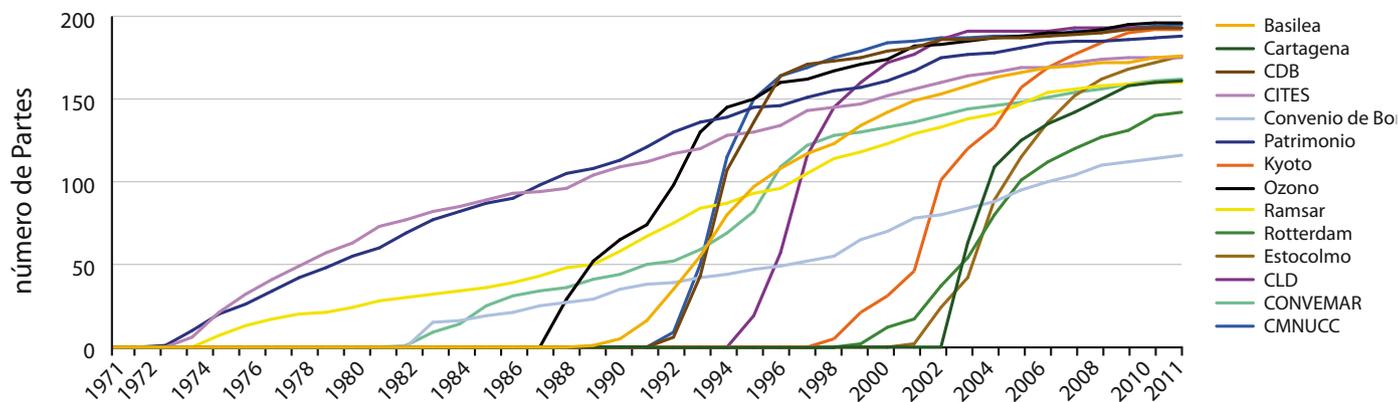
## Productos químicos y desechos

La cantidad y el número de productos químicos y desechos que terminan en el medio ambiente es cada vez mayor. Como se señaló en la edición anterior del *Anuario del PNUMA*, los residuos plásticos que terminan en el

océano cada vez suscitan más preocupación debido al posible impacto químico que puedan tener (PNUMA, 2011d). La producción de plásticos es un indicador indirecto de la cantidad de residuos plásticos que puede llegar a terminar en vías fluviales y en el mar (gráfico 25). La solución a este y a otros muchos problemas relacionados con los desechos reside en una mejor gestión de los mismos. Lamentablemente, se dispone de muy pocos datos fiables y comparables sobre la generación, recolección y gestión de desechos, y estos varían ampliamente de una región a otra y dentro de cada una de ellas. Se puede observar algunos avances en lo que respecta a los datos sobre la generación de residuos peligrosos y otros desechos, pero no es posible presentar tendencias definidas para las distintas regiones y el mundo en su conjunto. La cantidad de residuos recogidos por los municipios (gráfico 26) hace posible realizar una comparación indicativa entre las regiones, a excepción de África. La recolección de desechos urbanos es más elevada en Europa, y la cifra correspondiente ha aumentado de manera constante hasta situarse en torno a 552 millones de toneladas en 2007. Sobre la base de las cifras promedio para el período 2002-2009, la cantidad de desechos recogidos en otras regiones es menor. En el caso de África no hay datos disponibles sobre los residuos a nivel regional.

## Gobernanza ambiental

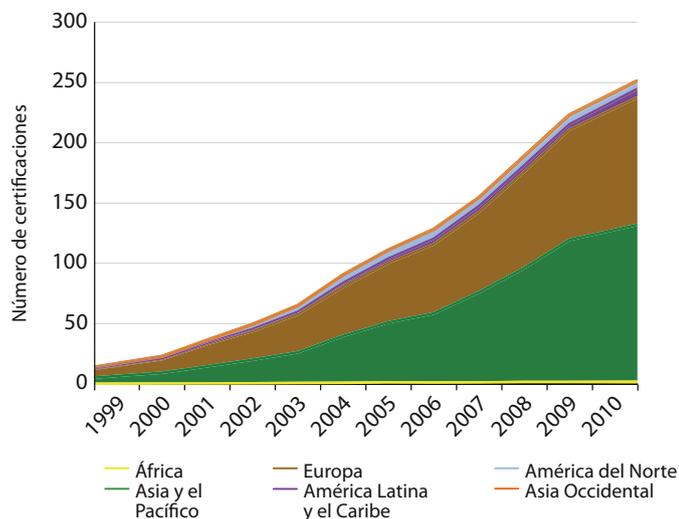
La gobernanza ambiental internacional encabeza hoy en día el debate sobre cómo lograr el desarrollo sostenible. En el contexto del marco institucional para el desarrollo sostenible, es uno de los temas que se debatirán en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible de 2012 en Río de Janeiro (Río+20). Entre los instrumentos internacionales más importantes se encuentran los acuerdos ambientales multilaterales, que abarcan temas relacionados con el clima, la diversidad biológica, los productos químicos y otras cuestiones. Ha habido un aumento significativo en el número de países que han pasado a ser Parte en estos acuerdos y convenios (gráfico 27).



**Gráfico 27:** Número de Partes en los acuerdos ambientales multilaterales, 1971-2011. Muchos acuerdos y convenios están alcanzando el número máximo de países signatarios (Partes). Si se tienen en cuenta los 14 acuerdos ambientales multilaterales que aparecen aquí, el número de Partes ascendió al 89% en 2011. El establecimiento y la firma de tales acuerdos es un primer paso importante, pero esto no significa que los problemas ambientales que en ellos se tratan se vayan a resolver de inmediato. Fuentes: Recopilado a partir de las secretarías de diversos acuerdos ambientales multilaterales (véase la lista de referencia)

La firma y ratificación de un acuerdo o protocolo internacional no significa que se estén adoptando las medidas adecuadas o que un problema ambiental esté por resolverse. Pone de manifiesto que existe una conciencia y un compromiso para abordar las cuestiones más destacadas. Hay una serie de acuerdos que han tenido mucho éxito, como el Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono. La mayoría de los países del mundo son ahora Parte en muchos de los acuerdos ambientales multilaterales a nivel mundial, y algunos de estos acuerdos han logrado recabar el número máximo de Partes, que se sitúa cerca de 200. En conjunto, los 14 acuerdos ambientales multilaterales que figuran en el gráfico ponen de manifiesto que el número de Partes ascendió al 89% en 2011, frente a un 69% desde que el último acuerdo ambiental multilateral (el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología) entrara en vigor en 2003.

Desde un punto de vista más empresarial, es posible observar la tendencia en las certificaciones de gestión ambiental como la ISO 14001 (**gráfico 28**). La ISO 14001 codifica las prácticas y normas que las empresas y otras organizaciones deben seguir para reducir al mínimo los efectos perjudiciales de sus actividades sobre el medio ambiente y mejorar su desempeño ambiental. La certificación indica el grado de conformidad con las políticas ambientales según lo declarado por las empresas. No significa necesariamente que se haya mejorado el desempeño o reducido el impacto ambiental. El gran aumento en el número de certificaciones ISO 14001, de las cuales se han registrado 18



**Gráfico 28:** Número de certificaciones ISO 14001 de gestión ambiental, 1998-2010. La certificación ISO 14001 indica que las empresas y otras organizaciones se han comprometido a adoptar sistemas de gestión ambiental, confirmando así lo que han declarado en sus propias políticas. El número total de certificaciones superó las 250.000 en 2010, y la proporción más alta se registró en Asia y el Pacífico y Europa. Fuente: ISO (2011)

veces más certificaciones en 2010 que en 1999, muestra un compromiso de las empresas y organizaciones cada vez más firme por adoptar sistemas de gestión ambiental.

## De cara al futuro

En los últimos 20 años el mundo ha experimentado cambios en los modelos de producción económica y las pautas de consumo, el comercio internacional, y las tecnologías de la información y la comunicación. También se han producido cambios importantes en el ámbito medioambiental, con la acumulación de indicios del cambio climático y su impacto en el planeta, la rápida pérdida de diversidad biológica y la extinción de especies, una mayor degradación de la tierra y los suelos y el deterioro de las aguas continentales y los océanos. Los indicadores ambientales y de otro tipo nos permiten hacer un seguimiento del estado del medio ambiente. Ellos se utilizarán para aportar información a la próxima Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible en Río de Janeiro (Río+20) acerca del progreso conseguido desde que se celebrara la Cumbre de "Río" original, es decir, la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD) en 1992 (PNUMA 2011c).

Se han conseguido ciertos avances desde 1992, entre ellos una reducción significativa del uso de sustancias que agotan la capa de ozono, un aumento del uso de energías renovables (sobre todo energía solar y eólica), y la introducción de mecanismos nuevos como el comercio de derechos de emisión de carbono y la certificación de productos. Sin embargo, el panorama general presentado por este conjunto de indicadores ambientales clave no es muy positivo. En las esferas del cambio climático, la diversidad biológica, el derretimiento de los glaciares y la pesca, por ejemplo, siguen planteándose enormes dificultades en lo que respecta a abordar las causas profundas e invertir las tendencias.

El fortalecimiento de la gobernanza ambiental es un tema interdisciplinario. Para avanzar en materia ambiental y lograr la sostenibilidad es fundamental disponer de una gobernanza ambiental sólida. Es preciso reaccionar rápida y eficazmente, a todos los niveles, ante los nuevos problemas ambientales, y colaborar con miras a fijar prioridades ambientales de común acuerdo. En este sentido, se pueden percibir algunas señales positivas, entre otras las relacionadas con las medidas para hacer frente al agotamiento de la capa de ozono, la creación de zonas protegidas, y la creación de mecanismos de mercado y sistemas de certificación que otorguen a los temas ambientales un papel destacado en el pensamiento económico y la toma de decisiones. Los indicadores ambientales principales de este capítulo se limitan simplemente a ofrecer una instantánea del medio ambiente mundial. La falta de datos y otras deficiencias en las mediciones constituyen un grave obstáculo para garantizar la calidad de algunos de estos indicadores. Solo en el caso de un número muy limitado de indicadores es posible proporcionar una serie cronológica sólida de las principales tendencias del medio ambiente a nivel mundial y regional. Hay una



Se han realizado progresos desde 1992, entre ellos un mayor uso de energías renovables y nuevos mecanismos como el comercio de derechos de emisión de carbono y la certificación de productos. Foto: FSC – Alemania

serie de tendencias que no pueden presentarse aquí adecuadamente, o en absoluto, debido a la escasa disponibilidad de datos y la calidad de estos, por ejemplo, la falta de datos regionales o de los resultados de monitoreo a largo plazo. En lo relativo a otros temas, no ha habido actualizaciones recientes por lo que no es posible presentar información nueva de importancia.

Se han puesto en marcha una serie de iniciativas y redes internacionales para observar los indicadores ambientales principales y las cuestiones de fondo relacionadas con los datos y ayudar a mejorar la situación de la información. Entre ellas caben destacar las que se utilizan para hacer un

seguimiento de los avances en la consecución de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), el Grupo de Observaciones de la Tierra y su sistema de sistemas, los diversos sistemas mundiales de observación, el Grupo de Trabajo de las secretarías sobre las estadísticas medioambientales, y otros muchos más. La División de Estadística de las Naciones Unidas, en cooperación con el PNUMA, está realizando una labor muy práctica que tiene por objeto “corregir la falta de datos ambientales” y consiste en un cuestionario bienal sobre estadísticas del medio ambiente, con el objetivo de recopilar datos sobre temas ambientales de los países que complementen la información que ya tratan otros organismos internacionales, y establecer un nexo con la creación de capacidad para la recopilación de datos en las regiones en desarrollo (**cuadro 1**).

Estos datos son esenciales para mantener el estado del medio ambiente bajo estudio. En el Anuario del PNUMA se seguirá proporcionando la información más reciente disponible anualmente para respaldar la toma de decisiones y determinar oportunamente las tendencias que se observan. Con el fin de facilitar la consulta, al final de este capítulo se ofrece un resumen con los datos más recientes de los indicadores principales (**cuadro 1**).

Las estadísticas sobre el agua y los desechos son esenciales para proporcionar una instantánea coherente de las tendencias mundiales y regionales en estos importantes sectores. Sin embargo, la recopilación de datos relacionados con el agua y los desechos sigue siendo difícil, a menudo debido a la falta de capacidad de los países. La próxima recopilación de datos sobre medio ambiente que lleve a cabo la División de Estadísticas y el PNUMA tendrá lugar en el transcurso de 2012.

### Cuadro 1: Cuestionario de la División de Estadística de las Naciones Unidas/PNUMA sobre estadísticas del medio ambiente

El cuestionario bienal sobre estadísticas del medio ambiente recoge datos a nivel nacional que se centran en los temas de agua y desechos. Con el fin de evitar cualquier tipo de duplicación, esta labor de recopilación de datos abarca los países que no presentan información al cuestionario conjunto de la OCDE y la Eurostat y aborda los temas ambientales que no abarcan otros organismos de las Naciones Unidas u organizaciones internacionales.

El reciente cuestionario de 2010 se envió a 172 países y territorios, de los cuales 87 (51%) respondieron. Cinco de ellos indicaron que no disponían de datos. Los índices de respuesta más elevados se registraron en Europa Oriental (79%), seguido de las Américas (62%) y Asia (57%). El índice de respuesta en África fue del 44%, y no se recibió ninguna respuesta de Oceanía. Entre los 82 países que suministraron datos, 66 fueron capaces de proporcionar datos para las secciones de

la encuesta relativas tanto al agua como a los desechos, mientras que 16 países proporcionaron datos solo para una de las dos secciones.

Tras un amplio proceso de validación, la División de Estadística publica una selección de las estadísticas relativas al agua y los desechos con una calidad relativamente buena y una cobertura geográfica amplia (complementada por los datos de la OCDE/Eurostat), como parte de las páginas web relativas a los indicadores ambientales y las instantáneas de los países (División de Estadística, 2012a, b). Los datos completos y las notas a pie de página se cargan en la página web de los archivos por países (División de Estadística, 2012c). El PNUMA incorpora los datos, junto con agregaciones (sub-) regionales, en el Portal de Datos GEO (PNUMA, 2012b). Una selección de estadísticas sobre el agua y los desechos se actualizan también en las entradas de datos de la iniciativa “Una ONU” (ONU 2012).

## Referencias

- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (2012). Municipal Solid Waste (MSW) in the United States: Facts and Figures. <http://www.epa.gov/osw/nonhaz/municipal/msw99.html>
- AIE (2011b). Renewables Information (2011 edition). Agencia Internacional de la Energía, París. [http://data.iaea.org/ieastore/product.asp?dept\\_id=101&pf\\_id=309](http://data.iaea.org/ieastore/product.asp?dept_id=101&pf_id=309)
- AIE (Agencia Internacional de la Energía) (2011a). Energy balances of OECD and non-OECD countries (2011 edition). Agencia Internacional de la Energía, París
- Banco Mundial (2011). State and Trends of the Carbon Market 2011. Washington, D.C.
- Basilea (2012). [Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación]. Parties to the Basel Convention. <http://www.basel.int/Countries/StatusofRatifications/PartiesSignatories/tabid/1290/Default.aspx>
- Boden, T.A., Marland, G. y Andres, R.J. (2011). Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO<sub>2</sub> Emissions. Centro de Análisis de Información sobre el Dióxido de Carbono, Laboratorio Nacional de Oak Ridge, Departamento de Energía de los Estados Unidos, Oak Ridge, Tennessee (Estados Unidos de América). <http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/overview.html>
- Caldeira, K. y Wickett, M.E. (2003). Oceanography: Anthropogenic carbon and ocean pH. *Nature*, 425(6956), 365
- Cartagena (2012). [Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología]. El Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología. <http://bch.cbd.int/protocol/>
- CCU/PBL (Centro Común de Investigación/Agencia de Evaluación Medioambiental de los Países Bajos) (2010). Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR), versión 4.2. <http://edgar.jrc.ec.europa.eu>
- CDB (2010). Una nueva era de vivir en armonía con la naturaleza, nace en la Cumbre de la Diversidad Biológica en Nagoya. Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, Montreal
- CDB (2012). [Convenio sobre la Diversidad Biológica]. List of Parties. <http://www.cbd.int/information/parties.shtml>
- CITES (2012). [Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres]. Países miembros. <http://www.cites.org/esp/disc/parties/index.php>
- CLD (2012). [Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación]. Status of ratification. <http://www.unccd.int/en/about-the-convention/the-convention/Status-of-ratification/Pages/default.aspx>
- CMNUCC (2012). [Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático]. Status of Ratification of the Convention. [http://unfccc.int/essential\\_background/convention/status\\_of\\_ratification/items/2631.php](http://unfccc.int/essential_background/convention/status_of_ratification/items/2631.php)
- CONVEMAR (2012). [Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar]. Chronological lists of ratifications of, accessions and successions to the Convention and the related Agreements as at 03 June 2011. [http://www.un.org/Depts/los/reference\\_files/chronological\\_lists\\_of\\_ratifications.htm#The United Nations Convention on the Law of the Sea](http://www.un.org/Depts/los/reference_files/chronological_lists_of_ratifications.htm#The United Nations Convention on the Law of the Sea)
- Convención sobre la Conservación de las Especies Migratorias de Animales Silvestres (2012). Parties to the Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals. [http://www.cms.int/about/part\\_1st.htm](http://www.cms.int/about/part_1st.htm)
- División de Estadística de las Naciones Unidas (2011). Environmental indicators: Waste (<http://unstats.un.org/unsd/environment/municipalwaste.htm>)
- División de Estadística de las Naciones Unidas (2012a). UNSD Environmental Indicators (<http://unstats.un.org/unsd/environment/qndicators.htm>). Fecha de última consulta: 20 de enero de 2012
- División de Estadística de las Naciones Unidas (2012b). Environment Statistics – Country Snapshots ([http://unstats.un.org/unsd/environment/Questionnaires/country\\_snapshots.htm](http://unstats.un.org/unsd/environment/Questionnaires/country_snapshots.htm)). Fecha de última consulta: 20 de enero de 2012
- División de Estadística de las Naciones Unidas (2012c). Environment Statistics – Country Files (<http://unstats.un.org/unsd/environment/Questionnaires/index.asp>). Fecha de última consulta: 20 de enero de 2012
- Estocolmo (2012). [Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes]. Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. <http://www.pops.int/documents/signature/signstatus.htm>
- FAO (2010). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010. Principales resultados. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma
- FAO (2011a). World Review of Fisheries and Aquaculture. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma
- FAO (2011b). Estadísticas: Introducción. Departamento de Pesca y Acuicultura, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma. <http://www.fao.org/fishery/statistics/es>
- FAO (2011c). Base de Datos FAOSTAT. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma. <http://faostat.fao.org/?lang=es>
- Feely, R.A., Doney, S.C. y Cooley, S.R. (2009). Ocean Acidification: Present Conditions and Future Changes in a High-CO<sub>2</sub> World. *Oceanography*, 22(4), 36-47
- FSC (2012). Global FSC certificates: type and distribution. Consejo de Administración Forestal. <http://www.fsc.org/facts-figures.html?&L=1>
- Hoffmann, M., Hilton-Taylor C., Angulo A. *et al.* (2010). The Impact of Conservation on the Status of the World's Vertebrates. *Science*, 330(6010), 1503-1509
- ISO (Organización Internacional de Normalización) (2011). The ISO Survey of Certifications 2010. Ginebra. [http://www.iso.org/iso/iso\\_catalogue/management\\_standards/certification/the\\_iso\\_survey.htm](http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/management_standards/certification/the_iso_survey.htm)
- Kyoto (Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático) (2012). Status of Ratification of the Kyoto Protocol. [http://unfccc.int/kyoto\\_protocol/status\\_of\\_ratification/items/2613.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol/status_of_ratification/items/2613.php)
- Manney, G.L., Santee, M.L., Rex, M., Livesey, N.J., Pitts, M.C., Veefkind, P., Nash, E.R., Wohltmann, I., Lehmann, R., Froidevaux, L., Poole, L.R., Schoeberl, M.R., Haffner, D.P., Davies, J., Dorokhov, V., Gernandt, H., Johnson, B., Kivi, R., Kyrö, E., Larsen, N., Levett, P.F., Makshtas, A., McElroy, C.T., Nakajima, H., Parrondo, M.C. *et al.* (2011). Unprecedented Arctic ozone loss in 2011. *Nature*, 478(7370), 469-475
- Mekonnen, M.M. y Hoekstra, A.Y. (2011). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 8(1), 763-809
- Naciones Unidas (2012). UNdata. Portal de acceso a la información de la iniciativa "Una ONU" (<http://data.un.org/>). Fecha de última consulta: 20 de enero de 2012
- OMM (2009). 2000-2009, the warmest decade. Comunicado de prensa núm. 869. Organización Meteorológica Mundial. <http://reliefweb.int/node/336486>
- OMS (2006). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre: Actualización mundial 2005. Resumen de evaluación de los riesgos
- OMS (2011). Database: outdoor air pollution in cities. [http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair/databases/en/](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/en/)
- OMS/UNICEF (2012). Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation. <http://www.wssinfo.org/>
- Ozono (Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono y su Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono) (2012). El Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono. [http://ozone.unep.org/new\\_site/sp/vienna\\_convention.php](http://ozone.unep.org/new_site/sp/vienna_convention.php)
- Patrimonio (Convención sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural) (2012). States Parties: Ratification Status. <http://whc.unesco.org/en/statesparties/>
- PEFC (Programa de Reconocimiento de Sistema de Certificación Forestal) (2012). PEFC Global Certification: Forest Management & Chain of Custody. <http://www.pefc.org/resources/webinar/item/801>
- PlasticsEurope (2011). Plásticos – Situación en 2011. Análisis de la producción, la demanda y la recuperación de plásticos en Europa en 2010
- PNUMA (2010). *Fisheries Subsidies, Sustainable Development and the WTO*. Earthscan, Oxford. PNUMA
- PNUMA (2011a). Production and Consumption of Ozone Depleting Substances under the Montreal Protocol. Centro de Acceso de Datos. PNUMA, Secretaría del Ozono, Nairobi. [http://ozone.unep.org/spanish/Data\\_Reporting/Data\\_Access/](http://ozone.unep.org/spanish/Data_Reporting/Data_Access/)
- PNUMA (2011b). HFCs: A Critical Link in Protecting Climate and the Ozone Layer
- PNUMA (2011c). Seguimiento a nuestro medio ambiente en transformación. De Río a Río+20 (1992-2012)
- PNUMA (2011d). Global Trends in Renewable Energy Investment 2011: Analysis of Trends and Issues in the Financing of Renewable Energy
- PNUMA (2011e). *Anuario PNUMA 2011: Temas emergentes en nuestro medio ambiente global*. PNUMA, Nairobi
- PNUMA (2012a). 21 Issues for the 21<sup>st</sup> Century: Result of the UNEP Foresight Process on Emerging Environmental Issues. Alcamo, J. y Leonard, S.A. (eds.)
- PNUMA (2012b). GEO Data Portal (<http://geodata.grid.unep.ch>). Fecha de última consulta: 20 de enero de 2012
- PNUMA-SIMUVIMA/Agua (2011). GEMStat. Programa del Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente/Evaluación de la Calidad del Agua. <http://www.gemstat.org/default.aspx>
- PNUMA-WCMC (2011). World Database on Protected Areas. PNUMA-Centro Mundial de Vigilancia de la Conservación, Cambridge. <http://www.wdpa.org/Statistics.aspx>
- Ramsar (Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional, Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas) (2012). Contracting Parties in order of their accession. [http://www.ramsar.org/cda/en/ramsar-about-parties-contracting-parties-in-201715/main/ramsar-1-36-123%5E20715\\_4000\\_0\\_](http://www.ramsar.org/cda/en/ramsar-about-parties-contracting-parties-in-201715/main/ramsar-1-36-123%5E20715_4000_0_)
- REN21 (2011). Renewables 2011. Global Status Report. Red de Políticas de Energía Renovable para el siglo XXI, Paris
- Rotterdam (2012). [Convenio de Rotterdam sobre el procedimiento de consentimiento fundamentado previo aplicable a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional]. Status of ratifications. <http://www.pic.int/Countries/Parties/tabid/1072/language/en-US/Default.aspx>
- Servicio mundial de vigilancia de glaciares (2008). *Global Glacier Changes: facts and figures*. Zemp, M., Roer, I., Käb, A., Hoelzle, M., Paul, F. y Haeberli, W. (eds.). PNUMA, Servicio mundial de vigilancia de glaciares, Zurich
- Servicio mundial de vigilancia de glaciares (2011). Glacier mass balance data 1980-2010, Servicio mundial de vigilancia de glaciares, Zurich. <http://www.wgms.ch>
- Tans, P. y Keeling, R. (2011). Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos: Laboratorio de Investigación del Sistema Terrestre e Instituto Scripps de Oceanografía. <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>
- UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) (2011). The IUCN Red List of Threatened Species (versión 2010.4). <http://www.iucnredlist.org/about/summary-statistics>
- van Donkelaar, A., Martin, R.V., Brauer, M., Kahn, R., Levy, R., Verduzco, C. y Villeneuve, P.J. (2010). Global Estimates of Ambient Fine Particulate Matter Concentrations from Satellite-Based Aerosol Optical Depth: Development and Application. *Environmental Health Perspectives*, 118(6), 847-855
- Wada, Y., van Beek, L.P.H., van Kempen, C.M., Reckman, J.W.T.M., Vasaak, S. y Bierkens, M.F.P. (2010). Global depletion of groundwater resources. *Geophysical Research Letters*, 37(20), L20402

**Cuadro 1:** Datos sobre los indicadores ambientales principales

Indicador ambiental principal	Último año registrado	Mundial	África	Asia y el Pacífico	Europa	América Latina y el Caribe	América del Norte,	Asia Occidental	Unidad de medida
Consumo de sustancias que agotan la capa de ozono	2010	43 292	2 559	29 971	103	5 199	2 165	3 295	millones de toneladas PAO
Emisiones de HFC - todos los gases	2008	651 748	2 146	237 395	140 251	14 882	255 602	1 471	gigagramos
Emisiones de dióxido de carbono	2008	32.11	1.14	13.69	6.61	1.65	6.01	1.04	miles de millones de toneladas de CO <sub>2</sub>
Emisiones de dióxido de carbono per cápita	2008	4.8	1.2	3.5	8.0	2.9	17.4	8.3	toneladas de CO <sub>2</sub> per cápita
Cambio neto en la cubierta de bosques	2005-2010	5.6	-3.4	0.5	0.9	-3.9	0.4		millones de hectáreas al año
Áreas protegidas para mantener la diversidad biológica respecto a la superficie terrestre	2010	12.0	10.1	9.9	10.2	19.3	9.5	17.1	por ciento del total de la superficie terrestre
Recolección de residuos urbanos	2000-2007			271.2	537.9	130.8		20.2	millones de toneladas
Huella hídrica total per cápita de la producción nacional - azul	1996 -2005	167	94	181	109	110	380	345	m <sup>3</sup> al año por persona
Huella de agua total per cápita de la producción nacional - verde	1996 -2005	1 087	1 167	780	1 259	1 924	2 689	426	m <sup>3</sup> al año por persona
Acceso a servicios de saneamiento	2010	61.0	39.9	57.4	90.9	80.1	100.0	78.3	por ciento de la población total
Número de certificaciones de la norma ISO 14001	2010	251 000	1 700	131 700	103 700	7 231	5 500	1 200	número de certificaciones

Comercio de especies en 2010 - número de animales silvestres (millones)	
Especímenes criados y nacidos en cautividad	321.2
Especímenes silvestres	344.5

Índice de suministro de energía renovable en 2009 (1990 = 100)	
Solar fotovoltaica	86 650
Solar térmica	674
Eólica	7 033
Biocombustibles - Biogasolina y biodiesel	6 347

Suministro de energía primaria en 2009 equivalente en petróleo (miles de millones de toneladas)	
Petróleo crudo y materias primas	4.10
Carbón y sus derivados	3.30
Gas	2.54
Combustibles renovables y desechos	1.24
Nuclear	0.70
Hidro	0.28
Geotérmica	0.06
Solar/eólica/otros	0.04
Suministro total	12.26

Acuerdos ambientales multilaterales en 2011 número de Partes	
Basilea	176
Cartagena	161
CDB	193
CITES	175
Convenio de Bonn	116
Patrimonio	188
Kyoto	192
Ozono	196
Ramsar	160
Rotterdam	142
Estocolmo	176
CLD	193
CONVEMAR	162
CMNUCC	195

# Agradecimientos

## Resumen del año

### Autores:

**Sarah Abdelrahim**, UNEP, Nairobi, Kenya  
**Tessa Gorse**, UNEP, Nairobi, Kenya

### Editores:

**Susanne Bech**, ONU-Hábitat, Nairobi, Kenya  
**Sophie Bonnard**, PNUMA, París, Francia  
**John Christensen**, UNEP Risoe Centre on Energy, Climate and Sustainable Development, Roskilde, Dinamarca  
**Anna Donners**, PNUMA, Nairobi, Kenya  
**Robert Höft**, Convenio sobre la Diversidad Biológica, Montreal, Canadá  
**Ben Janse van Rensburg**, Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres, Ginebra, Suiza  
**Sunday Leonard**, PNUMA, Nairobi, Kenya  
**Julie Marks**, PNUMA, Ginebra, Suiza  
**Richard Munang**, PNUMA, Nairobi, Kenya  
**Martina Otto**, PNUMA, París, Francia  
**Pascal Peduzzi**, PNUMA, Ginebra, Suiza  
**Mark Radka**, PNUMA, París, Francia  
**Andrea Salinas**, PNUMA, Ciudad de Panamá, Panamá  
**John Scanlon**, Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres, Ginebra, Suiza  
**Muralee Thummarukudy**, PNUMA, Ginebra, Suiza  
**Frank Turyatunga**, PNUMA, Nairobi, Kenya  
**Kaveh Zahedi**, PNUMA, París, Francia  
**Jinhua Zhang**, PNUMA, Bangkok, Tailandia

## Los beneficios del carbono del suelo

### Autores:

**Reynaldo Victoria (chair)**, Universidad de São Paulo, São Paulo, Brasil  
**Steven Banwart**, Universidad de Sheffield, Sheffield, Reino Unido  
**Helaina Black**, James Hutton Institute, Aberdeen, Reino Unido  
**John Ingram**, Instituto de Cambios Ambientales, Universidad de Oxford, Oxford, Reino Unido  
**Hans Joosten**, Instituto de Botánica y Ecología del Paisaje, Ernst-Moritz-Arndt-Universität de Greifswald, Greifswald, Alemania  
**Eleanor Milne**, Universidad del Estado de Colorado / Universidad de Leicester, Leicester, Reino Unido  
**Elke Noellemeier**, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa, La Pampa, Argentina

### Redactor científico:

**Yvonne Baskin**, Bozeman, Estados Unidos



## Editores:

**Asma Ali Abahussain**, Universidad del Golfo Árabe, Riffa Occidental, Reino de Baréin  
**Mohammad Abido**, Universidad de Damasco, Damasco, Siria  
**Niels Batjes**, SRIC - Centro Internacional de Referencia e Información de Suelos, Wageningen, Países Bajos  
**Martial Bernoux**, Instituto de Investigación para el Desarrollo, Montpellier, Francia  
**Zucong Cai**, Universidad Normal Nanjing, Nanjing, China  
**Carlos Eduardo Cerri**, Universidad de São Paulo, São Paulo, Brasil  
**Salif Diop**, PNUMA, Nairobi, Kenya  
**Roland Hiederer**, Centro Conjunto de Investigación de la Comisión Europea, Ispra, Italia  
**Jason Jabbour**, PNUMA, Nairobi, Kenya  
**Nancy Karanja**, Universidad de Nairobi, Nairobi, Kenya  
**Fatoumata Keita-Ouane**, UNEP, Nairobi, Kenya  
**Rattan Lal**, Universidad del Estado de Ohio, Columbus, Estados Unidos  
**Newton La Scala Jr.**, Universidad Estatal Paulista, São Paulo, Brasil  
**Erika Michéli**, Universidad Szent István, Godollo, Hungría  
**Budiman Minasny**, Universidad de Sydney, Sydney, Australia  
**Patrick M'mayi**, PNUMA, Nairobi, Kenya  
**Bedrich Moldan**, Centro para el Medio Ambiente de la Universidad Charles, Praga, República Checa  
**Luca Montanarella**, Centro Conjunto de Investigación de la Comisión Europea, Ispra, Italia  
**Walter Alberto Pengue**, Universidad Nacional de General Sarmiento, Buenos Aires, Argentina  
**Jörn Scharlemann**, PNUMA-WCMC, Cambridge, Reino Unido  
**Mary Scholes**, Universidad de Witwatersrand, Johannesburgo, Sudáfrica  
**Darrell Schulze**, Universidad Purdue, West Lafayette, Estados Unidos  
**Gemma Shepherd**, PNUMA, Nairobi, Kenya  
**Steve Twomlow**, PNUMA, Nairobi, Kenya  
**Ronald Vargas Rojas**, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma, Italia  
**Ernesto F. Viglizzo**, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, La Pampa, Argentina

## Cierre y desmantelamiento de los reactores de energía nuclear



### Autores:

**Jon Samseth (chair)**, SINTEF Materials and Chemistry, Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología, HIOA, Trondheim, Noruega  
**Anthony Banford**, Universidad de Manchester, Manchester, Reino Unido  
**Borislava Batandjieva-Metcalf**, Servicios de consultoría Borislava Batandjieva, Viena, Austria  
**Marie Claire Cantone**, Universidad de Milán, Milán, Italia  
**Peter Lietava**, Department of Radioactive Waste and Spent Fuel Management, State Office for Nuclear Safety, Prague, Czech Republic

**Hooman Peimani**, Instituto de Estudios Energéticos, Universidad Nacional de Singapur, Singapur  
**Andrew Szilagyi**, Departamento de Energía de los Estados Unidos, Washington, D.C., Estados Unidos

### Redactor científico:

**Fred Pearce**, Londres, Reino Unido

### Editores:

**John Ahearne**, Sigma Xi, Research Triangle Park, Estados Unidos  
**Attila Aszódi**, Instituto de Técnicas Nucleares, Universidad de Tecnología y Economía de Budapest, Budapest, Hungría  
**Yasmin Aziz**, PNUMA, Washington, D.C., Estados Unidos  
**Malcolm Crick**, Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas, Viena, Austria  
**Sascha Gabizon**, Women in Europe for a Common Future, Munich, Alemania  
**Bernard Goldstein**, Facultad de Salud Pública, Universidad de Pittsburgh, Pittsburgh, Estados Unidos  
**José Luis González Gómez**, Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, Madrid, España  
**Christina Hacker**, Instituto de Medio Ambiente de Munich, Munich, Alemania  
**Peter Kershaw**, Centro de Ciencias Ambientales, Pesqueras y Acuícolas, Lowestoft, Reino Unido  
**Michele Laraia**, Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena, Austria  
**Sunday Leonard**, PNUMA, Nairobi, Kenya  
**Con Lyras**, Australian Nuclear Science and Technology Organisation, Kirrawee, Australia  
**Oleg Nasvit**, Instituto Nacional de Estudios Estratégicos del Presidente de Ucrania, Kiev, Ucrania  
**Charles Negin**, Project Enhancement Corporation, Germantown, Estados Unidos  
**Hartmut Nies**, Organismo Internacional de Energía Atómica, Múnaco  
**Thiagan Pather**, Ente Regulador Nuclear Nacional, Centurion, Sudáfrica  
**Nora Savage**, Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, Washington, D.C., Estados Unidos  
**Ashbindu Singh**, PNUMA, Washington, D.C., Estados Unidos  
**Anita Street**, Departamento de Energía de los Estados Unidos, Washington, D.C., Estados Unidos

## Indicadores ambientales principales



### Autores:

**Márton Bálint**, Budapest, Hungría  
**Andrea de Bono**, PNUMA/GRID-Europa, Ginebra, Suiza  
**Tessa Goverse**, PNUMA, Nairobi, Kenya  
**Jaap van Woerden**, PNUMA/GRID-Europa, Ginebra, Suiza

### Editores y colaboradores:

**Barbara Clark**, Agencia Europea del Medio Ambiente, Copenhague, Dinamarca  
**Anna Donners**, PNUMA, Nairobi, Kenya  
**Hans-Martin Füssel**, Agencia Europea del Medio Ambiente, Copenhague, Dinamarca

**Kelly Hodgson**, Programa sobre el agua del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente-Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente, Burlington, Canadá  
**Robert Höft**, Convenio sobre la Diversidad Biológica, Montreal, Canadá  
**Eszter Horvath**, División de Estadística de las Naciones Unidas, Nueva York, Estados Unidos  
**Rolf Luyendijk**, UNICEF, Nueva York, Estados Unidos  
**Roberta Pignatelli**, Agencia Europea del Medio Ambiente, Copenhague, Dinamarca  
**Richard Roberts**, Programa sobre el agua del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente-Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente, Burlington, Canadá  
**Reena Shah**, División de Estadística de las Naciones Unidas, Nueva York, Estados Unidos  
**Marcos Silva**, Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres, Ginebra, Suiza  
**Ashbindu Singh**, PNUMA, Washington, D.C., Estados Unidos  
**John van Aardenne**, Agencia Europea del Medio Ambiente, Copenhague, Dinamarca  
**Frank van Weert**, Centro Internacional de Evaluación de los Recursos de Aguas Subterráneas, Delft, Países Bajos  
**Michael Zemp**, Servicio mundial de vigilancia de glaciares, Zurich, Suiza

### Fotos del calendario de 2011:

**Márton Bálint**, Árbol con ramas  
**JJ Cadiz**, Pájaro  
**Harvey Croze**, Wangari Maathai  
**United States Geological Survey**, Buque de vigilancia  
**Ron Prendergast**, Tortuga comiendo una bolsa  
**National Aeronautics and Space Administration**, Cíclon  
**National Aeronautics and Space Administration**, Planeta

### Equipo de producción del Anuario 2012 del PNUMA

#### Redactor Jefe:

**Tessa Goverse**, PNUMA, Nairobi, Kenya

#### Equipo del proyecto:

**Sarah Abdelrahim**, **Peter Gilruth**, **Tessa Goverse**, **David Kimethu**, **Christian Lambrechts**, **Brigitte Ohanga**, PNUMA, Nairobi, Kenya, **Márton Bálint**, Budapest, Hungría

#### Corrección de estilo:

**John Smith**, Austin, Estados Unidos

#### Centro de colaboración (temas emergentes):

**Véronique Plocq-Fichelet** and **Susan Etienne Greenwood**, Comité Científico sobre Problemas del Medio Ambiente (SCOPE), París, Francia

#### Edición (temas emergentes):

**Paul G. Risser**, Universidad de Oklahoma, Norman, Estados Unidos

#### Gráficos e imágenes:

**Márton Bálint**, Budapest, Hungary, **Audrey Ringler**, PNUMA, Nairobi, Kenya (diseño de portada)

#### Colaboración especial:

**Nick Nuttall**, PNUMA, Nairobi, Kenya

# Encuesta

También puede dar su opinión en línea en  
[www.unep.org/yearbook/2012](http://www.unep.org/yearbook/2012)

Le rogamos dedique unos minutos a compilar este cuestionario. Sus observaciones nos ayudarán a mejorar las ediciones futuras del Anuario del PNUMA. En el Anuario 2012 del PNUMA se presentan los últimos avances científicos y temas emergentes importantes que han surgido a raíz de los cambios constantes en nuestro medio ambiente. El Anuario del PNUMA ha sido producido por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), en colaboración con especialistas en medio ambiente de todo el mundo.

1. ¿Cómo calificaría el carácter informativo del Anuario del PNUMA con respecto a los siguientes contenidos?					
	Muy informativo	Informativo	No muy informativo	Para nada informativo	Sin opinión
Resumen del año					
Los beneficios del carbono del suelo					
Cierre y desmantelamiento de los reactores de energía nuclear					
Indicadores ambientales principales					
Formule las observaciones adicionales que considere oportunas sobre la información de los capítulos:					

	Muy útil	Útil	No muy útil	Para nada útil	Sin opinión
Resumen del año					
Los beneficios del carbono del suelo					
Cierre y desmantelamiento de los reactores de energía nuclear					
Indicadores ambientales principales					
Formule las observaciones adicionales que considere oportunas sobre la información de los capítulos:					

3. Por favor, ayúdenos a mejorar el próximo Anuario proponiendo temas de interés que hayan surgido recientemente.

4. Información personal (opcional):							
Tipo de organización:		Cargo:		Indique el uso de la información del Anuario		Indique su región de procedencia:	
Gobierno		Ministro/Director		Interés particular		Asia Occidental	
Organización de desarrollo		Gerente		Comercial		América del Norte	
No gubernamental/sociedad civil		Asesor		Investigación/académico		Europa	
Institución académica/investigación		Científico/especialista		Formulación de políticas		Asia y el Pacífico	
Organización internacional		Estudiante		Educación/enseñanza		África	
Sector privado		Periodista		Labor de desarrollo		América Latina y el Caribe	
Prensa o medios de comunicación		Consultor		Otros (especifique, por favor):			
Otros (especifique, por favor):		Otros (especifique, por favor):					

Envíe por correo el cuestionario completado a: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, P.O. Box 30552, 00100 Nairobi, Kenya o [year.book@PNUMA.org](mailto:year.book@PNUMA.org)

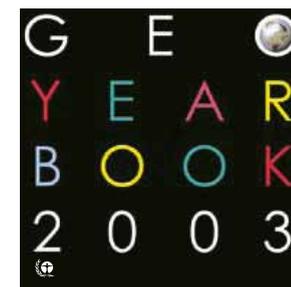
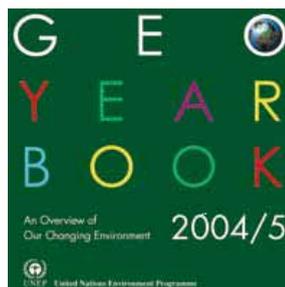
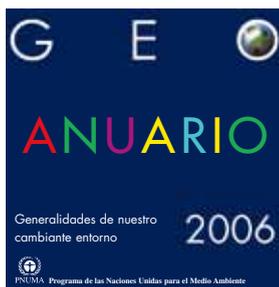
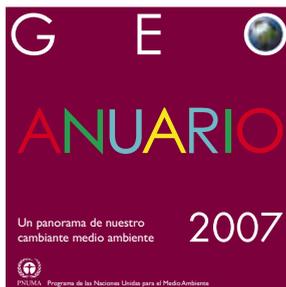
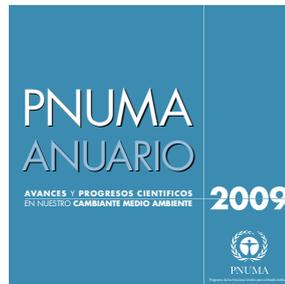
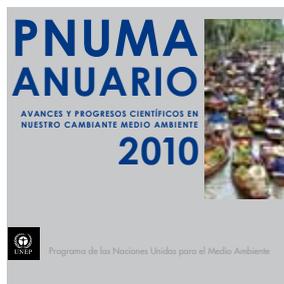
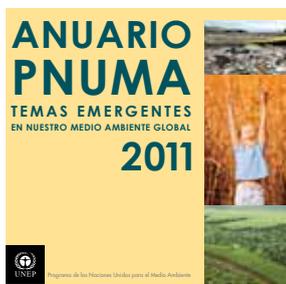
El Anuario del PNUMA es una publicación anual en la que se ponen de relieve temas y tendencias ambientales emergentes. Todos los años se incluye información actualizada sobre los avances y progresos científicos que son de interés para los encargados de formular políticas. Desde 2003, la serie Anuario del PNUMA ha ayudado a fortalecer la interfaz entre la ciencia y las políticas señalando a los gobiernos los temas emergentes y los últimos adelantos científicos relacionados con el medio ambiente y promoviendo la adopción de decisiones fundadas en criterios científicos.

Nos interesa su opinión. Visite nuestra página y envíenos sus comentarios y sugerencias.

[unep.org/yearbook/2012](http://unep.org/yearbook/2012)

WWW

El Anuario del PNUMA 2012 y las ediciones anteriores pueden encargarse a <http://www.earthprint.com>





# desmantelamiento nuclear

En el Anuario del PNUMA 2012 se examinan temas ambientales emergentes y adelantos de utilidad para las políticas, además de ofrecerse una sinopsis de las últimas tendencias a partir de los principales indicadores ambientales.

El carbono del suelo contribuye decisivamente a mantener la producción de alimentos, lo que será necesario para abastecer a la creciente población mundial. La capa superior del suelo, de un metro de profundidad, contiene el triple de la cantidad de carbono que hay en la atmósfera. Sin embargo, el carbono del suelo se está perdiendo a un ritmo sin precedentes. ¿Cómo se pueden conservar el carbono del suelo y sus múltiples beneficios para las generaciones futuras?

Ahora que los reactores nucleares de todo el mundo están llegando al final de su vida útil, el número de reactores que es preciso desmantelar va en rápido aumento. En el Anuario se analizan diversas opciones y consideraciones ante este aumento previsto de casos de desmantelamiento nuclear.



# carbono del suelo



[www.unep.org](http://www.unep.org)

Programa de las Naciones Unidas  
para el Medio Ambiente  
P.O. Box 30552, Nairobi 00100, Kenya  
Tel: +254-(0) 20-762 1234  
Fax: +254-(0) 20-762 3927  
Correo electrónico: [unep@unep.org](mailto:unep@unep.org)  
Sitio web: [www.unep.org](http://www.unep.org)



**PNUMA**

978-92-807-3216-0  
DEW/1449/NA