



# El mosaico de América del Norte

panorama de los problemas ambientales más relevantes

Junio de 2008



cec.org

Este informe se ocupa del estado del medio ambiente en el territorio de las Partes del Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte (ACAAN) y ofrece un panorama general de la problemática ambiental más relevante. Se presenta una evaluación objetiva de las tendencias y condiciones ambientales a fin de que el Consejo de la CCA cuente con información para sus deliberaciones sobre planeación estratégica y futuras actividades conjuntas.

La publicación estuvo a cargo del Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental. Para su diseño y elaboración se contó con la participación del Grupo Asesor sobre el Estado del Medio Ambiente, integrado por expertos en elaboración de informes ambientales de las Partes. Las opiniones aquí expresadas no necesariamente corresponden a las de los gobiernos de Canadá, Estados Unidos o México.

En general, en este informe no se aborda la amplia variedad de respuestas que puede haber ante los problemas ambientales descritos. De igual forma, evaluar la eficacia de tales respuestas queda fuera del alcance del presente documento.

Para mayor información, incluidas las referencias detalladas en que se basan los hallazgos de este informe, consúltese el sitio de la CCA en Internet: <<http://www.cec.org/soe>>.

**Particularidades de la publicación:**

*Tipo:* informe de proyecto

*Fecha:* junio de 2008

*Idioma original:* inglés

*Procedimientos de revisión y aseguramiento de calidad:*

- *Revisión de las Partes:* febrero – abril de 2008; abril – mayo de 2008.
- Para información adicional, consúltense los agradecimientos.

Edición al cuidado del Departamento de Comunicación y Difusión Pública del Secretariado de la CCA.

© Comisión para la Cooperación Ambiental, 2008

ISBN 2-923358-51-1

(Versión en inglés: 2-923358-50-3; versión en francés: 2-923358-52-X)

Depósito legal - Bibliothèque et archives nationale du Québec, 2008

Depósito legal - Library and Archives Canada, 2008

Para información adicional:

**Comisión para la Cooperación Ambiental**

393 rue St-Jacques Ouest, bureau 200

Montreal (Quebec), Canadá, H2Y 1N9

T 514 350-4300 F 514 350-4314

[info@cec.org](mailto:info@cec.org) [www.cec.org](http://www.cec.org)

# El mosaico de América del Norte

Panorama de los problemas ambientales más relevantes

Junio de 2008



## Créditos

### Gerencia del proyecto

**Cody Rice**, CCA, gerente de programa

**Jessica Levine**, consultora, coordinación del proyecto

**Marilou Nichols**, CCA, apoyo administrativo

### Autores participantes

**Tundi Agardy**, consultora, *Océanos y costas*

**Inés Arroyo Quiroz**, consultora, *Aprovechamiento del suelo; Especies amenazadas de preocupación común*

**Jane Barton**, consultora, *Deposición ácida; Ozono troposférico; Partículas suspendidas;*

*Sustancias tóxicas persistentes y bioacumulables; Ozono estratosférico*

**Ramón Pérez Gil**, consultor, *Aprovechamiento del suelo; Especies amenazadas de preocupación común*

**Erica Phipps**, consultora, *Contaminación y desechos industriales*

**Jamie Reaser**, consultora, *Especies invasoras*

**Elizabeth Shoch**, consultora, *Especies invasoras*

**Kent Thornton**, consultora, *Recursos hídricos compartidos; Calidad del agua; Cantidad y uso del agua*

### Editores

**Sabra Ledent**, consultora, editora consultora

**Johanne David**, CCA, francés

**Jacqueline Fortson**, CCA, español

**Douglas Kirk**, CCA, inglés

### Revisores del Secretariado

**Evan Lloyd**, CCA, director de programas

**Orlando Cabrera Rivera**, CCA, gerente de programa

**Hans Herrmann**, CCA, gerente de programa

**Luke Trip**, CCA, gerente de programa

### Coordinadores de revisión de las Partes

**Wayne Bond**, ministerio de Medio Ambiente de Canadá (*Environment Canada*)

**Paula Brand**, ministerio de Medio Ambiente de Canadá (*Environment Canada*)

**Terence McRae**, ministerio de Medio Ambiente de Canadá (*Environment Canada*)

**Heather Case**, Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA)

**John Dombrowski**, Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA)

**Guy Tomassoni**, Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA)

**Arturo Flores Martínez**, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México (Semarnat)

**César E. Rodríguez Ortega**, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México (Semarnat)



# Índice

Prefacio	5
<b>Aire y atmósfera</b>	
Cambio climático	7
Ozono troposférico	11
Partículas suspendidas	15
Ozono estratosférico	19
<b>Biodiversidad y ecosistemas</b>	
Aprovechamiento del suelo	23
Océanos y costas	27
Especies invasoras	31
Especies amenazadas de preocupación común	35
<b>Contaminantes</b>	
Deposición ácida	39
Residuos y contaminación industriales	43
Sustancias tóxicas persistentes y bioacumulables	47
<b>Agua</b>	
Calidad del agua	51
Cantidad y uso del agua	55
Recursos hídricos compartidos	59



## Prefacio

En términos del Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte (ACAAN), el Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) tiene el mandato de “abordar periódicamente el estado del medio ambiente en territorio de las Partes”. En cumplimiento de lo anterior, el Secretariado elaboró este informe, *El mosaico de América del Norte: panorama de los problemas ambientales más relevantes*, con el apoyo de expertos en elaboración de informes ambientales de Canadá, Estados Unidos y México.

En este informe se describe una amplia variedad de tendencias y condiciones ambientales a lo largo y ancho de América del Norte. El alcance y la diversidad del tema son asombrosos: de los diminutos e invasores mejillones cebrá a los gases de efecto invernadero mundiales medidos en teragramos; de las últimas vaquitas marinas sobrevivientes a las vastas extensiones de los ecosistemas marinos y los bosques boreales; de las moléculas invisibles de las sustancias químicas tóxicas al esmog y la neblina —demasiado visibles— que a menudo cubren nuestras ciudades.

Dicho esto, y como su título lo indica, el presente informe brinda un panorama general. No se trata de un abordaje exhaustivo de la problemática ambiental en su totalidad; otros estudios han descrito con mucho mayor detalle sus múltiples componentes. Incluso, la recopilación de indicadores ambientales de este documento está lejos de ser completa; muchas de las medi-

ciones no están disponibles a escala nacional, ya no digamos en formas comparables para toda la región. Sin embargo, esta descripción del medio ambiente de América del Norte resulta valiosa. Como mosaico de la información disponible, nos invita a considerar las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son los retos ambientales centrales que América del Norte enfrenta?
- ¿Cuáles son las principales prioridades para la acción conjunta de nuestros tres países a fin de enfrentar tales desafíos?
- ¿Cómo podemos medir nuestros avances y establecer mecanismos de retroalimentación eficaces?
- ¿Cómo podemos acentuar la importancia de la cooperación trinacional por medio de la Comisión para la Cooperación Ambiental?

A lo largo del próximo año, usaremos este informe, junto con otra información importante, a fin de que la ciudadanía, los especialistas en cada tema y las Partes participen en una evaluación cuidadosa de nuestros avances a la fecha y las oportunidades de cooperación en el futuro. La información reunida en este documento es un punto de partida para tal análisis.

En algunos casos, hay buenas noticias. Como se señala aquí y en nuestro informe anual *En balance*, las emisiones de muchos contaminantes atmosféricos de criterio y sustancias químicas tóxicas han disminuido con el tiempo. En otros casos, nuestra región sigue

enfrentando desafíos. En el área del cambio climático, a medida que crecen el consumo de energía y la población, las emisiones de gases de efecto invernadero siguen aumentando en niveles superiores a los de 1990, aquí y en el resto del mundo. Asimismo, el efecto acumulativo de las actividades humanas tiene repercusiones importantes para la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas.

Estos retos pueden parecer desalentadores, pero podemos superarlos con innovación y mecanismos efectivos de cooperación internacional. Consideremos las reducciones en sustancias químicas que ocasionan el agotamiento de la capa de ozono estratosférico. En sólo 15 años, América del Norte redujo la producción y el uso de estas sustancias dañinas casi 97 por ciento, como parte de un acuerdo mundial más amplio para sustituirlas por otras. Ahora se espera la recuperación de la capa de ozono para mediados de este siglo gracias a la cooperación internacional impulsada por el Protocolo de Montreal de 1987 y sus modificaciones.

Conforme empezamos a dar forma al plan estratégico de la Comisión para 2010-2015, nuestro desafío consiste en identificar los problemas ambientales en los que la cooperación ambiental sostenida por medio de la CCA puede obtener resultados reales e importantes. Esta labor beneficiará a los ciudadanos de los tres países y pondrá de manifiesto el liderazgo ambiental de América del Norte en el mundo. Representa un esfuerzo que, sin duda, habrá de redituarnos con creces.

**Felipe Adrián Vázquez Gálvez**

*Director ejecutivo*  
Secretariado de la Comisión  
para la Cooperación Ambiental



# Cambio climático

## Principales consideraciones

- Durante los pasados decenios el clima del planeta se ha alterado por la elevación de la temperatura de la superficie terrestre. Es muy probable que el calentamiento global se derive de los incrementos en las concentraciones atmosféricas de los gases de efecto invernadero producidos por las actividades humanas.
- En América del Norte las actividades relacionadas con la energía constituyen la mayor fuente de gases de invernadero. Algunas de estas emisiones se compensan por factores como los bosques y los sumideros de carbono de la agricultura.
- América del Norte es responsable de cerca de una cuarta parte de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero.
- Desde 1990, las emisiones de gases de invernadero se han incrementado cerca de 18 por ciento, lo que más o menos corresponde al ritmo de crecimiento del consumo total de energía.

El *cambio climático* se refiere a una alteración en el estado del clima que se puede observar por las modificaciones en la media o la variabilidad de sus propiedades y que persiste durante un periodo prolongado, por lo general décadas o incluso más tiempo. El cambio climático puede ser el resultado de procesos naturales internos o de la influencia de fuerzas externas —también de la naturaleza—, o bien ser provocado por cambios antropogénicos persistentes en la composición de la atmósfera o en el aprovechamiento del suelo.

## ¿Cuál es la problemática ambiental?

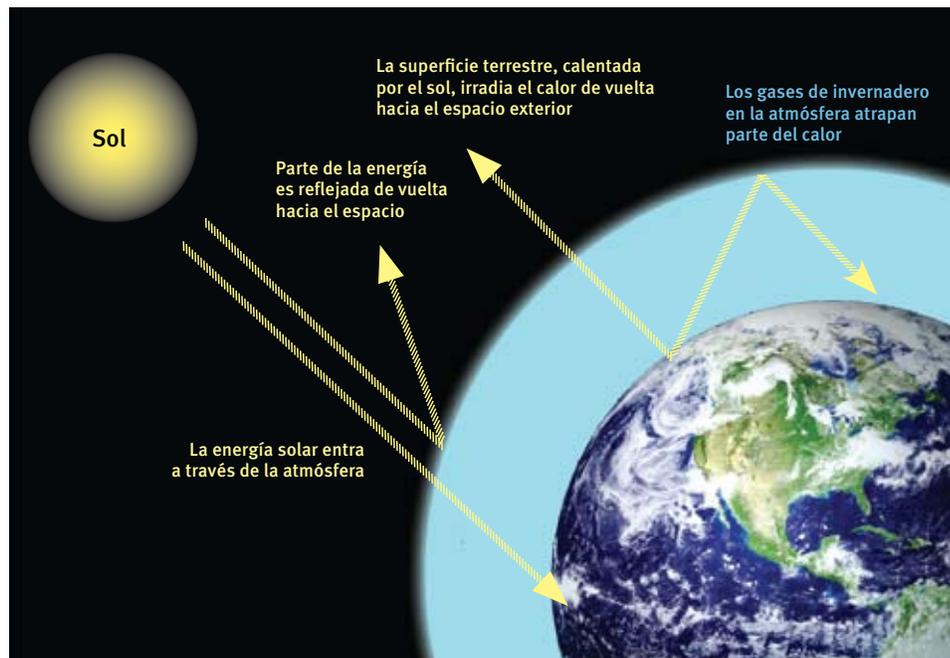
El cambio climático comprende cualquier cambio significativo en las propiedades climáticas, causado por procesos naturales internos, fuerzas externas o actividades humanas, que pueda medirse estadísticamente (como la temperatura media, la precipitación, el viento) y tenga una duración de décadas o aun más tiempo. El clima global ha registrado una considerable variabilidad a lo largo de la historia del planeta, pero durante los decenios pasados ha tenido alteraciones sin precedente. Los cambios consisten en aumentos excepcionalmente rápidos de las temperaturas promedio del aire cercano a la superficie terrestre y de los

océanos. A menos que se modifiquen las políticas y prácticas actuales, se proyecta que esta tendencia de calentamiento global continúe, al igual que una variedad de efectos asociados con el clima.

### El efecto invernadero

La energía del sol, que llega principalmente en forma de luz visible, determina el clima global y es la esencia de la vida en la Tierra. Cerca de 30 por ciento de la energía solar que el planeta recibe se dispersa hacia el espacio en la atmósfera exterior, pero el resto llega a la superficie, desde donde se refleja de nuevo al exterior en forma de radiación infrarroja. El escape de esta radiación infrarroja rumbo al espacio se retrasa por

### El efecto invernadero



los gases de efecto invernadero (GEI), como el vapor de agua, el dióxido de carbono, el ozono y el metano. Estos gases componen apenas uno por ciento de la atmósfera, pero actúan como el techo de vidrio de un invernadero: atrapan el calor y conservan el planeta más caliente de lo que de otra manera estaría. Sin el efecto invernadero natural, la temperatura promedio de la superficie terrestre sería inferior al punto de congelación del agua. Así, el efecto invernadero natural es un prerrequisito para la vida en la Tierra.

Con todo, las actividades humanas están muy probablemente intensificando el efecto invernadero natural. A los niveles naturales de GEI se añaden las emisiones de dióxido de carbono derivadas de la quema de combustible fósil, el metano y el óxido nitroso adicionales producidos por las actividades agrícolas y los cambios en el aprovechamiento del suelo, así como las emisiones de gases industriales de vida prolongada que no ocurren de manera natural. Como resultado, las emisiones de gases de invernadero se han incrementado desde la época preindustrial y tan sólo en el periodo 1970-2004 han aumentado 70 por ciento.

Debido a esas emisiones, las concentraciones atmosféricas globales de GEI han aumentado drásticamente, y ahora superan con mucho los valores preindustriales. La concentración de dióxido de carbono en la atmósfera se ha elevado a un nivel récord en comparación con los pasados 500,000 años, y lo ha hecho a un ritmo excepcionalmente rápido.

### Cambio climático global

Las repercusiones de los gases de invernadero adicionales en el clima global son evidentes en

los aumentos de las temperaturas promedio del aire y los océanos del planeta (sobre todo en las latitudes más altas), la descongelación generalizada de la nieve y el hielo, y la creciente elevación del nivel promedio de los mares. Once de los pasados doce años (1995-2006) figuran entre los años más calientes registrados desde 1850. En los últimos tres decenios, el banco de hielo del Ártico se ha reducido en un área promedio anual equivalente a las superficies de Texas y Arizona juntas, y la tendencia de deshielo se acelera.

La mayor parte del aumento observado en las temperaturas promedio mundiales los pasados 50 años se puede atribuir, muy probablemente, al incremento de las concentraciones de gases de invernadero antropogénicas. De hecho, el efecto humano en el clima supera con creces el causado por los procesos naturales conocidos, como los cambios solares y las erupciones volcánicas. Las actuales temperaturas mundiales son más altas que las de al menos los pasados cinco siglos; se podría hablar incluso de un milenio. Si el calentamiento no se detiene, el cambio climático de este siglo será en extremo inusual en términos geológicos.

### ¿Por qué es importante este asunto para América del Norte?

América del Norte padece ya graves daños económicos locales, así como alteraciones de los ecosistemas, sociales y culturales sustanciales, a raíz de fenómenos relacionados con el clima, incluidos huracanes, otras tormentas intensas, inundaciones, sequías, ondas de calor e incendios forestales más frecuentes y de mayor enver-



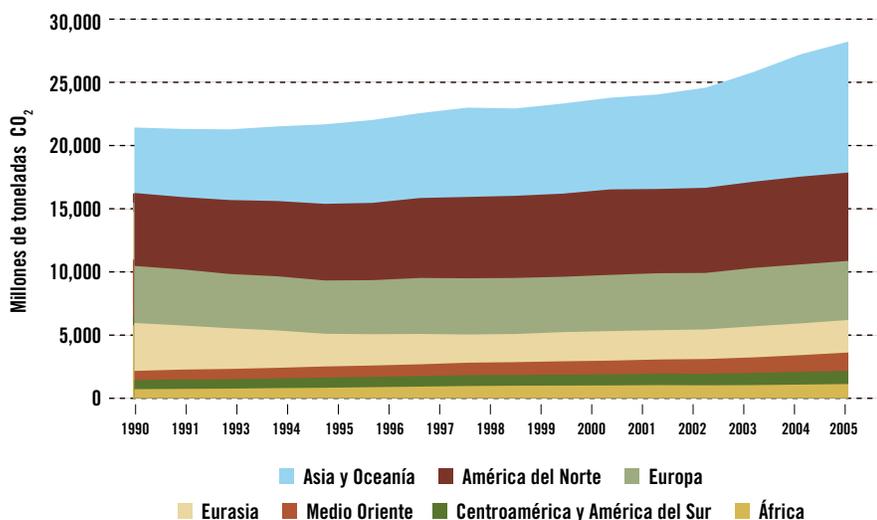
Árboles devastados por infestación de insectos.

gadura. Aunque el cambio climático no da cuenta de todos los extremos del estado del tiempo, sí exagera el riesgo de los fenómenos climáticos extremos y desastres naturales asociados al afectar su frecuencia, intensidad y duración. El daño económico causado por la severidad del clima aumenta de manera drástica, sobre todo por el creciente valor de la infraestructura en riesgo. Los costos anuales en América del Norte han llegado a decenas de miles de millones de dólares por daños en la propiedad y disminución de la productividad económica, así como alteraciones o pérdidas de vida. Estos patrones del cambio climático continuarán a menos que las emisiones de gases de invernadero y sus correspondientes concentraciones en la atmósfera, que motivan el calentamiento global, se reduzcan de manera radical.

### Emisiones de gases de efecto invernadero en América del Norte

Con alrededor de siete por ciento de la población mundial, América del Norte es responsable de 25 por ciento de las emisiones totales del gas de efecto invernadero más importante: el dióxido de carbono (véase la gráfica). En nuestra región cada persona emite el doble de dióxido de carbono que en Europa, más de cinco veces el de Asia y más de 13 veces el de África. Las emisiones per cápita son muchas veces más altas en Canadá y Estados Unidos que en México. Estos índices elevados son resultado de niveles más altos de actividad económica por habitante, lo cual genera emisiones de GEI, en particular las asociadas con el consumo de energía.

### Emisiones mundiales de dióxido de carbono



Fuente: Administración de Información sobre Energía de Estados Unidos (US Energy Information Administration).

## Fuentes de emisiones

Desde 1990 las emisiones de gases de invernadero en América del Norte han crecido casi 18 por ciento (véase la gráfica), a una tasa casi igual que la del consumo total de energía, pero mucho más lentamente que el producto interno bruto global. Sin los avances significativos registrados en la eficiencia energética y la productividad durante este periodo, el índice habría sido aún más elevado.

De modo similar a la situación mundial, el dióxido de carbono constituye más de 80 por ciento de las emisiones totales de gases de invernadero en América del Norte. La fuente más importante de ese gas, y de las emisiones globales de GEI estriba en las actividades relacionadas con la energía, en particular, la generación eléctrica, el transporte y el consumo industrial de combustible.

La conversión de combustible fósil en energía (sobre todo eléctrica) es lo que más contribuye a las emisiones de dióxido de carbono de América del Norte. Más de la mitad de la electricidad producida en la región se consume en edificaciones, lo que convierte a ese uso individual en uno de los factores más relevantes de las emisiones de la zona. A 2003 las emisiones de dióxido de carbono de tan sólo las edificaciones de Estados Unidos fueron mayores que las emisiones totales de cualquier otro país, salvo China.

El sector transporte es el segundo emisor de dióxido de carbono en América del Norte. Este sector y sus emisiones asociadas de dióxido de carbono han crecido de manera constante durante los pasados 40 años. El crecimiento ha sido más rápido en México, el país más dependiente del transporte carretero.

Los responsables del restante 20 por ciento de las emisiones de gases de invernadero son las emisiones de metano de los sistemas de gas natural, los rellenos sanitarios y las fuentes agrícolas; el óxido nitroso de la fertilización con nitrógeno y la quema de combustible, y ciertos gases industriales fluorinados.

Los gases industriales fluorinados —hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>)— son potentes GEI, con un prolongado tiempo de vida en la atmósfera. Aunque suman sólo dos por ciento del total global de los gases con efecto invernadero en América del Norte, sus emisiones se han incrementado de manera radical: hasta 72 por ciento de 1990 a 2005. Algunas emisiones industriales han declinado, pero este logro se ha visto más que neutralizado como resultado de haberse optado por los HFC y los PFC como sustitutos de los clorofluorocarbonos (CFC) y otras sustancias agotadoras del ozono, en particular la introducción del HFC-134 A como

sustituto de los CFC en los aparatos de refrigeración y aire acondicionado.

## Recaptura de carbono

Mediante actividades relativas al manejo del suelo es posible remover parte de las emisiones industriales de gases de efecto invernadero. Los bosques y otras clases de vegetación funcionan como sumideros naturales al capturar, secuestrar, el carbono; sin embargo, su efecto neto es sumamente variable en América del Norte. En 2005, gracias a actividades forestales, al aprovechamiento del suelo y a cambios en el uso del suelo, se capturó más de 11 por ciento de las emisiones de GEI de Estados Unidos; el secuestro neto de carbono —sobre todo a través de un índice más elevado de acumulación neta de carbono en los bosques en crecimiento— fue 16 por ciento mayor que en 1990. En Canadá, la contribución de las actividades de manejo del suelo fue en extremo variable: dieron cuenta de más de 20 por ciento de la acumulación de carbono en 1990, pero sólo dos por ciento en 2005; esta fluctuación se atribuye a las grandes y variables consecuencias de las emisiones de los incendios forestales. En México, las actividades de manejo del suelo contribuyeron a las emisiones totales de gases de invernadero a causa de la deforestación y la tala por clareo: en 2002 el aprovechamiento del suelo, el cambio en el uso del suelo y las actividades forestales dieron cuenta de 14 por ciento de las emisiones totales de GEI en el país.

## ¿Cuáles son sus vínculos con otras cuestiones ambientales de América del Norte?

Conforme avanza el cambio climático, se prevé que América del Norte enfrente desafíos adicionales, algunos de los cuales se describen en el Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático.

## Salud humana

Para finales del siglo XXI el cambio climático, con sus temperaturas más altas y condiciones extremas en la forma de ondas de calor más prolongadas e intensas, tendrá acentuados efectos en la salud humana, sobre todo de los ancianos. Es factible que el calentamiento y los extremos climáticos, incluida la exposición adicional al polen y el ozono, generen mayores enfermedades respiratorias. Los periodos de clima extremo y lluvia intensa podrían motivar e incrementar las enfermedades transmitidas por el agua y degradar la calidad del vital líquido. También es probable que el cambio climático acelere la propagación de enfermedades infecciosas transmitidas por vectores,

incluidas la enfermedad de Lyme y el virus del Nilo occidental. En México, el Instituto Nacional de Ecología ha establecido un vínculo directo entre las temperaturas más altas y un aumento en la incidencia del dengue desde 1995.

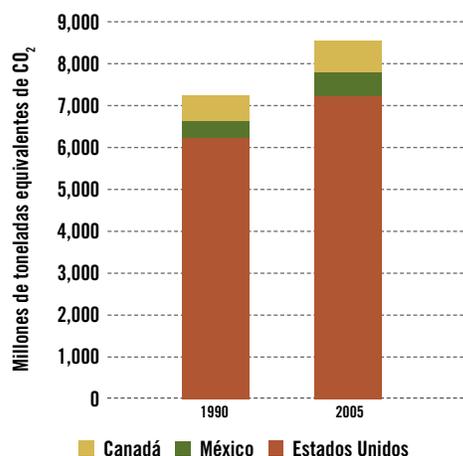
## Cantidad y calidad del agua

Al hacer sus proyecciones, los científicos están menos seguros de los patrones de precipitación del futuro que de las temperaturas. Con todo, proyectan que el calentamiento en las montañas del oeste reducirá el banco de hielo, aumentará la evaporación, producirá más inundaciones de invierno y reducirá los flujos de verano exacerbando la competencia entre los usos ecológicos e industriales del agua en occidente. En los Grandes Lagos y los principales sistemas ribereños, los niveles de agua menores probablemente entrañen desafíos de adaptación relacionados con la calidad del agua, la navegación, la recreación, la generación hidroeléctrica, las transferencias de agua y las relaciones binacionales. Algunos estudios prevén aumentos generalizados de las precipitaciones extremas, con riesgos mayores no sólo de inundaciones sino también de sequías. En México, los estudios indican que casi 97 por ciento del país es susceptible a un grado moderado o elevado de desertificación y reducción de la precipitación como resultado del cambio climático.

## Océanos, costas y pesquerías

Las comunidades y hábitats costeros son particularmente vulnerables al cambio climático. Los niveles del mar se están elevando a lo largo de gran parte de las costas, y el índice de cambio se

Emisiones de gases de invernadero en América del Norte



Nota: Se excluyen las emisiones derivadas del manejo de suelo; los datos más recientes de México corresponden a 2002, no a 2005. Fuente: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

acelerará en el futuro, empeorando los efectos de inundaciones progresivas, inundaciones causadas por tormentas y la erosión de la línea costera. Es probable que se intensifique la destrucción infligida por las tormentas, sobre todo en el Golfo y el Atlántico. Aparte del aumento de los niveles del mar, los habitantes y especies silvestres que dependen de la costa se ven amenazados por cambios en la vegetación y un entorno edificado que bloquea la migración tierra adentro.

### Cambio y alteraciones del hábitat

El cambio climático es un factor del creciente número de perturbaciones relacionadas con el clima en América del Norte, como los incendios forestales y las plagas de insectos, perturbaciones que —todo indica— se intensificarán con los suelos más secos y temporadas de cultivo más prolongadas que se vislumbran en el futuro. Aunque en algunas zonas el crecimiento de la vegetación puede responder en forma positiva a las recientes tendencias climáticas, es probable que una creciente incidencia de alteraciones limite el almacenamiento de carbono, permita la proliferación de especies invasoras y perturbe los servicios ambientales que los ecosistemas brindan. A medida que los veranos se tornen más calientes, se prevé que la ventana de alto riesgo de incendios se hará más extensa (véase el estudio de caso).

Con el tiempo las especies responderán a las presiones climáticas desplazándose al norte y a zonas más altas en busca de hábitats más adecuados, recomponiendo así los ecosistemas de América del Norte. La estructura, función y servicios de los ecosistemas se modificarán en respuesta a las diversas capacidades de las especies para cambiar de áreas de distribución y ante las restricciones impuestas por la urbanización, la fragmentación del hábitat, las especies invasoras y otras presiones. Esta alteración de los ecosistemas será más profunda en zonas donde elevados índices de perturbación han dejado extensas superficies abiertas para la recolonización con vegetación. En México, la mitad de la cubierta vegetal nacional podría sufrir alteraciones, incluida la desaparición de ciertas zonas y cambios en otras; se proyecta que el cambio climático y los patrones de aprovechamiento del suelo provocarán el reemplazo de los bosques tropicales del centro y sur del país con sabanas, y que la vegetación semiárida de la mayor parte del centro y el norte de México será sustituida por vegetación árida. Se prevé que el cambio en la distribución de los hábitats afecte a las especies que habitan esos ecosistemas; así, en las zonas tropicales de México algunas especies podrían llegar a extinguirse por completo. 🦋

## Estudio de caso – Más alteraciones en el ecosistema forestal

Los bosques de América del Norte están siendo afectados indirectamente por el clima mediante los efectos de alteraciones naturales como incendios forestales, insectos y enfermedades

### Incendios forestales

El área consumida por incendios en Estados Unidos y Canadá se ha incrementado drásticamente durante los pasados tres decenios. La intensidad de los incendios forestales está muy relacionada con la disponibilidad de biomasa seca, muerta, de la que éstos se alimentan. Un clima caliente produce veranos más largos que secan el material combustible, promoviendo así la ignición más rápida y la propagación más veloz de los incendios forestales. Desde 1980 los incendios forestales de Estados Unidos han consumido un promedio de 22,000 kilómetros cuadrados (km<sup>2</sup>) al año, o casi el doble del promedio de 13,000 km<sup>2</sup> de 1920 a 1980. De 1987 a 2003 en el occidente de ese país la superficie boscosa quemada fue 6.7 veces la de 1970 a 1986. En Canadá, el área quemada sobrepasó los 60,000 km<sup>2</sup> al año en tres ocasiones desde 1990; es decir, el doble del promedio de largo plazo. En la región boreal de América del Norte la superficie incendiada subió de 6,500 km<sup>2</sup> al año en el decenio de 1960 a 29,700 km<sup>2</sup> anuales en los años noventa. La vulnerabilidad de los seres humanos a los incendios forestales también ha crecido por el incremento de la población y los desarrollos habitacionales en las zonas boscosas.

### Insectos y enfermedades

Los insectos y las enfermedades son parte natural de los ecosistemas. En los bosques, epidemias periódicas de insectos matan árboles a lo largo de extensas regiones. Las epidemias recientes se han relacionado con las fases de mayor vulnerabilidad al clima en los ciclos de vida de los insectos. Muchos insectos del norte tienen un ciclo de vida de dos años, y las temperaturas más cálidas del invierno dan lugar a que una fracción mayor de las larvas sobreviva. Recientemente, en Alaska, los gusanos de las yemas de la picea completaron su ciclo de vida en un año, en lugar de los dos habituales. El escarabajo de pino de montaña ha incrementado su área de distribución en Columbia Británica hacia zonas antes muy frías. La susceptibilidad de los árboles a los insectos se ha incrementado en casos en que periodos multianuales de sequía han degradado su capacidad para generar sustancias químicas defensivas. La reciente mortandad de rodales de álamo temblón en Alberta fue causada por las nevadas ligeras y las sequías registradas en la década de 1980, mismas que desencadenaron la defoliación por orugas, seguida por plagas de insectos barrenadores de la madera y hongos patógenos. La presencia de zonas extensas de árboles secos en pie, muertos, exacerba el riesgo de grandes incendios forestales.



Incendio forestal en California.

## Ozono troposférico

### Principales consideraciones

- El ozono troposférico, a diferencia del que se encuentra en la estratosfera, daña la salud humana, la vegetación y los materiales. El ozono y sus sustancias químicas precursoras viajan a través de las fronteras, tanto de América del Norte como las continentales.
- Los seres humanos contribuyen a la formación de ozono troposférico sobre todo mediante la quema de combustibles fósiles en el transporte, la industria y las centrales eléctricas. La evaporación de combustibles líquidos y solventes se incorporan a la formación de ozono.
- En ciertas zonas de América del Norte los niveles de ozono troposférico exceden las normas nacionales de protección de la salud humana.
- Desde 1990 las emisiones totales de sustancias precursoras del ozono han disminuido en América del Norte, pero la tendencia en la exposición humana en las tres naciones es mixta: refleja las diferencias en las condiciones de cada lugar y los métodos de registro.

El *ozono troposférico* es un gas incoloro y muy irritante creado por reacciones fotoquímicas entre los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles producidos en buena medida por la quema de combustible, vapores de gasolina y solventes químicos.

### ¿Cuál es la problemática ambiental?

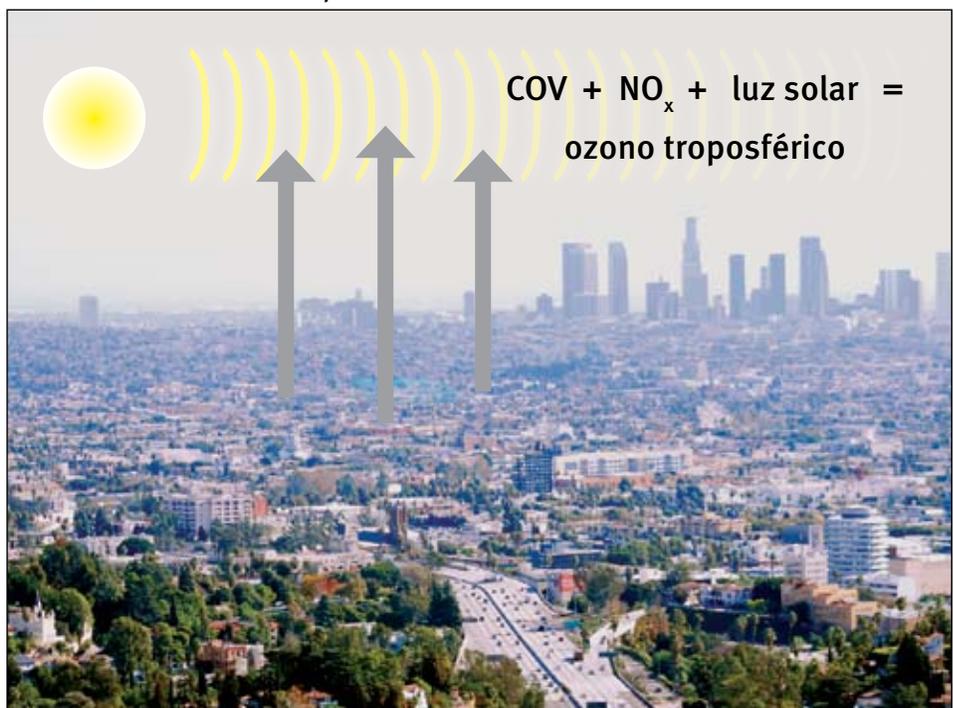
El ozono ( $O_3$ ) es un gas que se encuentra en diversas partes de la atmósfera. El de la atmósfera superior, o estratosfera, es un gas esencial que ayuda a proteger a la Tierra de los dañinos rayos ultravioletas del sol. En contraste, el ozono hallado cerca de la superficie, en la troposfera, perjudica tanto a la salud humana como al medio ambiente. Por esta razón el ozono se describe a menudo como “bueno arriba y malo de cerca”.

El ozono troposférico (también llamado “ozono ambiental” u “ozono de bajo nivel”) se produce cuando los óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ) y los compuestos orgánicos volátiles (COV) de fuentes como la quema de combustible reaccio-

nan mediante procesos fotoquímicos a la luz del sol (véase la ilustración). Las centrales eléctricas, el escape de los vehículos automotores, los vapores de la gasolina y los solventes químicos son las fuentes principales de estas emisiones.

El ozono también se forma en niveles bajos proveniente de emisiones naturales de COV,  $NO_x$  y CO (precursores de ozono), así como del ozono estratosférico que en ocasiones desciende a la superficie terrestre. Las fuentes naturales de los precursores de ozono incluyen las emisiones de plantas y suelos, los incendios forestales y los rayos durante las tormentas eléctricas. En muchos lugares remotos de latitud media se observan altas concentraciones de ozono a finales del invierno y la primavera, sobre todo en altu-

### Cómo se forma el ozono troposférico





densamente pobladas que emiten los precursores necesarios. En el hemisferio norte los niveles de ozono suelen ser más elevados por las tardes de los meses en que las temperaturas son altas y la influencia de la luz solar directa es más intensa.

### ¿Por qué es importante este asunto para América del Norte?

El ozono troposférico tiene efectos nocivos en la salud humana y animal, así como en el medio ambiente. A pesar de los esfuerzos por reducirlo en los tres países, sus concentraciones aún exceden las normas nacionales de calidad del aire en algunas zonas de América del Norte.

#### Efectos del ozono troposférico

El ozono troposférico, componente básico del smog, se considera un problema “sin umbral” porque incluso en muy pequeñas cantidades en el aire tiene efectos nocivos en la salud humana, en particular los sistemas cardiovascular y respiratorio. La exposición al ozono se ha vinculado con la mortalidad prematura y una gama de cuestiones de morbilidad, como admisiones en hospitales y síntomas de asma. Luego de analizar la contaminación atmosférica y los datos sobre mortalidad de ocho ciudades canadienses importantes, el Ministerio de Salud de Canadá calculó que en esos centros urbanos casi 6,000 muertes al año se podían atribuir a la contaminación atmosférica, cuyo componente mayoritario es el ozono troposférico. De acuerdo con la Asociación Médica de Ontario, los costos de la contaminación para los residentes de esa provincia ascienden a más de mil millones de dólares canadienses al año en admisiones hospitalarias, visitas a las salas de urgen-

cias y ausentismo. En Estados Unidos los estudios de 95 importantes zonas urbanas realizados por investigadores de Yale y Johns Hopkins revelan que el aumento de los niveles diarios de ozono se asoció con más de 3,700 muertes anuales por enfermedades cardiovasculares y respiratorias.

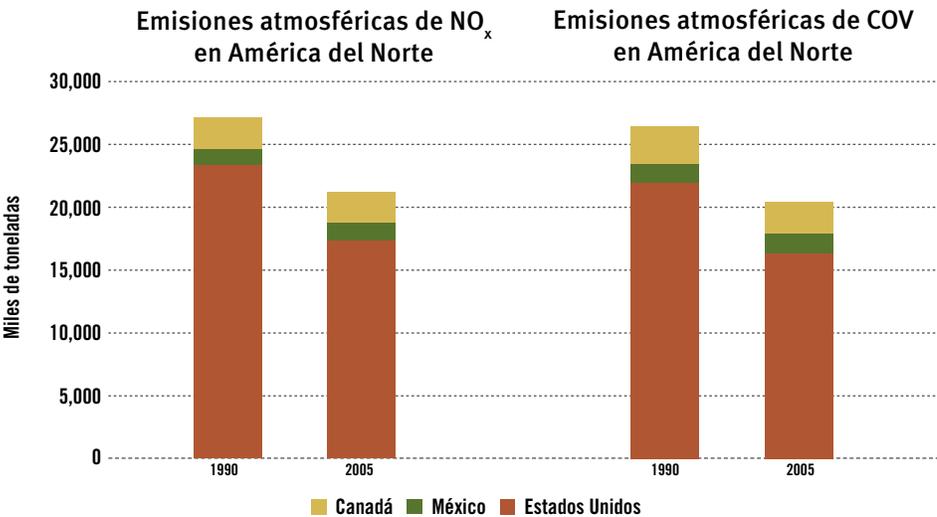
cias y ausentismo. En Estados Unidos los estudios de 95 importantes zonas urbanas realizados por investigadores de Yale y Johns Hopkins revelan que el aumento de los niveles diarios de ozono se asoció con más de 3,700 muertes anuales por enfermedades cardiovasculares y respiratorias.

El ozono troposférico también daña la vegetación, la productividad de los cultivos, las flores, los matorrales y los bosques. Es más, puede deteriorar el algodón y los materiales sintéticos, producir roturas en el caucho, acelerar el desdoblamiento de ciertas pinturas y recubrimientos.

#### Reducción de emisiones

Los primeros intentos por mitigar las concentraciones de ozono troposférico en toda América del Norte, mediante reducciones orientadas a las emisiones de precursores, se registraron en el decenio de 1970. Como resultado, las emisiones tanto de NO<sub>x</sub> como de COV en Estados Unidos disminuyeron de modo significativo, pese al importante crecimiento económico. En Canadá, las emisiones de COV han disminuido, pero la tendencia de las emisiones de NO<sub>x</sub> ha permanecido casi igual desde 1990. México ha registrado bajas en las emisiones vehiculares de NO<sub>x</sub> y COV, pero incrementos en las de fuentes fijas o estacionarias. En general, las emisiones atmosféricas de precursores del ozono troposférico en América del Norte han disminuido desde los noventa: las emisiones de óxidos de nitrógeno y de COV cayeron más de 20 por ciento (véanse las gráficas).

En los tres países, la quema de combustible de fuentes móviles es una de las fuentes más grandes de emisiones de NO<sub>x</sub> y COV. En Estados Unidos y México las centrales eléctricas que funcionan con combustible fósil se suman significativamente a las emisiones de NO<sub>x</sub>, en tanto que en Canadá las primeras etapas de producción de petróleo y gas constituyen la primera fuente industrial de emisiones de estas sustancias. Aparte de los combustibles del sector del transporte, los solventes son una fuente importante de COV en los tres países, pero la producción de petróleo y gas es también una actividad que contribuye de manera relevante en Canadá.

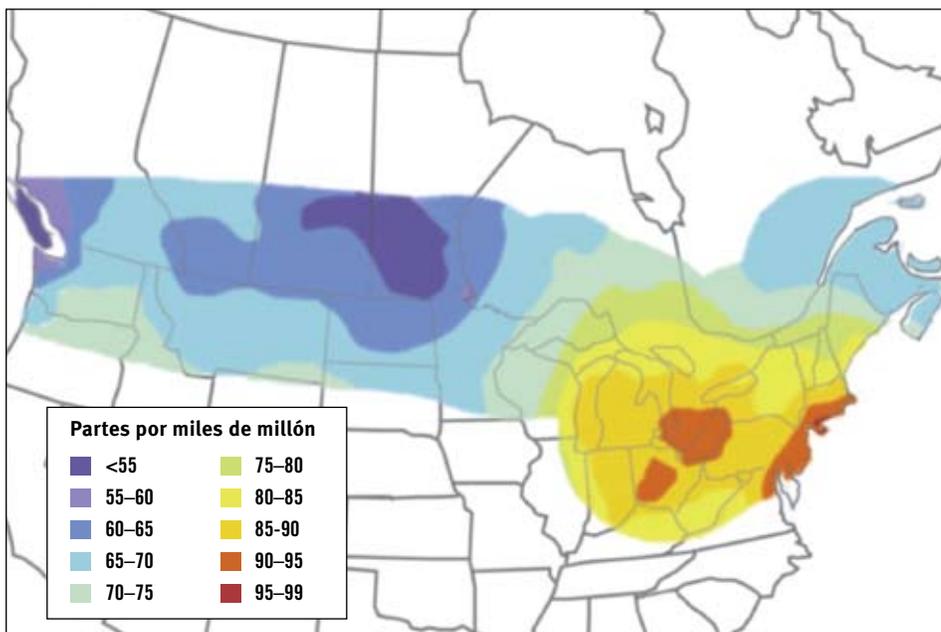


#### Tendencias de monitoreo del ozono

En la actualidad se cuenta con varias redes de datos sobre el ozono en América del Norte. Sin embargo, la caracterización de las tendencias y los patrones es limitada debido a la falta de congruencia de estos conjuntos de datos y de los métodos para preparar y registrar los resultados. También es difícil derivar tendencias significativas porque las condiciones varían de manera considerable en escala regional. Con todo, el

Fuentes: Ministerio de Medio Ambiente de Canadá (*Environment Canada*), Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (*US Environmental Protection Agency*) e Instituto Nacional de Ecología de México (los datos más recientes de México corresponden a 2002, no a 2005).

## Concentraciones de ozono a lo largo de la frontera Canadá-Estados Unidos, 2002-2004



Fuente: Comité Canadá-Estados Unidos sobre Calidad del Aire (Canada-United States Air Quality Committee).

actual monitoreo revela que los niveles de ozono ambiental exceden las normas nacionales en ciertas zonas de los tres países.

En Canadá, las tendencias del ozono ambiental basadas en la Norma Pancanadiense (*Canada-wide Standard, CWS*) permanecieron en buena medida sin cambios durante los pasados 15 años, hasta 2005. Sin embargo, el indicador canadiense de la exposición humana al ozono se elevó un promedio de 0.8 por ciento anual: un aumento total de 12 por ciento de 1990 a 2005. A la cabeza de este indicador nacional, que se pondera por la población, se encuentran las concentraciones de ozono y las poblaciones de Ontario y el sur de Quebec. En 2005 las comunidades de estas zonas registraron las concentraciones más elevadas de ozono troposférico, tanto en relación con la CWS como por sus promedios estacionales. Muchas estaciones de monitoreo en Alberta también registraron altas concentraciones estacionales promedio. En 2005 cuando menos 40 por ciento de la población canadiense vivía en comunidades con concentraciones de ozono por arriba de la meta ambiental de la CWS.

En Estados Unidos, las concentraciones nacionales promedio de ozono durante una hora y ocho horas cayeron doce y ocho por ciento, respectivamente, entre 1990 y 2005. Pese a las disminuciones, en 2005 más de diez por ciento de la población estadounidense vivía en condados con concentraciones de ozono por arriba de la norma nacional de una hora para la calidad del aire am-

biente en relación con el ozono, y cuando menos 33 por ciento vivía en condados con concentraciones por encima de la norma de ocho horas.

En México, la frecuencia de días en que las concentraciones de ozono troposférico excedieron la norma ha permanecido constante en el tiempo en la mayoría de las ciudades con monitoreo. Sin embargo, en la Ciudad de México y Guadalajara persisten los problemas graves de calidad del aire. En 2005 al menos 27.7 por ciento de los mexicanos vivía en municipios en los que las concentraciones de ozono estuvieron por encima de la norma nacional cuando menos un día al año.

### Flujos transfronterizos

Tanto estudios de campo como modelos por computadora confirman que en varias zonas de América del Norte el problema del ozono es resultado de complejas interacciones de procesos meteorológicos en diversas escalas y las emisiones de precursores y su química. A veces los niveles de ozono son producto sobre todo de emisiones locales, con apenas contribuciones menores de fuentes ubicadas viento arriba, pero en otras ocasiones, los niveles de ozono dominados por el transporte de ozono y sus precursores provenientes de fuentes a barlovento.

Los análisis de los niveles de ozono en una franja de 500 kilómetros de ancho a todo lo largo de la frontera entre Canadá y Estados Unidos descubrieron niveles más elevados en la región baja de los Grandes Lagos y el valle de Ohio, así

como en la costa oriental estadounidense (véase el mapa). Los valores más bajos de ozono se encuentran por lo general en el oeste y en el Canadá del Atlántico. Los niveles suelen ser más altos viento abajo en las zonas urbanas, por ejemplo en las porciones occidentales de la parte inferior de Michigan. Los niveles locales más altos en las complejas tierras de la cuenca de Georgia y la sonda Puget de Columbia Británica y el estado de Washington no tienen suficiente resolución en el mapa, aunque son menores que en el este. De 1995 a 2004 se registró una disminución de los niveles anuales de ozono en esta región fronteriza, con líneas de tendencia monitoreadas similares en ambos lados de la frontera.

Las concentraciones de ozono en la región fronteriza de Estados Unidos y México persisten como una preocupación en algunas zonas. Aunque en el valle del río Bravo ningún día de 2005 excedió la norma binacional del ozono de ocho horas, otros lugares monitoreados en ciudades hermanas demostraron niveles por encima de la norma, incluidos los dos Nogales (un día), Ciudad Juárez-El Paso (seis días), Tijuana-San Diego (11 días) y Mexicali-Imperial Valley (24 días). Si bien en general el cumplimiento de la norma sobre el ozono está mejorando, Mexicali/Imperial Valley y Tijuana-San Diego permanecieron constantemente por arriba de la norma aplicable de 2001 a 2005.

El transporte de ozono y sus precursores trasciende las fronteras de América del Norte. Es ésta una fuente de ozono troposférico para Europa, igual que Asia lo es para América del Norte. En términos más generales, los niveles de ozono troposférico crecen en todo el planeta y han creado concentraciones "de fondo" de ozono, incluso en zonas remotas que no están directamente afectadas por la influencia humana. El análisis retrospectivo de datos de Europa que se remontan al siglo XVIII sugiere que las concentraciones de ozono en el hemisferio norte tal vez se hayan duplicado durante el siglo pasado como consecuencia de la masiva industrialización que ha tenido lugar. Las actuales concentraciones "de fondo" en América del Norte son de 30-40 partes por mil millones.

### ¿Cuáles son sus vínculos con otras cuestiones ambientales de América del Norte?

El ozono y sus contaminantes precursores están vinculados con las partículas suspendidas (PM), otro componente del smog, y la acidificación, la eutrofización y el cambio climático.

### Partículas suspendidas

Cuando el nitrato —producto de la oxidación del dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ )— se combina con otros componentes de la atmósfera, como el amoníaco, se torna en un importante contribuyente de la formación secundaria de partículas finas ( $\text{PM}_{2.5}$ ). Los COV son también precursores de contaminantes para la formación secundaria de  $\text{PM}_{2.5}$ . El ozono y las partículas suspendidas comparten algunos gases precursores comunes y las reducciones en cualquiera de estos precursores pueden tener resultados complejos y en ocasiones negativos en las concentraciones tanto de ozono como de partículas suspendidas. Los esfuerzos para reducir las concentraciones de estas últimas suelen integrarse en los programas de gestión de la calidad del aire para evitar resultados negativos en la atmósfera.

### Acidificación

Los óxidos de nitrógeno se forman básicamente del nitrógeno liberado durante los procesos de combustión. El óxido de nitrógeno emitido durante la combustión se oxida con rapidez para formar dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) en la atmósfera. Éste después se disuelve en el vapor de agua en el aire para formar ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), e interactúa con otros gases y partículas en el aire para formar otras partículas conocidas como nitritos y nitratos, así como otros productos que pueden resultar dañinos para las personas y el medio ambiente. Tanto el  $\text{NO}_2$  sin transformar como el ácido nítrico y los productos de su transformación pueden tener efectos adversos en la salud o el medio ambiente, toda vez que perjudican la vegetación, los edificios y los materiales, y contribuyen a la acidificación de los ecosistemas acuáticos y terrestres.

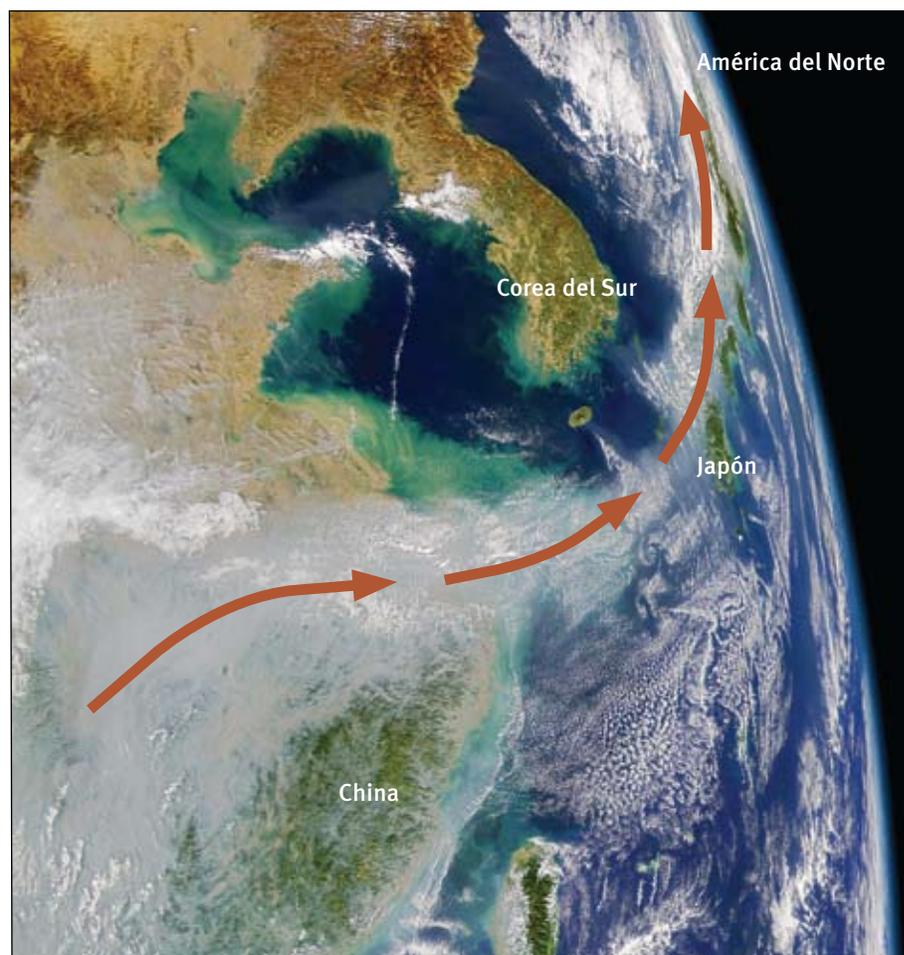
### Eutrofización

Las emisiones de nitrógeno no sólo contribuyen a la formación de deposiciones ácidas, sino que también pueden fungir como nutriente en los ecosistemas, lo que se traduce en la eutrofización o enriquecimiento excesivo de tierras y cuerpos de agua.

### Cambio climático

Cuando está presente en la troposfera superior, el ozono es un gas de efecto invernadero muy eficaz. Las estrategias para reducir las concentraciones de ozono en los ámbitos urbanos y regionales tal vez ayuden a limitar la contribución del ozono troposférico al efecto invernadero y el calentamiento global. 🦋

## Estudio de caso – Transporte de la contaminación asiática a América del Norte



Fuente: Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio de Estados Unidos (National Aeronautics and Space Administration, NASA).

Un estudio reciente plantea que el transporte transpacífico de la contaminación de Asia influye en la calidad del aire de América del Norte durante la primavera y el verano. Cantidades incluso muy pequeñas de las emisiones de Asia que llegan a América del Norte durante el verano pueden tener repercusiones significativas para el manejo de la calidad del aire.

En el verano las emisiones de Asia y Europa contribuyen con 4-7 partes por mil millones de volumen (ppmv) a las concentraciones de ozono vespertino en el aire superficial de Estados Unidos, lo que da lugar a violaciones de la norma de calidad del aire. Si las emisiones de origen antropogénico de Asia se triplican —como se prevé— de 1984 a 2010, el ozono superficial en Estados Unidos podría crecer 1-5 ppmv en el verano.

El transporte a grandes distancias de la contaminación de Asia a través del Pacífico alcanza su máximo nivel en la primavera, por la intensa actividad ciclónica y los fuertes vientos de occidente. El flujo asiático más fuerte ocurre en la parte media de la troposfera. La contaminación asiática se puede transportar por el Pacífico en 5-10 días; esta exportación por convección compite durante el verano con la exportación de ciclones de latitud media. El transporte transpacífico ocurre sobre todo en las partes media y superior de la troposfera, con un tiempo de transporte promedio de 6-10 días.

De acuerdo con el análisis, las masas de aire asiático contenían elevados niveles de monóxido de carbono, ozono, partículas suspendidas y otras sustancias químicas resultantes de la influencia dominante de las emisiones por combustión en el este asiático. Los niveles elevados de metanol y acetona indican que las emisiones naturales se combinaron con el flujo contaminado.

# Partículas suspendidas

## Principales consideraciones

- Las partículas suspendidas (materia particulada o partículas de materia, PM) en la atmósfera son una causa subyacente de ciertos problemas graves para la salud humana, incluidas cardiopatías y enfermedades respiratorias. Las PM tienen también efectos adversos en la vegetación y los materiales de las edificaciones, además de contribuir a la neblina regional y los problemas de visibilidad. Las partículas y las emisiones que contribuyen a su formación se transportan en el aire a través de las fronteras estatales, provinciales, nacionales y continentales.
- Diversas fuentes naturales y antropogénicas generan emisiones directas de PM al aire, entre ellas el equipo pesado, los incendios, la quema de basura y el polvo derivado de los caminos de terracería, la trituración de piedra y los sitios en construcción. Las partículas suspendidas se forman también a partir de sustancias químicas precursoras emitidas por los vehículos, las centrales eléctricas y las plantas industriales.
- En algunas zonas de América del Norte los niveles de PM exceden las normas nacionales para la protección de la salud humana.
- A partir de 1990 las emisiones totales de PM y sus precursores han declinado en América del Norte, pero la tendencia en materia de exposición humana varía entre los tres países debido a diferencias en las condiciones locales y los métodos de registro.

Las *partículas suspendidas* son una mezcla de partículas sólidas y gotículas líquidas que flotan en el aire. Entre sus componentes figuran sulfatos, nitratos, amonio, carbón orgánico, carbón mineral, metales y polvo de tierra.

## ¿Cuál es la problemática ambiental?

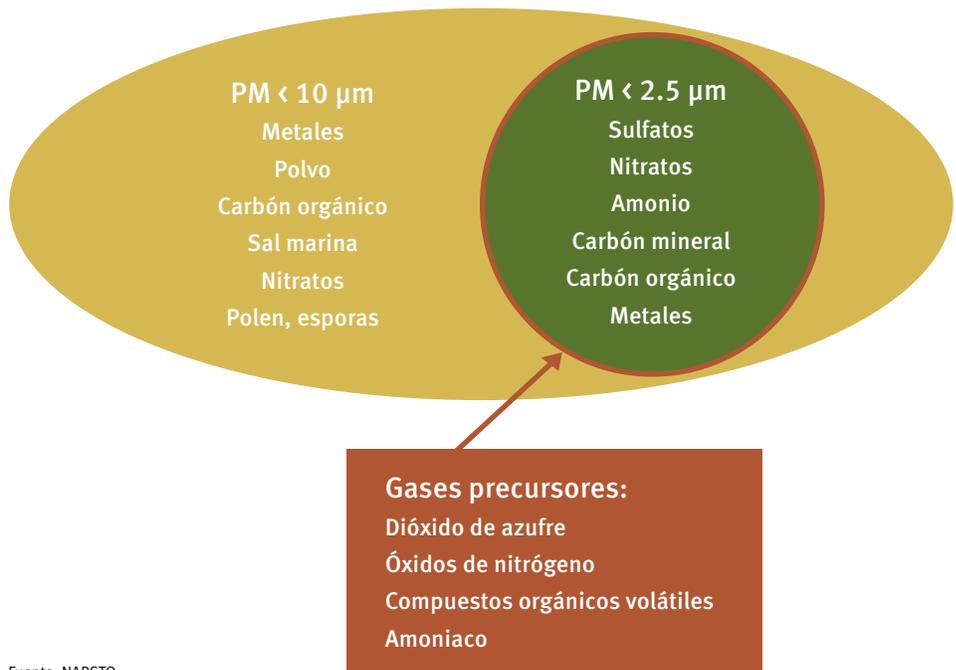
Las partículas suspendidas se componen de partículas sólidas y gotículas líquidas que se encuentran en el aire. Lo mismo pueden ser suficientemente grandes como para ser detectadas a simple vista, que mucho más pequeñas que el diámetro de un cabello humano. La masa ambiental de PM es una mezcla compleja muy dependiente de las características de la fuente.

El muestreo de partículas se hace por lo general en dos rangos, según el tamaño: las PM<sub>2.5</sub> o partículas “finas”, cuyos diámetros aerodinámicos son iguales o inferiores a 2.5 micrómetros (µm), y las PM<sub>10</sub>, que comprenden las partículas finas y a las que se agregan partículas “gruesas”

con diámetros aerodinámicos de hasta 10 µm (cerca de la séptima parte del diámetro de un pelo humano) (véase la gráfica). Dependiendo de su tamaño, las partículas se comportan de manera distinta en la atmósfera: las más pequeñas se pueden mantener suspendidas durante largos periodos y viajar cientos de kilómetros; las partículas más grandes no se sostienen en el aire mucho tiempo porque tienden a depositarse más cerca de su lugar de origen.

En general, la parte gruesa de las PM<sub>10</sub> se componen en buena medida de partículas primarias emitidas directamente a la atmósfera tanto por fenómenos naturales (incendios forestales o emisiones volcánicas) como por las actividades humanas (labores agrícolas o de construcción,

## Composición representativa de las partículas suspendidas



Fuente: NARSTO.

## Estudio de caso – Emisiones de diésel en la región fronteriza de Estados Unidos con México



Las emisiones emitidas por el combustible diésel son fuente de partículas y contaminación atmosférica peligrosas. Las industrias camionera, naviera y ferrocarrilera son responsables de la mayor parte de las emisiones de diésel en la región fronteriza de Estados Unidos con México. Otra fuente importante de esas emisiones en ruta son los autobuses escolares, los camiones de basura y los vehículos municipales; en tanto que, fuera de ruta, las mayores fuentes móviles de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  son los motores diésel de los vehículos de construcción y la maquinaria agrícola.

A medida que la frontera Estados Unidos-México se abre más en términos del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), se prevé un aumento en el transporte camionero a través de las fronteras. Las emisiones diésel empeorarán si la mayoría de las flotas camioneras de México conserva vehículos diésel construidos antes de 1993, año en que los fabricantes de motores comenzaron a incorporar tecnología para reducir las emisiones y mejorar el desempeño y la economía de combustible.

Las emisiones de diésel contribuyen de modo tan importante a la contaminación que actualmente se imparten programas de reacondicionamiento y colaboración para reducirlas. En enero de 2006 México modificó sus normas sobre la gasolina y el diésel. Para la región fronteriza se incluyó un calendario acelerado con la meta de abastecer la región con diésel ultra bajo en azufre en enero de 2007.

Al respecto, el Distrito de Control de la Contaminación Atmosférica de San Diego está reacondicionando con catalizadores por oxidación 60 camiones diésel de servicio pesado. Estos sistemas reducen las  $PM_{10}$  en cerca de 25 por ciento. Por su parte, el Distrito Escolar Independiente de Laredo (Texas) está en proceso de modificar 50 autobuses escolares para utilizar diésel ultra bajo en azufre, proyecto similar al que aplica el Distrito Escolar de Río Rico, Arizona. Ambos proyectos reducirán la exposición de los escolares a las partículas finas y sirven como proyectos modelo de demostración para otros distritos escolares a ambos lados de la frontera.

polvo de caminos de terracería, quema residencial de leña o actividades industriales). Las  $PM_{2.5}$ , por el contrario, tienden a componerse más de partículas secundarias formadas en la atmósfera a partir de reacciones químicas que entrañan emisiones precursoras como óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ), dióxido de azufre ( $SO_2$ ), compuestos orgánicos volátiles (COV) y amoníaco ( $NH_3$ ).

### ¿Por qué es importante este asunto para América del Norte?

Las partículas suspendidas tienen efectos dañinos en la salud humana y el medio ambiente. A pesar de los esfuerzos de los tres países de América del Norte para reducir su presencia, las partículas suspendidas todavía exceden las normas de calidad del aire en algunas zonas.

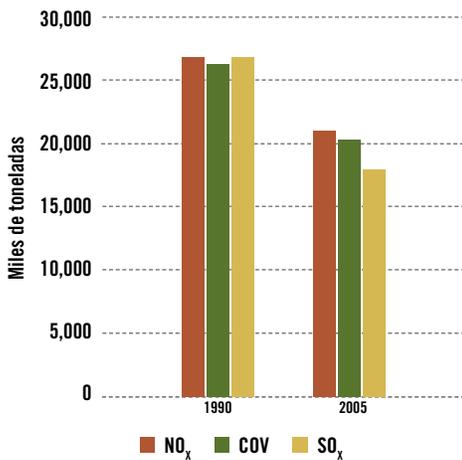
### Efectos de las partículas suspendidas

Las investigaciones indican que la exposición a la contaminación ocasionada por partículas suspendidas se vincula con miles de casos de defunción y problemas generalizados de salud. Numerosos estudios han encontrado relación entre las partículas y la agravación de enfermedades cardíacas y respiratorias, como asma, bronquitis y enfisema, además de varias formas de cardiopatías. Las partículas finas tienen mayores efectos en la salud que las gruesas porque pueden penetrar los pulmones con más profundidad y, por ende, provocar más daño. Los grupos vulnerables que parecen estar en mayor riesgo ante los efectos de las partículas incluyen a los niños, los adultos mayores y las personas con enfermedades cardiopulmonares, como asma o enfermedades cardíacas congestivas.

La deposición de partículas afecta también el medio ambiente al alterar los ciclos químicos y de nutrientes en suelos y aguas superficiales. Por ejemplo, la deposición de partículas con contenido de nitrógeno y azufre puede cambiar el equilibrio de nutrientes y la acidez de los medios acuáticos, con lo que se altera la composición de especies y la capacidad de amortiguamiento. Algunas partículas pueden también corroer la superficie foliar e interferir con el metabolismo de las plantas. Las PM también ensucian y erosionan materiales y edificaciones, incluso monumentos, estatuas y otros objetos de importancia cultural.

Además de los efectos en la salud humana y el medio ambiente, las PM finas son también uno de los principales factores en la reducción de visibilidad. Este tipo de niebla regional es muchas veces detectable en parques y áreas silvestres, donde los eventos de visibilidad baja pueden resultar en pérdida de ingresos por concepto de turismo.

## Emisiones atmosféricas de precursores de PM en América del Norte



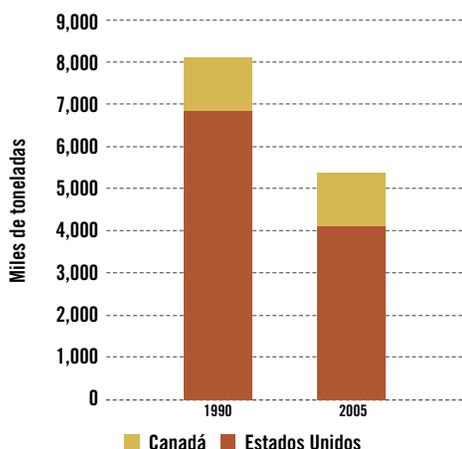
Fuentes: Ministerio de Medio Ambiente de Canadá (*Environment Canada*), Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (*US Environmental Protection Agency*) e Instituto Nacional de Ecología de México (los datos más recientes de México corresponden a 2002, no a 2005).

### Reducción de emisiones

Los motores diésel, la quema de residuos y las fuentes industriales son importantes emisores directos de partículas finas. De 1990 a 2005 las emisiones atmosféricas directas de partículas finas en Canadá y Estados Unidos disminuyeron en alrededor de un tercio (véase la gráfica). Sólo las emisiones canadienses y estadounidenses de PM<sub>2.5</sub> se pueden presentar en este periodo, ya que los respectivos cálculos de México están disponibles únicamente para 1999. A ese año, la contribución de México al total de las emisiones de PM<sub>2.5</sub> en América del Norte fue de alrededor de siete por ciento.

Debido a que las partículas suspendidas también se forman en la atmósfera a partir de

## Emisiones atmosféricas de PM<sub>2.5</sub> en Canadá y Estados Unidos



Fuentes: Ministerio de Medio Ambiente de Canadá (*Environment Canada*) y Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (*Environmental Protection Agency*).

emisiones de precursores —NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, COV y NH<sub>3</sub>—, es importante entender qué actividades humanas contribuyen a los inventarios de éstos. En cuanto a las emisiones de NO<sub>x</sub>, las centrales eléctricas que operan con combustibles fósiles son fuentes importantes en Estados Unidos y México, en tanto que en los tres países el transporte da cuenta de una proporción importante. Respecto de las emisiones de SO<sub>2</sub>, las termoeléctricas son las principales fuentes en Estados Unidos y México, mientras que en Canadá lo son las plantas fundidoras. Los compuestos orgánicos volátiles se producen a partir de fuentes similares en los tres países: combustibles, solventes y sector de petróleo y gas, pero en Canadá la quema residencial de leña es también relevante. Para el caso del amoníaco, la agricultura es una fuente común en toda la región. En total, en América del Norte las emisiones de los precursores de partículas suspendidas han disminuido desde 1990 (véase la gráfica).

### Monitoreo de las tendencias de las partículas suspendidas

En la actualidad se dispone de gran cantidad de datos sobre las PM en América del Norte, derivados de varias redes con diversas técnicas de medición. Sin embargo, la caracterización de las tendencias y patrones de la región al respecto está limitada por la falta de congruencia entre estos conjuntos de datos y la falta de estaciones de monitoreo y tecnología de medición adecuada en algunas zonas, así como por diferencias en los métodos para la preparación y presentación de los resultados. Resulta igualmente difícil derivar tendencias significativas para la región debido a que las condiciones tienen grandes variaciones por zonas. En los tres países de América del Norte, no obstante, el monitoreo disponible indica que en algunas zonas los niveles de partículas exceden las normas nacionales correspondientes.

En Canadá, no hubo tendencia nacional o regional estadísticamente significativa de incremento o decremento en exposición a PM<sub>2.5</sub> en el periodo 2000-2005. Entre 2003 y 2005, al menos 30 por ciento de los canadienses vivía en comunidades con niveles de PM<sub>2.5</sub> por encima de la meta de la norma pancanadiense. Las comunidades afectadas se ubican en el sur de Ontario, el sur de Quebec y Columbia Británica.

Aunque las concentraciones de PM en Estados Unidos han disminuido en general en el ámbito nacional, las normas nacionales se siguen excediendo todavía en docenas de áreas metropolitanas. En 2006 alrededor de 14.7 millones de personas habitaban en municipios

con niveles de PM<sub>10</sub> por encima de la norma nacional de calidad del aire y 66.9 millones vivían en municipios que rebasan la norma anual y diaria para PM<sub>2.5</sub>.

No se dispone de datos sobre las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> en la mayoría de las ciudades de México, pero sí se tienen mediciones de PM<sub>10</sub> de diversas áreas metropolitanas. En 2005 la norma para PM<sub>10</sub> se rebasó 173 días en Toluca, 163 en Monterrey, 51 en Guadalajara, 34 en la Ciudad de México y 11 en Puebla. Durante el pasado decenio la mayoría de las ciudades monitoreadas ha experimentado una tendencia a reducir el número de días por encima de la norma, con excepción de Monterrey y Toluca. En 2005 cuando menos 27 por ciento de los mexicanos vivía en municipios con concentraciones de PM<sub>10</sub> por encima de la norma al menos once días por año.

### Movimiento transfronterizo

Los esfuerzos por reducir las emisiones de partículas a efecto de cumplir con las normas sobre calidad del aire en América del Norte se desdibujan por el hecho de que los niveles de las partículas suspendidas no sólo dependen de la contaminación local, sino que también se ven afectados por la transportada a través de entidades federativas y fronteras nacionales. Las partículas pueden permanecer varios días o algunas semanas, según su tamaño y la tasa de eliminación de la atmósfera mediante, por ejemplo, la precipitación. De ahí que las partículas en una zona determinada puedan lo mismo ser de origen local que provenir de fuentes ubicadas a cientos o miles de kilómetros. Las contribuciones de fuentes distantes de las áreas urbanas de la costa oriental de América del Norte pueden representar entre 50 y 75 por ciento de la masa total observada de concentración de PM<sub>2.5</sub> en una zona urbana específica.

El movimiento transfronterizo es importante en la región compartida por Canadá y Estados Unidos. En 2005 las concentraciones en las estaciones del sur de Ontario registraron importantes contribuciones procedentes de Estados Unidos, y los niveles en el sur de Quebec fueron afectados por la contaminación tanto de aquel país como de Ontario. De igual modo, las emisiones de PM<sub>2.5</sub> y sus precursores en Canadá generaron elevadas concentraciones de dichas partículas en la franja oriental de Estados Unidos.

En la región fronteriza entre Estados Unidos y México, el valle del río Bravo registró en general niveles por debajo de las normas estadounidenses para PM<sub>10</sub> entre 2001 y 2005, pero cuatro áreas de monitoreo excedieron las nor-



Incendios en la península de Yucatán y el sur de México, 2003. Foto: Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio de Estados Unidos (*National Aeronautics and Space Administration, NASA*).

mas (ambos Nogales, Tijuana-San Diego, Ciudad Juárez-El Paso y Mexicali-Valle Imperial). Durante este periodo la zona de Mexicali-Valle Imperial registró regularmente concentraciones anuales de  $PM_{10}$  más de cuatro veces por encima de la norma de Estados Unidos.

Asimismo, de manera periódica, los incendios en un país pueden contribuir a generar altas concentraciones de partículas en una nación vecina. Por ejemplo, durante abril y mayo de 2003 la calidad del aire en Texas, Oklahoma y otros estados sureños registró grandes cantidades de partículas en aerosol suspendidas o transportadas como humo de los incendios en la península de Yucatán y el sur de México (véase la fotografía). Las plumas de humo, que afectaron en forma considerable la visibilidad y la calidad del aire de las regiones costeras del Golfo de México, fueron suficientemente grandes para generar patrones de circulación en la atmósfera que atraparon aerosoles de humo y otras partículas en la troposfera baja, con lo que la calidad del aire empeoró.

La contaminación por partículas puede también entrar en América del Norte procedente de otra región; se ha rastreado transporte intercontinental de partículas suspendidas en forma de polvo y arena desértica procedentes de África y Asia. Aunque este transporte de polvo de Asia y África no contribuye de modo importante a los promedios anuales de concen-

traciones en América del Norte, sí puede ocasionalmente contribuir de manera significativa a las concentraciones diarias. Por ejemplo, en el verano de 1997 una pluma del norte de África contribuyó a las concentraciones de  $PM_{10}$  en sitios del área de Houston, Texas, con cantidades de hasta 15-20 microgramos por metro cúbico durante dos días.

### ¿Cuáles son sus vínculos con otras cuestiones ambientales de América del Norte?

Las partículas suspendidas son elementos importantes en relación con varias cuestiones ambientales, en particular el ozono troposférico, el cambio climático y la calidad del agua.

#### Ozono troposférico

Las  $PM_{2.5}$  y el ozono de la troposfera están estrechamente relacionados debido a que comparten precursores, fuentes y procesos meteorológicos comunes. Dada esta cercana relación, los cambios en las emisiones de un contaminante pueden conducir a modificaciones en las concentraciones tanto de partículas suspendidas como del ozono troposférico. Este descubrimiento es de particular importancia porque en regiones como la franja oriental de Estados Unidos o el sureste de Canadá se registran concentraciones elevadas de ambas clases de contaminantes durante la misma

estación, mientras que en otras regiones, como el Valle de San Joaquín, las respectivas concentraciones elevadas ocurren en temporadas opuestas.

#### Cambio climático

Todas las partículas suspendidas tienen un efecto en el cambio climático al dispersar la radiación entrante y, en menor grado, también la saliente. El carbón mineral y otras partículas oscuras absorben la energía radiada. Las partículas gruesas y las nubes de gotículas formadas por la condensación de vapor de agua en las partículas tienen también efectos de irradiación que pueden acarrear repercusiones locales y globales en el cambio climático.

#### Calidad del agua

Las partículas suspendidas y sus precursores —en particular el dióxido de azufre, los óxidos de nitrógeno y el amoníaco— se pueden transportar grandes distancias en el viento y, a fin de cuentas, depositarse en el suelo o el agua. Este depósito genera acidez en lagos y arroyos; altera el equilibrio de los nutrientes de las aguas costeras y las grandes cuencas hídricas, y estimula la eutrofización; agota los nutrientes del suelo; daña los bosques vulnerables y los cultivos, y afecta la biodiversidad de los ecosistemas. Las partículas conducen también componentes tóxicos como el mercurio, lo que puede degradar la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos. 🌿

## Ozono estratosférico

### Principales consideraciones

- El ozono estratosférico protege la superficie terrestre de la excesiva radiación solar, pero esta capa protectora se está haciendo más delgada, permitiendo la penetración de niveles nocivos (excesivos) de radiación ultravioleta que resultan dañinos para la salud humana y el medio ambiente.
- En respuesta, los países han buscado controlar la producción, el consumo y el comercio de sustancias agotadoras del ozono (SAO) mediante un acuerdo internacional: a finales de 2005 las partes del Protocolo de Montreal habían disminuido juntas, de manera paulatina, la producción y el consumo de más de 95 por ciento de las SAO, usadas como refrigerantes y propelentes de aerosol, así como para otros fines.
- Hoy la capa protectora de ozono de la tierra permanece más delgada que los promedios históricos, luego de que en 2006 el agujero de ozono sobre la Antártida registrara sus mayores extensión y profundidad jamás observadas.
- Canadá, Estados Unidos y México han reducido de manera significativa las emisiones de SAO durante los pasados 20 años, aunque estas sustancias se siguen emitiendo en diversas fuentes en América del Norte y otras partes del mundo. La recuperación de la capa de ozono se prevé para mediados del siglo XXI con base en el cumplimiento del acuerdo internacional vigente. Las disminuciones de SAO también entrañan beneficios climáticos porque algunas de esas sustancias actúan asimismo como gases de efecto invernadero.

El ozono ( $O_3$ ) es un gas presente en toda la atmósfera terrestre. El *ozono estratosférico* protege la vida en el planeta porque absorbe los rayos dañinos del sol cuando éstos pasan a través de la atmósfera superior (la estratosfera). Sin embargo, cuando el ozono se encuentra en la superficie terrestre resulta perjudicial, por lo que a menudo se le describe como “bueno arriba y malo de cerca”.

### ¿Cuál es la problemática ambiental?

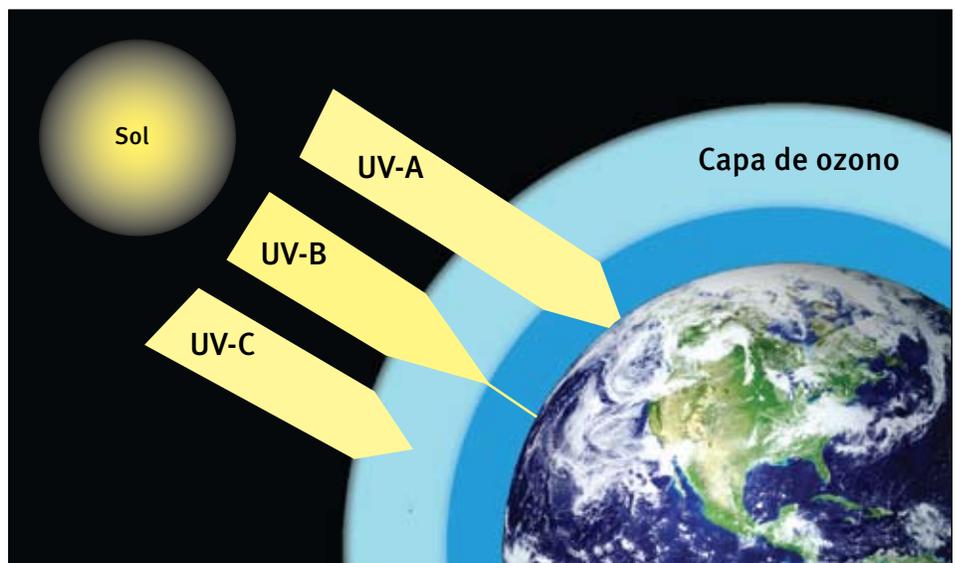
El ozono estratosférico protege la superficie de la Tierra al absorber la radiación ultravioleta (UV) del sol (véase la ilustración). Se forma de manera natural por las reacciones químicas que ocurren entre la luz solar ultravioleta y el oxígeno. Cerca de 90 por ciento del ozono se encuentra en la estratosfera, la capa de la atmósfera que comienza a 10-15 kilómetros de la superficie terrestre en las latitudes medias. El ozono en la estratosfera se denomina “capa de ozono”.

### Adelgazamiento de la capa de ozono

La capa del ozono estratosférico es hoy en día más delgada de lo que ha sido históricamente a causa de ciertas sustancias químicas agotadoras del ozono (SAO), como refrigerantes y prope-

lentes de aerosol. Las SAO se produjeron por primera vez con fines comerciales durante el siglo XX y a la fecha algunas de ellas se siguen produciendo y usando. Al ser emitidas, estas sustancias se abren paso hacia la atmósfera superior y se convierten gradualmente en gases más reactivos que destruyen el ozono. El adelgazamiento general de la capa de ozono se empezó a reconocer desde los años setenta, y la pérdida total se calcula en la actualidad en un promedio de tres por ciento en todo el globo. El adelgazamiento es más pronunciado hacia las regiones polares y menos cerca del ecuador. Sobre la Antártida cada septiembre se forma un agujero de ozono. En septiembre de 2006 el área promedio del agujero de ozono, de 27.5 millones de kilómetros cuadrados, fue la más grande jamás observada (véase la foto). A poco más de una semana, los

### La capa de ozono protege de los rayos UV



Fuente: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

instrumentos registraron las concentraciones más bajas de ozono nunca vistas sobre el continente antártico, revelando que el agujero de ozono era el más profundo de la historia.

Puesto que la radiación solar ultravioleta normalmente absorbida por la capa de ozono resulta biológicamente dañina para los organismos vivos, las reducciones en los niveles de ozono estratosférico permiten que los rayos UV lleguen a la superficie terrestre, en donde afectan la salud humana, alteran los procesos biológicos y provocan daños a los materiales.

### Sustancias agotadoras del ozono

Las principales sustancias químicas responsables de la destrucción de la capa de ozono se agrupan en la siguiente lista junto con sus aplicaciones cotidianas. Las alternativas de estas sustancias incluyen los hidroclorofluorocarbonos (HCFC), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC). Los primeros —sustitutos de transición de los CFC— se usan como refrigerantes, solventes y extintores de fuego, en tanto que los HFC y los PFC se emplean como refrigerantes, propelentes para aerosoles y solventes.

### ¿Por qué es importante este asunto para América del Norte?

El agotamiento del ozono tiene repercusiones significativas de salud y económicas para América del Norte. El problema se agrava, por lo general, en las latitudes cercanas a los polos, es decir, las regiones septentrionales y árticas en el marco particular de América del Norte.

### Efectos de la radiación UV-B

La sobreexposición a la radiación UV-B, la clase más dañina de radiación UV, puede provocar una amplia gama de efectos en la salud, como

cánceres en la piel y envejecimiento prematuro, enfermedades oculares (cataratas) y supresión del sistema inmunológico. Los procesos fisiológicos y de desarrollo de las plantas también resultan afectados por la radiación UV-B, que puede causar daños en cultivos delicados como la soya y el arroz y reducir el rendimiento de las cosechas.

El fitoplancton, que sirve de base de la cadena alimentaria acuática del océano, se ve también alterado y sometido a estrés ambiental como resultado de la radiación UV-B. Asimismo, algunos estudios han encontrado daños en peces, anfibios y otros animales en sus primeras fases de desarrollo derivados de este tipo de radiación.

En términos más generales, los incrementos de la radiación solar UV podría afectar los ciclos bioquímicos terrestres y acuáticos, alterando con ello tanto las fuentes como los sumideros de gases de invernadero y otros

gases poco abundantes en la atmósfera pero de relevancia química.

Por último, los polímeros sintéticos, los biopolímeros que ocurren de manera natural y otros materiales comercialmente útiles se ven afectados por la radiación solar UV. Los incrementos en los niveles de UV-B solares aceleran su deterioro y descomposición en exteriores.

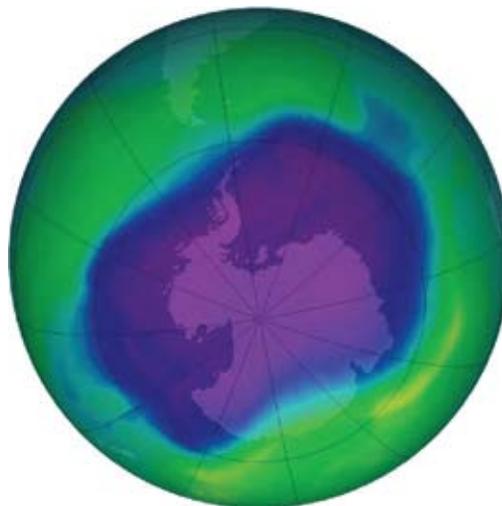
### Reducción de las emisiones

Canadá, Estados Unidos y México atienden la destrucción de la capa de ozono mediante la eliminación de la producción y el consumo de SAO con un programa determinado por el Protocolo de Montreal sobre las Sustancias que Agotan la Capa de Ozono. Ese acuerdo ha conducido a la eliminación gradual de la producción y el consumo de CFC y otras SAO. En la actualidad, 191 países y la Comunidad Europea forman parte del Protocolo e instrumentan sus disposiciones.

A finales de 2005, las Partes habían eliminado en conjunto casi 95 por ciento de las SAO mediante la disminución de los niveles de producción, pasando de un nivel por arriba de un millón de toneladas ponderadas anuales de potencial de agotamiento del ozono (PAO) en 1990 a unas 93,000 toneladas de PAO anuales en 2005. La producción y el consumo de sustancias agotadoras del ozono en América del Norte disminuyeron de cerca de un tercio del total mundial en 1990 a menos de un quinto en 2005 (véase la gráfica).

También durante 2005 la producción y el consumo de SAO en América del Norte disminuyó casi 97 por ciento (véase la gráfica). Sin embargo, debido al tiempo prolongado

### Agujero de ozono del continente antártico, entre el 21 y el 30 de septiembre de 2006



Fuente: Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio de Estados Unidos (*National Aeronautics and Space Administration, NASA*).

### SAO comunes y sus aplicaciones

Sustancia	Usos
Clorofluorocarbonos (CFC)	Manufactura de refrigerantes, solventes para limpieza, propelentes para aerosoles y agentes espumantes de plásticos.
Hidroclorofluorocarbonos (HCFC)	Manufactura de refrigerantes, solventes para limpieza, propelentes para aerosoles y agentes espumantes de plásticos.
Halones	Sistemas para extinguir/suprimir fuego.
Tetracloruro de carbono	Producción de CFC (materia prima), solventes.
Metil cloroformo	Solventes industriales para limpieza y tintas, entre otros.
Bromometano (bromuro de metilo)	Fumigantes empleados para controlar plagas en suelos y enfermedades en las semillas antes de plantar.

que toma a las SAO desplazarse desde el nivel del suelo hasta la estratosfera, el efecto de su eliminación no se sentirá sino hasta dentro de muchos años. Se calcula que la capa de ozono se podría recuperar hacia 2050, siempre y cuando se eliminen todas las sustancias agotadoras de la capa de ozono producidas por la humanidad. Sin embargo, las predicciones de largo plazo son inciertas porque no todos los procesos del agotamiento de ozono se comprenden. El papel de las SAO de corta vida se sigue estudiando, junto con el efecto del cambio climático en la estratosfera y el agotamiento del ozono.

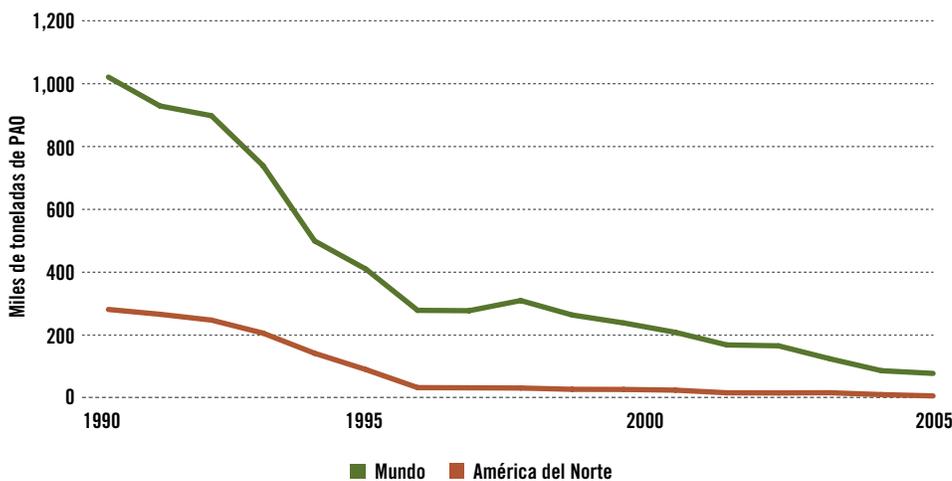
### Monitoreo de las tendencias del ozono estratosférico

En América del Norte los niveles de ozono estratosférico comenzaron a disminuir en 1965, alcanzando sus niveles más bajos en 1993. Desde entonces la capa de ozono ha comenzado a recuperarse, pero en 1998-2001 los niveles generales promedio eran todavía tres por ciento más bajos que los observados veinte años antes. Desde 1983 los niveles de ozono sobre América del Norte han registrado una tendencia al alza como resultado de las emisiones reducidas de SAO y la reformación de ozono de la estratosfera.

### Comercio ilegal de SAO

La noción de avance al respecto se complica un tanto por el comercio ilegal de cantidades significativas de SAO en todo el mundo. Aunque todos los clorofluorocarbonos (CFC) están prohibidos ahora en los países industrializados, aún funcionan millones de refrigeradores, aparatos de aire acondicionado en autos y otros equipos que usan SAO. Dar servicio a este equipo con sustitutos de CFC es posible, pero casi siempre es más caro. Además, los equipos que funcionan a base de CFC son exportados a las naciones en desarrollo por los países en donde éstos se han prohibido. Tales factores generan incentivos para el comercio ilegal de SAO, calculado en 10-20 por ciento del comercio mundial legítimo. Los asuntos relacionados con el comercio legal de equipo y el comercio ilegal de SAO podrían complicar los avances hacia la eliminación definitiva de los CFC en todo el planeta.

### Producción total registrada de las sustancias agotadoras del ozono (SAO) en el mundo y en América del Norte



PAO = Potencial de agotamiento del ozono.

Fuente: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

### ¿Cuáles son sus vínculos con otras cuestiones ambientales de América del Norte?

El agotamiento del ozono estratosférico tiene vínculos importantes con otros de los problemas ambientales básicos de América del Norte, sobre todo el cambio climático y la salud de los ecosistemas terrestres y acuáticos.

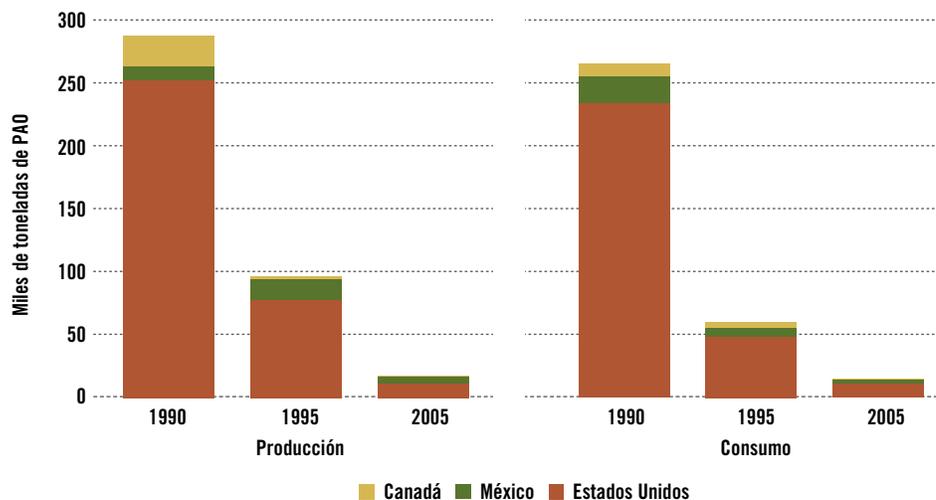
### Cambio climático

El agotamiento de la capa de ozono y el cambio climático se consideraron al principio amenazas separadas. Sin embargo, en los últimos años tanto el Panel de Evaluación Ambiental para el Protocolo de Montreal como el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático señalaron que hay pruebas científicas concluyentes de que el agotamiento del ozono y el cambio climático están vinculados.

Algunas sustancias agotadoras del ozono (CFC, HCFC y halón 1301) y sus reemplazos (HFC y PFC) son poderosos gases de invernadero. La acumulación de esta clase de gases, incluidas las SAO, genera calentamientos mayores de la atmósfera baja, lo que lleva, a su vez, al enfriamiento de la estratosfera. Este enfriamiento obstaculiza la formación de ozono y favorece el desarrollo de los agujeros polares de ozono. Los estudios indican que en dos decenios el cambio climático podría superar a los CFC como la principal causa de la pérdida global de ozono.

Los esfuerzos mundiales por eliminar las sustancias agotadoras del ozono han beneficiado el clima terrestre de dos maneras. Primera, la disminución global neta de las emisiones de

### Reducciones de las sustancias agotadoras del ozono en América del Norte



PAO = Potencial de agotamiento del ozono.

Fuente: Programa de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente (PNUMA).

SAO se ha traducido en una baja en las emisiones de gases con efecto invernadero equivalente a muchos miles de millones de toneladas de dióxido de carbono. Segunda, las reducciones necesarias para cumplir las obligaciones internacionales en materia de SAO a menudo han requerido modernizar los equipos y optar por prácticas de eficiencia energética que, a su vez, han disminuido las emisiones de invernadero.

### Salud de los ecosistemas terrestres y acuáticos

Los vínculos entre los ecosistemas terrestres y los niveles más elevados de radiación UV-B como resultado del agotamiento del ozono son complejos. Las respuestas de las plantas y otros organismos a la mayor radiación UV-B dependen de múltiples factores ambientales, como los niveles de dióxido de carbono, la disponibilidad de agua y nutrientes minerales, la presencia de metales pesados y la temperatura. Muchos de estos elementos también están cambiando a medida que se altera el clima mundial.

Los niveles más altos de radiación UV-B perjudican a los organismos terrestres, incluidos microbios y plantas. Los patrones de la actividad genética se modifican y los tiempos del ciclo de vida se afectan, además de registrarse cambios en la forma de las plantas y su producción de sustancias químicas no directamente relacionadas con el metabolismo primario. Tales sustancias no sólo son importantes para proteger a las plantas de agentes patógenos y ataques de insectos, sino que también afectan la calidad de los alimentos para los seres humanos y el ganado.

Los efectos del agotamiento del ozono y la mayor radiación UV en los ecosistemas acuáticos también son complejos. Los niveles mayores de radiación solar han afectado de modo negativo el crecimiento, la fotosíntesis, el contenido de proteínas y pigmentos y la reproducción del fitoplancton, así como las algas marinas, importantes productores de biomasa.

De igual manera, el zooplancton y otros organismos acuáticos, como erizos de mar, corales y anfibios, son vulnerables a la radiación UV-B. Los ecosistemas marinos polares, donde se registran los más intensos incrementos en la radiación UV-B relacionada con el ozono, tal vez sean los ecosistemas oceánicos más influidos por el agotamiento del ozono.

El vínculo entre la radiación UV-B, los ecosistemas acuáticos y el calentamiento global es asimismo importante. Cuando estos ecosistemas se exponen a niveles más altos de radiación UV-B, su capacidad de ser sumideros de dióxido de carbono atmosférico disminuye. 🦋

## Estudio de caso – Eliminación gradual del bromuro de metilo en América del Norte

El bromuro de metilo (MeBr), gas muy tóxico, inodoro e incoloro, se ha empleado como fumigador estructural y de suelo agrícola para controlar gran cantidad de plagas. Sin embargo, puesto que el MeBr es agotador de la capa de ozono estratosférico, Canadá, Estados Unidos y México acordaron en términos del Protocolo de Montreal su eliminación como plaguicida: en los dos primeros países en 2005 y en el tercero en 2015. La eliminación de dicho gas permite una exención de las aplicaciones en cuarentena y preembarque para el control de plagas, así como una exención de uso crítico formulada para los usuarios agrícolas que carecen de otras opciones técnicas o económicas viables.

Estados Unidos fabrica bromuro de metilo y lo exporta tanto a Canadá como a México, ya que en ninguno de estos dos países se produce. En las tres naciones la sustancia se usa para cultivos como fresa, tabaco, espárrago, flores, papas, jitomate y pepinos.

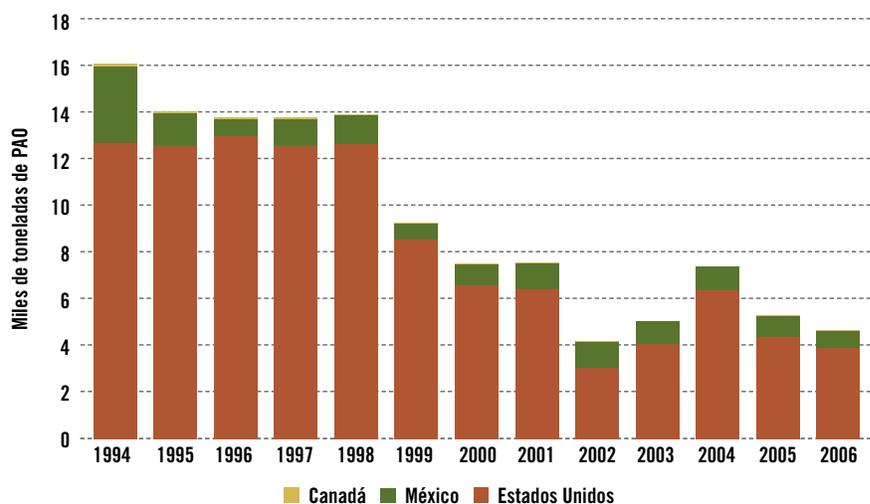
La competencia entre los agricultores frente a los diversos calendarios de eliminación en los tres países ha influido la manera en que Canadá, Estados Unidos y México eliminan gradualmente el MeBr (véase la gráfica de los niveles de consumo de MeBr de estos países en el periodo 1994-2006).

El consumo canadiense de MeBr (25 toneladas de PAO [potencial de agotamiento del ozono] en 2006) representa menos de uno por ciento del consumo mundial de dicha sustancia. De hecho, la prohibición del MeBr está acompañada del fomento de tecnologías alternativas que otorgan prioridad al manejo integral de las plagas. Canadá ha solicitado un número reducido de exenciones de uso crítico para la producción de plántulas de fresa y la fumigación de harina y molinos de pasta.

Estados Unidos permanece como un importante productor y usuario de MeBr, y ha solicitado exenciones para éste más allá de la fecha original de eliminación en 2005. En 2006 produjo 6,502 toneladas de PAO de MeBr: 55 por ciento del total mundial, y consumió 3,885 toneladas de PAO, casi 40 por ciento del total mundial. Con todo y las solicitudes de exenciones, de 1991 a 2006 el país redujo en más de 60 por ciento la producción del gas y 75 por ciento su consumo.

Con un consumo de bromuro de metilo cercano a siete por ciento del total mundial, y como país en desarrollo en términos de la definición del Protocolo de Montreal, México tiene derecho a un enfoque flexible. El consumo mexicano llegó a un máximo en 1994, cuando alcanzó 3,253 toneladas de PAO, y para 2006 había descendido a 723 toneladas de PAO, como resultado de la aplicación de un programa nacional de reducción por etapas.

Consumo de bromuro de metilo en América del Norte



PAO = Potencial de agotamiento del ozono.

Fuente: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).



## Aprovechamiento del suelo

### Principales consideraciones

- El aprovechamiento humano del suelo afecta las funciones del ecosistema, la diversidad biológica, la calidad y la cantidad del agua, y el clima. El ser humano ha alterado en gran medida la cobertura natural del suelo en forma tal que afecta servicios ambientales vitales.
- Las alteraciones más importantes de la cobertura natural del suelo a manos del ser humano son los cambios generalizados que han reducido y perturbado las áreas forestales, los pastizales nativos y los humedales para dar paso a la agricultura, ganadería, extracción de recursos y asentamientos humanos.
- Alrededor del 16 por ciento de la superficie de América del Norte ha sido designada por los gobiernos nacionales como “área protegida” para preservar valiosas especies, espacios naturales y servicios ambientales. Algunas de estas áreas protegidas se ven afectadas por el avance de las actividades humanas, en tanto que en otras áreas más apartadas la influencia directa es menor.
- En comparación con la modificación general del paisaje desde la colonización europea, hoy día los cambios anuales son relativamente menores. Sin embargo, los índices de deforestación y urbanización en algunas áreas afectan los sistemas ecológicos locales y el clima de todo el planeta.

**Aprovechamiento del suelo** se refiere a las diversas formas de explotación del suelo —como bosques y pastizales— por el hombre. Algunos usos, en particular los menos intensos o los que alteran en menor medida los sistemas naturales, ocasionan menos trastornos en los servicios ambientales de los ecosistemas, como la purificación del agua, la recarga de los mantos subterráneos, el reciclaje de nutrientes, la descomposición de residuos, la regulación del clima y la conservación de la biodiversidad.

### ¿Cuál es la problemática ambiental?

El aprovechamiento del suelo es una de las manifestaciones más portentosas de la presencia y del impacto físico del hombre en el planeta. Más aún, el ser humano ha alterado los patrones mundiales y la ocurrencia de especies y ecosistemas. Varios estudios recientes confirman que los ecosistemas dominados por el hombre ya cubren un mayor porcentaje del suelo del globo que los ecosistemas naturales o “silvestres”. Según un cálculo reciente, más de 75 por ciento de los suelos sin hielo del planeta muestran signos de alteración debido a la presencia y a las actividades del ser humano, y menos de la cuarta parte siguen siendo tierras vírgenes. En conjunto, tierras de cultivo y pastizales son ahora una de las principales categorías de uso y aprovechamiento del suelo, ya que ocupan alrededor de 40 por ciento de la tierra firme del planeta. Cada vez es más raro encontrar paisajes vírgenes, es decir, con pocos o sin signos visibles de influencia ejercida por actividades humanas, como agricultura, tala de árboles, minería, carreteras, oleoductos o líneas de transmisión eléctrica. Un enfoque para medir la extensión de los paisajes vírgenes es el índice de influencia humana, que emplea datos de densidad demográfica y patrones de asentamientos, aprovechamiento del suelo e infraestructura para medir el impacto humano directo en los ecosistemas terrestres (véase el mapa). El mayor grado de influencia humana directa se registra en las regiones costeras y las zonas agrícolas de cultivo en surcos, en corredores de transporte y cerca de los centros urbanos.

Si bien la superficie de América del Norte es estable, los aprovechamientos del suelo cambian constantemente. La relación entre uso y cobertura del suelo es compleja porque un tipo de cobertura

particular puede albergar diversos aprovechamientos. Por ejemplo, un área forestal se puede utilizar para la producción de madera, como hábitat, con fines recreativos o para la protección de cuencas de agua. Asimismo, ciertos aprovechamientos del suelo (como la agricultura) pueden requerir mantener varias coberturas distintas a lo largo del tiempo; por ejemplo, cultivos, suelo barbechado, cotos forestales o incluso áreas incendiadas. A pesar de esta complejidad, los esfuerzos por categorizar el aprovechamiento y la cobertura del suelo pueden servir para analizar el impacto del ser humano en ecosistemas naturales. Los cambios en el uso del suelo pueden afectar la distribución y el tipo de cobertura del suelo (como bosques, tierras de cultivo y áreas urbanizadas), la capacidad de los ecosistemas para brindar valiosos servicios que sostienen la vida, e incluso la elevación y el terreno.

### ¿Por qué es importante este asunto para América del Norte?

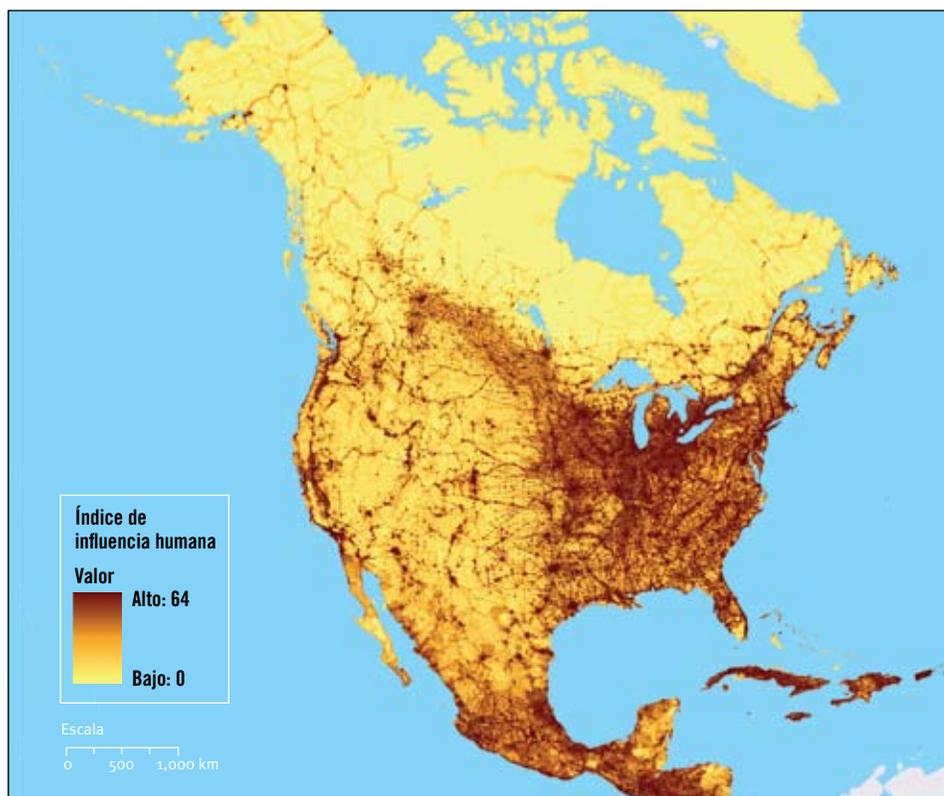
Las actividades humanas han modificado la cobertura de vegetación original y el paisaje de la región, con importantes consecuencias para el medio ambiente. Además, el aprovechamiento y la cobertura del suelo afectan muchos aspectos de la calidad medioambiental y los servicios que los ecosistemas prestan.

#### Bosques

Los bosques —sujetos o no a control— cubren alrededor de la tercera parte de la superficie de América del Norte. La región alberga bosques de tipos muy diversos, alrededor de 45 por ciento de los cuales se clasifican como boreales, sobre todo en Canadá y Alaska. El resto son bosques templados y tropicales. En términos globales,



## Índice de influencia humana para América del Norte, 2000



Fuentes: Centro para una Red Internacional de Información sobre Ciencias de la Tierra (*Center for International Earth Science Information Network*, CIESIN) y Sociedad para la Conservación de Vida Silvestre (*Wildlife Conservation Society*); datos de *Last of the Wild*, versión 2, 2005 (LWP-2): *Global Human Influence Index*.

a América del Norte corresponden casi 20 por ciento de los bosques del mundo y más de la tercera parte de los bosques boreales.

La extensión de la superficie boscosa de Canadá permanece relativamente estable, la de Estados Unidos presenta un ligero incremento y la de México muestra un descenso. A partir de 1990 la superficie boscosa de Canadá observa un incremento neto menor a uno por ciento, mientras que la de Estados Unidos ha crecido alrededor de 1.5 por ciento. En México, en la última década, se han perdido entre 3.5 y 5 millones de hectáreas de bosques templados y tropicales. Las tasas de deforestación anual estimadas en México oscilan entre 0.5 y 1.14 por ciento de principios de los años noventa a 2000.

Los cambios que la presión humana ha introducido en la estructura de los ecosistemas forestales pueden hacer que los bosques sean más susceptibles a incendios, sequías, plagas de insectos y contaminación del aire, con los consecuentes daños. Por ejemplo, en Canadá la tala por clareo dio lugar a la proliferación del abeto balsámico, que es vulnerable al gusano de las yemas de la picea. En Estados Unidos (excluidos Alaska, Hawai y Puerto Rico), casi la mitad de los bosques se consideran altamente fragmentados,

es decir, que en ellos gran parte del área arbolada se encuentra muy cercana a la orilla. El país tiene muchas regiones boscosas muy extensas, pero la fragmentación es tan penetrante que los efectos de la orilla interrumpen los procesos biológicos y la capacidad de los hábitats de vida silvestre en la mayoría de las zonas forestales. En México, la extracción selectiva de ciertas especies favoritas de árboles y la extensa conversión de los bosques a pastoreo alteraron ya la estructura y la composición de las tierras boscosas que aún quedan.

### Agricultura

En total, casi la tercera parte de la superficie de América del Norte se destina a aprovechamientos agrícolas. Aunque apenas representa 12 por ciento de la superficie agrícola del planeta, la región produce casi 20 por ciento de los cereales del mundo y un porcentaje igual de carne.

A partir de 1990, la superficie total destinada a aprovechamientos agrícolas en América del Norte ha disminuido alrededor de 1.5 por ciento. En México, la principal apertura del suelo a la agricultura y la ganadería se observó entre 1940 y 1965, con tasas de crecimiento de hasta diez por ciento anual; aunque esta tendencia ya se desaceleró, el aprovechamiento de suelo para la agricul-

tura ha seguido creciendo 3.5 por ciento anual desde 1990 y continúa siendo un importante factor de la transformación del suelo. En Canadá y Estados Unidos, la superficie dedicada a la agricultura decreció a partir de la década de 1950. Sin embargo, incluso con los descensos en la superficie agrícola en general, los efectos ambientales de las prácticas agrícolas son aún significativos. Investigaciones recientes revelaron que la excesiva carga de nutrientes de la agricultura creó una considerable zona hipóxica con poco oxígeno disuelto en el norte del golfo de México, lo que está causando afectación ecológica y la muerte de organismos acuáticos que habitan en el fondo.

La superficie agrícola destinada al pastoreo permanente en América del Norte permanece relativamente estable desde 1990. Sin embargo, en virtud de los cambios históricos en el uso del suelo con fines agrícolas y ganaderos, los pastizales templados de la región han sufrido modificaciones sustanciales que han transformado los ecosistemas y generado importantes pérdidas de biodiversidad, en especial de especies como aves de pastizales, el bisonte, el perrito de las praderas y el hurón de patas negras. Los pastizales son uno de los ecosistemas en mayor peligro de extinción de la región (véase el estudio de caso). En 2001 alrededor de 55 especies de vida silvestre de los pastizales de Estados Unidos estaban amenazadas o en peligro de extinción. En México, el sobrepastoreo está reduciendo la productividad de los pastizales y amenazando la biodiversidad.

### Humedales

Alrededor de diez por ciento del territorio de América del Norte está cubierto por humedales. Con 2.5 millones de kilómetros cuadrados, esta área representa casi 40 por ciento de los humedales del planeta. Históricamente, los humedales, que incluyen pantanos, ciénagas y marismas, se han subvaluado como terrenos baldíos y han sido dragados para la construcción de puertos y marinas o desecados para levantar granjas, viviendas y otros desarrollos urbanos y turísticos. En los últimos años, los científicos han catalogado las muchas e importantes contribuciones ecológicas de los humedales: sitios de reproducción de aves acuáticas, peces y crustáceos; áreas de captura y filtración de sedimentos y materia orgánica, para la retención del agua y la mitigación de inundaciones, y barreras protectoras contra tormentas en áreas costeras, etc. En 2004, América del Norte tenía casi 200,000 kilómetros cuadrados de humedales "Ramsar", es decir, de importancia internacional.

En Estados Unidos (sin considerar Hawai, Alaska o Puerto Rico), casi la mitad de los hume-



dales se han desecado desde la colonización europea. En Canadá sólo se perdieron 14 por ciento de los humedales durante este periodo, sobre todo en el sur del país. Si bien en ambos países los usos agrícolas han sido responsables de casi 85 por ciento de esta pérdida histórica, en los últimos años la conversión agrícola disminuyó y el desarrollo urbano y suburbano es ahora la principal causa de la pérdida de humedales. El área de humedales de México se calcula en 36,000 kilómetros cuadrados y la pérdida histórica se estima en 16,000 kilómetros cuadrados. Gran parte de los humedales de este país se encuentran en áreas costeras, sujetas a la presión de la infraestructura petrolera, el desarrollo urbano y turístico, la cría de ganado y la piscicultura.

### Áreas urbanas

Según la definición de las oficinas del censo de Canadá, Estados Unidos y México, las áreas urbanas albergan de 75 a 80 por ciento de la población de América del Norte. Resulta difícil determinar la extensión de los asentamiento humanos —ciudades, poblados y suburbios— de toda la región, ya que su densidad, forma y distribución es muy variable y, por tanto, también las definiciones de los mismos son varían mucho, sobre todo una nación a otra. Sin embargo, una estimación basada en imágenes satelitales de las luces nocturnas coloca al área de asentamientos humanos del subcontinente en casi cinco por ciento de su tierra firme total. Los asentamientos y la urbanización conllevan un aumento en la construcción de superficies impermeables, que reducen la absorción de agua

*in situ* y la recarga de los mantos subterráneos, y ocasionan una mayor desviación de agua de lluvia, afectando los escurrimientos y los sistemas de aguas superficiales.

Si se considera que tanto la mayor parte de las poblaciones de América del Norte como los mejores tierras agrícolas generalmente ocupan las mismas regiones, no es de sorprender que la urbanización y la expansión hayan provocado también la pérdida de tierras de cultivo. En Canadá, casi la mitad de la superficie transformada a aprovechamientos urbanos en los últimos 30 años alguna vez fue tierra de cultivo. En Estados Unidos, de los más de 36,400 kilómetros cuadrados de tierra urbanizados entre 1997 y 2001, veinte por ciento habían sido tierras de cultivo; 46 por ciento, zonas forestales, y 16 por ciento, pastizales. A últimas fechas, la extensión de las áreas urbanas e industriales en Estados Unidos ha crecido en forma acelerada; más específicamente, de 1982 a 2002, la superficie urbanizada creció a la tasa de 47 por ciento, casi el doble de la tasa de crecimiento demográfico. En México, entre 1993 y 2000, se convirtieron 99,523 hectáreas a aprovechamientos urbanos.

La expansión de desarrollos suburbanos y rurales de baja densidad tiene relación no sólo con la pérdida de suelos agrícolas de primera calidad, sino también con la fragmentación y pérdida de bosques, humedales, pastizales y otros hábitats de vida silvestre y con la consecuente pérdida de biodiversidad. También ha incrementado el riesgo de incendios de “interfase”, que se asocian con la entremezcla de asentamientos y bosques y pastizales inflamables.

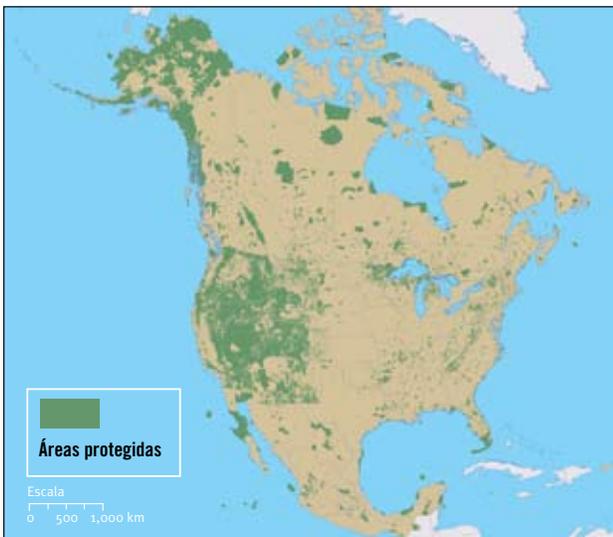
### ¿Cuáles son sus vínculos con otras cuestiones ambientales de América del Norte?

Los cambios en la cobertura del suelo amenazan la diversidad biológica, contribuyen al cambio climático y alteran el funcionamiento de los ecosistemas y los servicios que éstos ofrecen.

### Biodiversidad

La pérdida de hábitat constituye, por sí sola, la mayor amenaza para la biodiversidad. Cuando se pierde o fragmenta el hábitat, las especies que dependen de éste experimentan diversas presiones que en última instancia reducen sus poblaciones. Durante los últimos 200 años, América del Norte experimentó fuertes transformaciones de sus sistemas ecológicos e importantes cambios en la abundancia de especies. En búsqueda de soluciones al transporte, la vivienda, la energía y otras necesidades importantes, las naciones han sometido el medio ambiente natural a presiones derivadas de la conversión del suelo y los cambios en la cobertura vegetal, de la fragmentación del hábitat y de la contaminación. Al mismo tiempo, se han creado áreas protegidas para tratar de preservar especies y espacios naturales valiosos. Actualmente, 16 por ciento de la superficie de América del Norte está cubierta por espacios designados como áreas nacionales protegidas. Esta condición de protección legal de algunas áreas ha ayudado a limitar el alcance del impacto humano en regiones pobladas. En otras

Áreas protegidas de América del Norte (izquierda) y áreas de menor influencia humana (derecha)



Fuentes: Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA), Centro para una Red Internacional de Información sobre Ciencias de la Tierra (Center for International Earth Science Information Network, CIESIN) y Sociedad para la Conservación de Vida Silvestre (Wildlife Conservation Society), Datos de *Last of the Wild*, versión 2, 2005 (LWP-2): *Global Last of the Wild*.



áreas, lo apartado del lugar, el terreno y el clima han ofrecido protección *de facto* a grandes extensiones de territorio frente a la influencia humana directa (véanse los mapas). Sin embargo, a medida que el clima cambia, los efectos de la actividad humana se manifestarán directa e indirectamente, incluso en las áreas más apartadas.

### Cambio climático

Las decisiones relativas al aprovechamiento del suelo pueden resultar determinantes en la contribución de las actividades humanas a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) causantes del cambio climático. Por ejemplo, las decisiones tomadas en relación con la extensión y los patrones de los asentamientos humanos tienen implicaciones importantes y perdurables en términos de transporte y las emisiones de GEI que éste genera; de igual forma, las decisiones relativas a la protección de los bosques repercuten, a su vez, en el servicio que éstos brindan como vertederos de carbono: durante la última década, los bosques de América del Norte captaron alrededor de 269 millones de toneladas de carbono al año. De hecho, los bosques de la región contienen más de 170 mil millones de toneladas de carbono: 28 por ciento en biomasa viva y el restante 72 por ciento en materia orgánica muerta. En su mayor parte, la remoción actual neta de carbono de la atmósfera y su almacenamiento en la vegetación y el suelo son producto, no tanto de prácticas de manejo deliberadas, sino de la combinación de manejo pasado y respuesta natural de los ecosistemas terrestres a los cambios ambientales. Las remociones importantes de carbono de los bosques de Canadá y Estados Unidos se deben en gran medida al abandono de las tierras agrícolas y la subsiguiente regeneración de arbustos y árboles.

### Calidad y cantidad del agua

Las actividades de aprovechamiento del suelo con frecuencia afectan la calidad del agua y la hidrología. Por ejemplo, la deforestación puede generar mayor vulnerabilidad a inundaciones súbitas y carga de sedimentos en los arroyos cercanos. El desarrollo urbano ocasiona grandes volúmenes de escurrimientos de agua de lluvia excedentes, que pueden causar inundaciones, aumentar la contaminación, crear déficit en la recarga de mantos subterráneos y alterar la biología de arroyos; por otro lado, el desarrollo de áreas rurales también afecta los flujos de entrada y altera los ecosistemas acuáticos y su capacidad para mantener el hábitat y el equilibrio sedimen-

## Estudio de caso – Pastizales de América del Norte



Fuente: Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA).

La pradera natural del centro de América del Norte es una región ecológica transfronteriza compartida por Canadá, Estados Unidos y México. Los pastizales de las planicies son una inmensa región geográfica contigua (véase el mapa) con una amplia variedad de especies, aprovechamientos del suelo y prácticas culturales y sociales, así como condiciones económicas y regímenes político-administrativos. La pradera de la región representa uno de los biomas más grandes del planeta.

Los pastizales septentrionales son los sitios de reproducción de aves acuáticas más productivos de América del Norte y ahí se encuentran especies características tanto del este como del oeste. Además de servir de sitios de anidación y escala de especies migratorias, las praderas sustentan poblaciones de aves residentes. Más de la mitad de los patos en anidación y muchas otras especies de vida silvestre que los pastizales de Estados Unidos sustentan, dependen de este hábitat crucial. Esta región también es hogar de las mayores poblaciones conocidas de ciertas especies de colibríes, orioles, pinzones, currucas, codornices y sinsontes. Las praderas del sur, por su parte, son conocidas por su variado mosaico de especies, que incluye 23 por ciento de las más de 1,500 especies de cactus del planeta.

Por desgracia, este ecosistema ha sufrido un grave deterioro en los últimos 150 años. En Estados Unidos, menos de diez por ciento de las praderas nativas de pastos altos sigue siendo pastizal; 71 por ciento se ha convertido en tierras de cultivo y 19 por ciento en áreas urbanas. Las principales causas de la enorme pérdida de hábitats de las praderas son los cambios en el uso del suelo —como la histórica conversión a tierras cultivables o de pastoreo—, la contaminación química por la agricultura, la sobreexplotación de acuíferos y las prácticas ganaderas no sustentables. La cría de ganado extensiva en una región tan frágil con frecuencia afecta negativamente la vegetación y las propiedades y características del suelo, y en consecuencia la supervivencia de múltiples especies de plantas y animales. La disminución de los pastizales también incrementa la vulnerabilidad del área a la erosión eólica, reduciendo su capacidad como hábitat para la vida silvestre. La compactación del suelo impide la recuperación natural y conduce a la desertificación. Otras grandes amenazas son la perforación de pozos de petróleo y gas, la urbanización y sus redes carreteras asociadas, la densidad de población, la sobreutilización de las aguas subterráneas, la creciente presencia de especies invasoras y la creciente aridez que el cambio climático provoca.

tario. Algunos de los efectos comunes en la calidad del agua derivados de los cambios de uso del suelo son aumento de la materia orgánica y de la demanda de oxígeno biológico; cambios en

la temperatura y en la carga de sedimentos de los arroyos; salinización; cambios en el caudal de agua, y cargas de sustancias químicas tóxicas, como plaguicidas y fertilizantes. 🌿



## Océanos y costas

### Principales consideraciones

- Los océanos y las regiones costeras son de vital importancia para el bienestar social y económico de América del Norte. En los ecosistemas costeros y marinos costa afuera del subcontinente habita una diversidad extraordinaria de especies: mamíferos marinos, peces, invertebrados y plantas. Las regiones costeras también registran algunas de las densidades de población más altas y los mayores índices de crecimiento poblacional de la región.
- Los océanos y las regiones costeras en América del Norte ofrecen una amplia gama de bienes y servicios: pesca, rutas comerciales, recreación y turismo, así como producción de petróleo y gas. El aprovechamiento humano directo, aunado a los efectos del cambio climático, afectan la situación de estos ecosistemas y su biodiversidad.
- La diversidad de los ecosistemas costeros y la variabilidad de las actividades humanas que los afectan complican los esfuerzos por resumir el estado general que guardan. Los ecosistemas costeros, en general, están sujetos a efectos acumulativos de peso, producto de la actividad humana, sobre todo de la urbanización y el cambio en el uso del suelo. Costa afuera, la productividad de ciertas pesquerías se ha visto severamente mermada a causa de presiones ejercidas por operaciones de explotación pesquera.
- A pesar de los avances logrados gracias a la aplicación del principio precautorio y de enfoques basados en los ecosistemas para la gestión de los recursos, las tendencias de la región muestran una sobrepesca continua en algunas áreas y desafíos constantes derivados del cambio en el aprovechamiento del suelo, el deterioro de los hábitats y la pesca incidental. Se prevé que el cambio climático ejerza aún mayor presión ambiental en los ecosistemas marinos y costeros, con efectos específicamente profundos en el océano Ártico generados por cambios en el medio ambiente (como el encogimiento de la cubierta de hielo marino) y la mayor actividad económica asociada.

**Los océanos** —cuerpos continuos de agua salada que cubren más de 70 por ciento de la superficie terrestre— determinan el clima del planeta, sirven como medio de transporte y son hogar de parte importante de la biodiversidad del globo. **Océanos y costas** —donde la tierra se une con el mar— ofrecen un abanico variado de bienes y servicios valiosos, a saber: recursos de pesca, rutas comerciales, recreación y turismo, así como producción de petróleo y gas y diversidad ecológica.

### ¿Cuál es la problemática ambiental?

Los ecosistemas marinos y costeros sustentan algunos de los hábitats más productivos y valiosos del mundo, como estuarios, humedales costeros, playas, bosques de manglares, praderas de hierbas marinas, arrecifes de coral, montañas marinas y áreas de corrientes ascendentes. En los tres países de América del Norte estos ecosistemas se extienden hasta cien kilómetros tierra adentro y a lo ancho y largo de todas sus aguas jurisdiccionales. La salud de estos hábitats depende de la calidad de los procesos físicos y químicos de los ecosistemas, así como de las comunidades biológicas vinculadas. Su degradación y pérdida afectan la viabilidad y productividad de recursos naturales invalorables.

En todo el mundo, las áreas costeras producen servicios ambientales que rebasan, en un grado desproporcionado, los de la mayoría de las demás áreas geográficas, incluso aquellas con mayor superficie total. Al mismo tiempo, los ecosistemas marinos y costeros experimentan el cambio ambiental más acelerado. Durante las últimas décadas más de un tercio de los manglares se ha perdido o convertido en los países que monitorean estas áreas. De manera similar, alrededor de 20 por ciento de los arrecifes de coral se ha destruido y otro 20 por ciento o más se ha deteriorado alrededor del mundo. En algunos países el descenso de los humedales costeros está llegando a 20 por ciento anual. En el océano Ártico son ya evidentes o se anticipan los efectos del cambio climático en las regiones



Miami, Florida.



Esguines de salmón del Atlántico. Foto: Servicio de Pesca y Vida Silvestre de Estados Unidos (US Fish and Wildlife Service).

marinas y costeras; entre éstos se cuentan la pérdida de la cubierta de hielo marino, la erosión de los litorales, inundaciones ocasionadas por el aumento en el nivel del mar y el derretimiento del permafrost.

Un análisis global reciente de los efectos acumulables de las actividades humanas en los océanos concluye que los ecosistemas que registran el mayor impacto acumulable pronosticado son las plataformas continentales de fondos duros y suaves y los arrecifes rocosos. Casi la mitad de los arrecifes de coral están clasificados como ecosistemas sujetos a un impacto de mediano-alto a muy alto. Los ecosistemas de aguas superficiales de fondo suave y los pelágicos de aguas profundas registran el menor impacto por ser menos vulnerables a la mayoría de los factores

antropogénicos. En general, los resultados subrayan el mayor impacto acumulable de las actividades humanas en los ecosistemas costeros (véase el mapa). El presente análisis, sin embargo, no da cuenta absoluta de las nuevas presiones que los efectos del cambio climático ejercen en los ecosistemas de la costa ártica.

### ¿Por qué es importante este asunto para América del Norte?

Recursos marinos y áreas costeras contribuyen de manera importante al bienestar social y económico de los países de América del Norte. De hecho, las áreas costeras del subcontinente se caracterizan por tener algunas de las densidades de población más altas de la región, así como los mayores índices de crecimiento poblacional. En 2000, 36 por ciento de la población de América del Norte vivía a menos de cien kilómetros de la costa.

#### Recursos pesqueros

Los recursos pesqueros de América del Norte desempeñan un papel preponderante en las economías costeras; sin embargo, para asegurar su sustentabilidad a largo plazo se requieren mejoras continuas en la gestión de estos recursos.

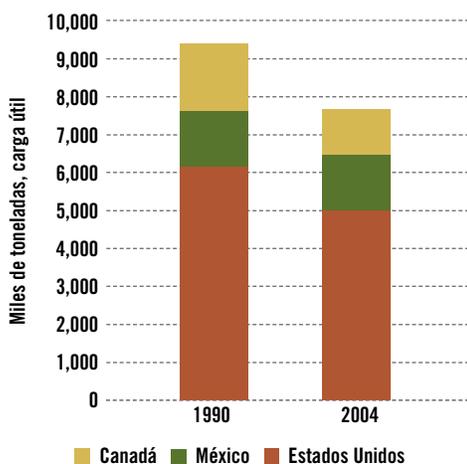
Canadá captura más de cien especies de peces comercialmente valiosas y en 2004 se colocó en sexto lugar entre los principales exportadores de peces y productos pesqueros del mundo, con ingresos aproximados de más de \$C2,000 millones. Las principales especies marinas de peces con aleta de Canadá son merluza, salmón, bacalao, arenque y capelán, y mariscos como camarón, vieiras, langosta y cangrejo de nieve. Sin

embargo, los recursos pesqueros de este país no están libres de problemas. Muchos de los recursos de pesca de fondo frente a la costa del Atlántico y los bancos de salmón del Pacífico han descendido estrepitosamente. Para asegurar la sustentabilidad y controlar las consecuencias de la pesca en áreas vulnerables, Canadá está adoptando un enfoque precautorio de gestión de los recursos pesqueros basado en el ecosistema. En 2004, Canadá anunció una perspectiva para un sector pesquero renovado que busca, con base en tales principios, mejorar el desempeño económico y biológico de los recursos de pesca de este país.

Estados Unidos es el tercer productor de pescado y mariscos del mundo, después de China y Perú, en términos de valor de la pesca de captura marina y de agua dulce. En 2004, Estados Unidos era el cuarto principal exportador y segundo mayor importador de peces y productos pesqueros en términos de valor. El estado que guardan ciertas reservas de peces de Estados Unidos ha mejorado en términos generales, mientras que el de otras ha disminuido. El número de poblaciones que se consideran “sobreexploadas” aumentó de 43 en 2005 a 47 en 2006. Los bancos objeto de sobrepesca registran niveles de biomasa por debajo de los umbrales biológicos especificados en los planes de gestión de recursos pesqueros. El número de bancos “sujetos a sobreexplotación” aumentó de 45 a 48. Un banco que se somete a sobrepesca rebasa el índice de captura que prevé el rendimiento máximo sustentable. La mayor parte de los 530 bancos de peces evaluados en Estados Unidos no registran sobreexplotación (75 por ciento) ni tampoco son susceptibles de ello (80 por ciento). En Estados Unidos, una ley aprobada en 2007 contiene importantes disposiciones nuevas para acabar con la sobrepesca, fomentar las estrategias de mercado para la gestión de pesquerías, mejorar las ciencias pesqueras, fortalecer la cooperación internacional y combatir la pesca ilegal y no registrada, así como la captura incidental de especies protegidas.

México se ubica entre los veinte principales productores de pescado y mariscos del mundo y contribuye con 1.5 por ciento de la producción pesquera total mundial en términos de peso. Los ecosistemas marinos de este país ofrecen, asimismo, otros beneficios aun más valiosos: arrecifes de coral, aguas tropicales cristalinas y playas de arena blanca que son un atractivo para la lucrativa industria turística de México. Sin embargo, el desarrollo industrial y costero, la agricultura y el turismo han ejercido demasiada presión sobre los ecosistemas marinos y costeros del país, sin que éste haya sido capaz de mantener el creci-

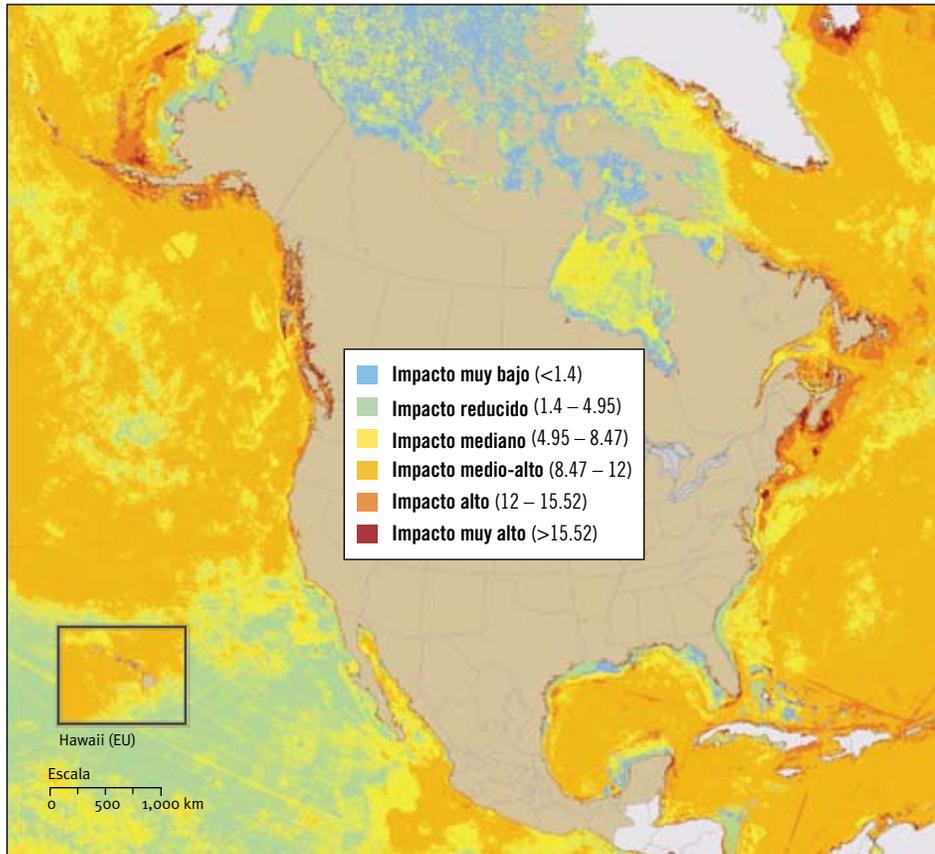
### Pesca en América del Norte



Fuente: Ministerio de Pesca y Océanos de Canadá (Fisheries and Oceans Canada).



## Efectos de la actividad humana en los ecosistemas marinos de América del Norte



Fuente: Adaptado de Benjamin S. Halpern, "A Global Map of Human Impact on Marine Ecosystems", *Science*, 15 de febrero de 2008, pp. 948-952.

miento pesquero casi exponencial ocurrido en las últimas décadas del siglo pasado, en parte por el colapso de la pesca de anchoa. El estancamiento o descenso de la pesca, la sobreexplotación de especies socialmente importantes para la pesca artesanal y la escasez de alternativas de desarrollo rural han dado paso a ciertos retos, en especial en lugares en donde la pesca reviste gran importancia para la localidad, como ocurre en Sinaloa y Sonora.

Con el tiempo, la producción de las importantes industrias pesqueras de los tres países de América del Norte ha ido descendiendo. En 2004 la pesca comercial del subcontinente superaba los 7.6 millones de toneladas, es decir, registraba una reducción de casi 20 por ciento con respecto de los volúmenes de 1990 (véase la gráfica).

Las presiones en los recursos pesqueros de América del Norte se han agudizado, sobre todo en las regiones del noreste, pero también se han manifestado en el golfo de México y el Caribe, en el golfo de California y en la costa oeste. Algunas de las especies afectadas son el bacalao del Atlántico, el salmón del Atlántico, el abadejo, el atún aleta amarilla, el lenguado, el mero y el pargo colorado, entre otros. La sobreexplotación

pesquera afecta no sólo los bancos objetivo, sino también una amplia gama de especies de la red alimentaria, y puede desencadenar una serie de efectos ecológicos en cadena que cambien la naturaleza de los ecosistemas marinos, en ocasiones en forma permanente.

### **Daño a los hábitats y pesca incidental**

Pero la sobrepesca no es el único problema. Los efectos dañinos no intencionados de las actividades humanas en los océanos, incluidas las repercusiones de la pesca en los hábitats y la captura incidental también son preocupantes. El deterioro provocado a los hábitats comprende daños a estructuras vivas del fondo marino, así como alteración de las estructuras geológicas que sirven como zonas de cría, refugio y hogar de peces y organismos que viven en el lecho del mar o cerca de éste, y reduce la capacidad de los ecosistemas marinos para sustentar los recursos pesqueros. Artes de fondo, como dragas y palangres, figuran entre las causas de los altos niveles de impacto a cierto tipo de hábitats.

La pesca incidental se refiere a la captura de peces y de otros vertebrados e invertebrados que no forman parte de los objetivos de las ar-

tes de pesca y que luego se conservan o se desechan vivos, heridos o muertos. Actualmente, cada año se tira al mar casi la cuarta parte de la pesca mundial. Las especies no objetivo, generalmente con poco o ningún valor comercial, suelen enredarse o engancharse accidentalmente durante la captura de especies objetivo como camarón, pez espada y atún. Se ha mencionado la pesca incidental como factor importante del descenso de las poblaciones de muchas especies protegidas, incluidas las tortugas marinas caguama y laúd, albatros y petreles, tiburones y mamíferos marinos como la vaquita (véase el estudio de caso). Estas pérdidas, al igual que las asociadas con daño a los hábitats, pueden tener un efecto dominó en todos los ecosistemas marinos. Aunque ninguna estrategia de gestión ha logrado aún eliminar la pesca incidental, en algunos casos se han propuesto y adoptado enfoques de mitigación efectivos; por ejemplo, la rendición de cuentas de pesca incidental en cupos de pesca y la instalación de equipo como dispositivos de exclusión de tortugas de la pesca de camarón con palangre; cables con banderines en embarcaciones de pesca de altura para reducir la captura de aves marinas, y bandas de red de malla fina para evitar que los delfines se enreden durante el retiro de las redes. Canadá, Estados Unidos y México participan en iniciativas nacionales e internacionales para combatir la pesca incidental.

### **¿Cuáles son sus vínculos con otras cuestiones ambientales de América del Norte?**

Los océanos y los peces no son recursos vastos e inagotables, como antes se creía. De hecho, los océanos y las áreas costeras que los limitan están vinculados mediante importantes procesos ecológicos.

### **Aprovechamiento del suelo y hábitat**

La capacidad de los sistemas costeros para prestar servicios de muy alto valor no se limita al área marina en cuestión. La salud de los océanos está estrechamente vinculada a la de los sistemas marinos, de agua dulce y terrestres adyacentes, y viceversa. Actividades como el desarrollo de puertos, la urbanización, la creación de centros turísticos, el crecimiento de la mancha urbana, la piscicultura y la industrialización pueden destruir bosques costeros, humedales, arrecifes de coral y otros hábitats. Obras de dragado, relleno para ganar terreno al mar e ingeniería también son responsables de esta extensa destrucción, por



lo general irreversible. Grandes segmentos de áreas costeras de América del Norte están en riesgo de conversión y reducción de hábitats en aras de la urbanización. La pérdida de humedales, arenas costeras y zonas de inundación también tiene consecuencias para la pesca, ya que muchas de estas áreas son hábitat de cría esencial para especies marinas valiosas. En el Ártico se prevé que los efectos del cambio climático en los hábitats costeros sean especialmente pronunciados.

#### Calidad del agua

Ecosistemas marinos y costeros desempeñan un importante papel en la conservación del equilibrio del agua y el suministro de agua dulce para consumo humano. El agua dulce también es el principal vínculo entre el aprovechamiento del suelo y los servicios ambientales que los ecosistemas costeros prestan. Ríos, escorrentías y deposición atmosférica arrojan contaminantes de fuentes ubicadas en tierra. La tala de áreas forestales contribuye a la erosión y la sedimentación, con la consecuente disminución de estuarios en ecosistemas costeros y marinos. Esta presión reduce los hábitats disponibles de alimentación y cría de muchas especies marinas. La agricultura introduce fertilizantes, nutrientes y sustancias tóxicas nocivas en los ecosistemas costeros. Las aguas contaminadas que ingresan al ambiente marino provocan degradación, conducen a la pérdida de servicios ambientales y con frecuencia generan problemas para la salud humana. La desaparición de zonas de amortiguamiento como humedales riparianos y estuarinos agrava el problema al reducir el manejo natural que estos ecosistemas llevan a cabo de los residuos. La desviación del agua dulce de los estuarios genera pérdidas de agua y descarga de sedimentos a áreas de crianza y zonas pesqueras.

#### Cambio climático

La condición de los océanos y el cambio climático son inseparables, no sólo porque los sistemas marinos y costeros sufren los efectos de dicho cambio, sino también porque los océanos son el motor tanto del clima como de las condiciones atmosféricas. El cambio climático del planeta deteriora aún más los sistemas costeros y marinos degradados por múltiples factores de efecto prolongado y puede impedir la capacidad de recuperación de los ecosistemas marinos y costeros. Los sistemas costeros son vulnerables tanto a las elevaciones del nivel del mar como a la erosión y las tormentas fuertes.

Aunque todos los océanos son vulnerables a los efectos del cambio climático, el relativa-

mente inalterado Ártico muestra especial vulnerabilidad. El aumento en las temperaturas está afectando rápida y profundamente la cubierta de hielo marino, los procesos oceánicos y la integridad de los hábitats costeros. Estos efectos se conjugan con el aumento en la explotación de

los recursos naturales y las actividades de navegación, de donde puede concluirse que el Ártico probablemente requerirá esfuerzos considerablemente mayores para proteger la integridad de sus ecosistemas marinos y las comunidades que de éstos dependen. 🦋

### Estudio de caso – La vaquita marina

La vaquita (*Phocoena sinus*), pequeña marsopa endémica del norte del golfo de California, en México, es el cetáceo marino más amenazado del mundo. Se calcula que la población actual se limita a apenas unos 150 especímenes. La principal amenaza para la vaquita son las redes agalleras y de enmalle utilizadas para la captura de peces y camarón. Aunque otros factores de riesgo son la pesca con palangre, que afecta el comportamiento de la vaquita, y los efectos inciertos de la construcción de presas en el río Colorado, con la resultante pérdida de entrada de agua dulce a la parte alta del golfo, el enmallamiento es la preocupación más clara e inmediata.



Foto: Omar Vidal.

En el caso de la vaquita, la reproducción en cautiverio no es factible ante la dificultad para capturar estos animales pequeños, solitarios y difíciles de aprehender en aguas relativamente profundas, así como la total falta de experiencia con esta especie en cautiverio. En apenas unos cuantos años se reducirán gravemente las opciones de conservación. A pesar de los esfuerzos por eliminar las redes agalleras del rango de distribución esencial de la vaquita y por proporcionar esquemas de compensación a los pescadores, y aunque grupos conservacionistas, científicos preocupados y funcionarios gubernamentales de México han invertido mucho tiempo y recursos financieros en la conservación de este cetáceo durante los últimos 25 años, los avances para reducir el enmallamiento han sido lentos. Sin duda, la Reserva de la Biosfera del Alto Golfo de California está todavía lejos de alcanzar su potencial pleno para la conservación de la vaquita. El 29 de diciembre de 2005, México declaró Área de Refugio de la Vaquita la zona en la que se habían hecho alrededor de 80 por ciento de los avistamientos verificados del mamífero. En el mismo decreto se ofreció a los gobiernos estatales de Sonora y Baja California recursos por un millón de dólares para compensar a los pescadores afectados. La eficacia de esta importante iniciativa aún está por verse.



## Especies invasoras

### Principales consideraciones

- La invasión biológica, así como la diversidad y la abundancia de las especies que se propagan más allá de su hábitat natural, han alcanzado los índices más altos jamás registrados, lo que ha traído serias consecuencias para el medio ambiente, la economía y la salud humana.
- Un aumento importante en la introducción de especies no nativas a América del Norte, y de un lugar a otro en la misma región, ha sido tanto una consecuencia imprevista como un costo no intencionado de la intensificación del comercio, los viajes y el transporte mundiales desde principios de la década de 1900.
- Especies invasoras individuales han ejercido ya un impacto negativo profundo y cuantificable en el medio ambiente, la economía, la industria, la infraestructura, la salud humana y la función ecológica de América del Norte. El cambio climático está haciendo que los ecosistemas del norte sean más receptivos a especies invasoras porque los inviernos menos fríos generan el potencial para que aumente de manera importante la introducción de estas especies.
- Si bien se ha reconocido la problemática de las especies invasoras y la propagación de ciertas especies se monitorea regularmente, no se dispone aún de indicadores integrales de tendencias para los grandes biomas (es decir, terrestre, de agua dulce, marino y estuarino) o para América del Norte en su conjunto.

Una *especie invasora* es una planta, animal o patógeno microscópico que, una vez sacado de su hábitat natural, se establece, propaga y daña el medio ambiente, la economía o la salud humana en su nuevo hábitat.

### ¿Cuál es la problemática ambiental?

Las especies invasoras constituyen un desafío ambiental importante. En ningún momento de la historia el índice de invasión biológica, así como el volumen y la diversidad de los invasores, han sido tan altos y sus consecuencias tan graves.

Hoy día, los bienes, los servicios y la población se trasladan de un lado a otro en todo el mundo. Sin duda, estos movimientos y operaciones internacionales producen beneficios sociales y económicos a muchos habitantes de América del Norte, pero la tasa de crecimiento y el volumen del comercio global, los viajes y el transporte se han acompañado —desde principios de los años noventa— de un incremento exponencial en la introducción de especies no nativas a América del Norte. En ocasiones, dichas especies son introducidas intencionalmente para utilizarlas en diversas industrias, como la agricultura, la acuicultura, la horticultura y el comercio de mascotas,

pero también pueden llegar como “polizones” en plantas y ganado importado, viajeros y su equipaje, productos manufacturados, material de empaque y medios de transporte: aviones y barcos (en las aguas de lastre o los cascos de las embarcaciones). La gráfica muestra algunas de las rutas comunes de la invasión biológica.

Los sistemas de transporte al interior de América del Norte son vastos: 7.5 millones de kilómetros de carreteras, miles de kilómetros de vías fluviales y ferroviarias, extensas rutas de navegación costera y casi la mitad de los aeropuertos del mundo. Una vez en la región, las especies invasoras pueden propagarse por carreteras y vías navegables y viajar como polizones en vehículos, equipaje y barcos cargueros; ello incluye a las especies invasoras marinas y estuarinas, que pueden llegar a través de la navegación o transportadas por las corrientes. Las especies invasoras no reconocen fronteras políticas y, por eso, la especie que invade un país puede propagarse dentro de una región. Por

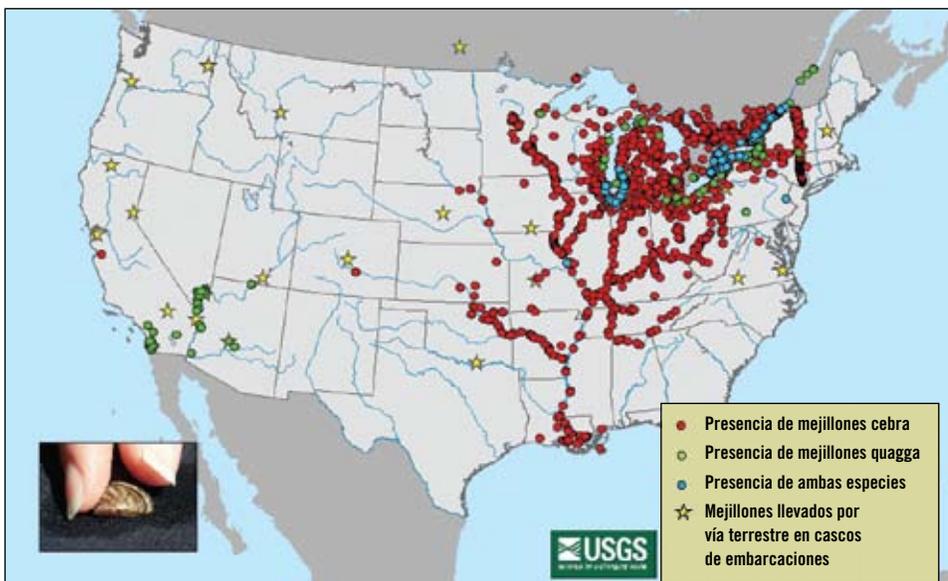
### Categorías de las rutas

Mecanismos de transporte	Productos vivos (especies biológicas introducidas involuntariamente)	Productos vivos (especies biológicas introducidas intencionalmente)
A través de medios de transporte, empaques, equipo y productos no vivos.	A través de productos vivos que no se pretende liberar en el medio ambiente natural.	A través de productos vivos que se pretende liberar en el medio ambiente natural.
Por ejemplo: Cascos de embarcaciones Tanques de lastre Empaques de madera sólida (tarimas, madera de estiba) Equipo militar Tejas de barro	Por ejemplo: Frutas y verduras para consumo Mascotas Animales de laboratorio Animales para exhibición en zoológicos y acuarios públicos	Por ejemplo: Plantas para horticultura Cultivos Peces para siembra Animales de caza

Fuente: Adaptado del Consejo Nacional sobre Especies Invasoras (*National Invasive Species Council*).



## Distribución de sitios de avistamiento de mejillones cebra y quagga en Canadá y Estados Unidos, en marzo de 2008



Fuente: Servicio Geológico de Estados Unidos (US Geological Survey).

ejemplo, tanto el mejillón cebra como el mejillón quagga, especies con efectos negativos en el medio ambiente acuático y las economías locales, fueron introducidos involuntariamente en América del

Norte por medio de embarques. Tales mejillones invasores fueron descubiertos por primera vez en las aguas canadienses del lago St. Clair, cerca de Detroit, en 1988 y desde entonces se han propa-

gado a las cuencas de agua de toda la región con efectos negativos en el medio ambiente acuático y las economías locales (véase el mapa que muestra los lugares en donde se han avistado estos moluscos invasores en Estados Unidos y Canadá). Las embarcaciones para actividades recreativas son también vectores importantes para redistribuir estos mejillones y otras especies invasoras en sistemas de agua dulce, una vez introducidas en América del Norte. Las aguas de lastre y el drenado del casco son importantes mecanismos de transporte para la introducción y propagación de especies marinas y estuarinas, en particular en los Grandes Lagos y los estuarios costeros.

Una vez que se introduce una especie invasora, los cambios constantes en el uso del suelo, el clima y los ecosistemas de agua dulce y marinos pueden facilitar la invasión biológica al volver los hábitats más inhóspitos para las especies nativas y más hospitalarios para la especie invasora. Para las especies invasoras, finalmente no importa si los cambios ambientales son naturales o inducidos por el ser humano; el hecho es que a menudo los hábitats perturbados favorecen a los colonizadores rápidos, por lo que resultan particularmente vulnerables a la invasión de especies no nativas (véase el recuadro).

## ¿Por qué es importante este asunto para América del Norte?

Dados sus múltiples nexos con la economía mundial, América del Norte es extremadamente vulnerable a la introducción de especies invasoras provenientes del exterior. Asimismo, a través de los movimientos internacionales de la población y los bienes de comercio, especies nativas de Canadá, Estados Unidos y México pueden propagarse al interior de la región y allende sus fronteras, y ahí volverse invasoras. Con la expansión del comercio, el transporte y los viajes también se expanden los riegos de la invasión biológica y las consecuencias de las especies invasoras pueden ser muy importantes para el medio ambiente y la economía. El cambio climático está aumentando el riesgo de la introducción de especies no nativas dañinas.

### Perspectiva ambiental

La eliminación permanente de especies endémicas de América del Norte es uno de los aspectos en juego. En Estados Unidos, las especies invasoras se clasifican en segundo lugar, debajo de la modificación del hábitat, como causa de peligro de extinción de las especies, y en los ecosistemas insulares, así como en muchos sistemas de agua dulce en todo el mundo, son la principal causa

### Cuando la prevención falla...

Éstos son algunos ejemplos de "polizones" invasores que han provocado ya profundos efectos negativos en el medio ambiente, la economía, la industria, la infraestructura y la salud humana y animal de América del Norte:

- Carpa asiática** (*Hypophthalmichthys nobilis*, *H. molitrix* y otras): medio ambiente
- Escarabajo asiático de cuerno largo** (*Anolophora glabripennis*): medio ambiente, industria
- Mosquito tigre** (*Aedes albopictus*): salud humana y animal
- Culebra arbórea café** (*Boiga irregularis*): medio ambiente, infraestructura, salud humana
- Hongo quítrido** (*Batrachomyces dendrobatidis*): medio ambiente
- Hongo** (*Ophiostoma ulmi*), causante de la enfermedad del olmo holandés (*Ophiostoma ulmi*): medio ambiente, industria
- Barrenador esmeralda del fresno** (*Agrilus planipennis*): medio ambiente, industria
- Cangrejo verde europeo** (*Carcinus maenas*): medio ambiente, industria
- Caracol gigante africano** (*Achatina fulica*): medio ambiente, industria, salud humana
- Palomilla gitana** (*Lymantria dispar*): medio ambiente, industria
- Rata noruega** (*Rattus norvegicus*): medio ambiente, infraestructura, salud humana y animal
- Hormiga de fuego** (*Solenopsis invicta*): medio ambiente, salud humana

En México, en 2006, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio) había identificado cuando menos 800 especies invasoras en el país, que incluían 665 plantas, 77 peces, dos anfibios, ocho reptiles, 30 aves y seis mamíferos. En Canadá, las especies exóticas invasoras incluyen al menos 27 por ciento de todas las plantas vasculares, 181 insectos, 24 aves, 26 mamíferos, dos reptiles, cuatro anfibios, varios ejemplares de hongos y moluscos y 55 peces de agua dulce. A pesar de la gran cantidad de información en torno a especies individuales, no se dispone de cantidades totales similares para Estados Unidos.



de la extinción de especies. La extinción de las especies nativas puede ser consecuencia de una o varias repercusiones de las especies invasoras, entre otras, la competencia por alimento, espacio o sitios de reproducción; una mayor depredación, o la propagación de parásitos y enfermedades frente a los que las especies nativas carecen de defensas. Las especies invasoras también pueden deteriorar tanto las funciones de los ecosistemas como los servicios que éstos ofrecen, desde la producción de alimentos hasta el valor estético. Ni siquiera las áreas naturales mejor protegidas son inmunes a la invasión biológica. Predecir las repercusiones ecológicas se vuelve aún más difícil porque los efectos de las especies invasoras pueden hacerse patentes de inmediato u observarse hasta después de muchos años.

#### Perspectiva económica

Las especies invasoras pueden cobrar una cuota económica muy alta a los gobiernos, la industria y la ciudadanía. Los costos económicos pueden ser directos, como la pérdida o reducción de cose-

chas, o indirectos, como una menor percepción de ingresos por concepto de turismo a causa de arrecifes deteriorados o una pesca deportiva de menor calidad. Las pérdidas económicas mundiales causadas por dichas especies se han estimado en \$EU1,400 billones anuales. El costo para Estados Unidos es de más de \$EU100,000 millones al año. En Canadá, el daño ocasionado a los cultivos agrícolas y a la silvicultura por las plagas de plantas invasoras se ha calculado en \$C7,500 millones anuales; sólo en la provincia de Manitoba, las pérdidas económicas por el hongo *Ophiostoma ulmi* se han estimado en \$C30 millones. Otro tipo de consecuencia económica directa es el costo de cumplir con la reglamentación nacional e internacional vigente o propuesta, como el requisito propuesto para el tratamiento de las aguas de lastre de todas las embarcaciones nuevas en el marco del convenio sobre aguas de lastre de la Organización Marítima Internacional. El efecto y los costos de gestión de una sola especie pueden

acarrear un sobreprecio sustancial (véanse ejemplos en el recuadro). Si también se contaran los costos indirectos, como pérdida de los servicios ambientales de un ecosistema, estas estimaciones serían mucho más altas.

#### Salud humana

Las especies invasoras tienen consecuencias en la salud humana que pueden ser directas: derivadas de la exposición a nuevas enfermedades y parásitos, o indirectas: derivadas de exposiciones más elevadas y frecuentes a plaguicidas necesarios para erradicar y controlar a esas especies. Los agentes patógenos y parásitos pueden ser especies invasoras por sí solos o pueden ser introducidos por vectores invasores como mosquitos no nativos. El cólera y algunos de los microorganismos que causan florescencias de algas nocivas se reubican y liberan en el agua de lastre transportada por grandes embarcaciones. Otras enfermedades importantes provocadas por patógenos

### Estudio de caso – La palomilla del nopal



Larvas de la invasora palomilla del nopal.

La palomilla del nopal (*Cactoblastis cactorum*) se reproduce en el cactus del género *Opuntia*, comúnmente conocido como nopal, y se alimenta de éste. Esta palomilla, originaria de América del Sur, fue introducida en todo el mundo como agente de control biológico de cactus invasores. En 1989 se detectó el insecto en los cayos de la Florida, probablemente introducido ya sea por la dispersión natural del viento o en nopales de horticultura importados del Caribe. A partir de entonces, el rango de la palomilla se ha ampliado hacia el norte a lo largo de las costas del Atlántico y del golfo de Florida, a pesar de las activas medidas de control, y esta expansión ha puesto en grave riesgo al nopal nativo de América del Norte.

México es el país más diverso en especies de nopal, con 38 especies endémicas que ocupan tres millones de hectáreas. Estados Unidos también tiene 31 especies de nopal, nueve de ellas endémicas, incluida la extremadamente rara *Opuntia corallicola* de Florida. Numerosas especies de aves, murciélagos, mamíferos e insectos dependen del nopal como hábitat y fuente de alimentación, amén de que las cactáceas sirven para controlar la erosión en suelos desérticos frágiles. Además de sus enormes consecuencias para la biodiversidad de América del Norte, la palomilla del nopal amenaza la agricultura, la arquitectura de paisajes y la ganadería. En 2000, el valor de las cactáceas ornamentales utilizadas para la xerojardinería, o jardinería de zonas áridas, en Arizona representó \$EU14 millones anuales. El nopal y su fruto, la tuna, ocupan el séptimo lugar entre los principales cultivos agrícolas de México, país en donde además comúnmente se les corta en estado silvestre y se utilizan para complementar la ingesta alimenticia. Más aún, el nopal es símbolo nacional y forma parte de la bandera y las monedas mexicanas.

En un despliegue de cooperación internacional, el gobierno mexicano ha contribuido con fondos a las medidas tomadas por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos para detener la propagación hacia el oeste de la palomilla del nopal. Sin embargo, en 2006 dicho insecto fue descubierto en Isla Mujeres (a nueve kilómetros de Cancún en tierra continental) y el gobierno mexicano ahora está tratando de erradicarla por medio de un extenso programa de recaptura.

Foto: Peggy Greb, <<http://www.ars.usda.gov/is/graphics/photos/sepo6/d588-2.htm>>.

#### Costos de control y erradicación

##### La termita formosa subterránea

(*Coptotermes formosanus*), introducida al sureste de Estados Unidos desde Asia oriental, es un visitante caro: se eroga un estimado de mil millones de dólares anuales en medidas de control y reparaciones por daños a propiedades.

##### La polilla gitana (*Lymantria dispar*),

introducida en Carolina del Norte en 1993 y erradicada cuatro años después, generó un costo de \$EU19 millones.

La Comisión de Pesca de los Grandes Lagos —administrada en forma conjunta por los gobiernos federales de Canadá y Estados Unidos— destina alrededor de \$EU22 millones anuales para controlar la lamprea marina (*Petromyzon marinus*).

El costo de erradicación de uno o más mamíferos traídos de 23 islas mar adentro de la costa del noroeste de México fue de aproximadamente \$EU750,000.

Los investigadores estiman que en la década de 1990 el mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*) costó sólo a la industria eléctrica \$EU3,100 millones, con impacto en los sectores empresarial e industrial y en comunidades por más de \$EU5,000 millones. En Canadá, Ontario Hydro informó que el mejillón cebra ha representado un costo anual de 376 mil dólares a cada estación generadora.



invasores son malaria, fiebre del dengue y los virus de inmunodeficiencia humana que causan el sida. Pero las enfermedades menos conocidas también pueden ser problemáticas; por ejemplo, el caracol gigante africano, posible fuente alimenticia y también mascota, es hospedero intermedio de vermes pulmonares de rata, que pueden infectar el cerebro humano y causar dolor de cabeza, fiebre, parálisis, coma e incluso la muerte.

## ¿Cuáles son sus vínculos con otras cuestiones ambientales de América del Norte?

Las especies invasoras se relacionan con diversos problemas ambientales de toda la región. Las condiciones ambientales sumamente cambiantes tienden a incrementar la diversidad, propagación e impacto de estas especies.

### Cambio climático

Probablemente el cambio climático aumente el índice de nuevas invasiones en América del Norte y además fomente la propagación de las especies invasoras ya establecidas en la región. La presión en los medios naturales, como la ocasionada por el cambio climático, puede mermar su capacidad para resistir la invasión biológica. El cambio climático tiene la capacidad de incrementar las oportunidades de que las especies invasoras se establezcan por sí solas después de una tormenta o un incendio. Las temperaturas más cálidas o los cambios en los patrones de precipitación pluvial pueden permitir a ciertas especies ampliar su área de distribución y ocupar nuevos papeles en los sistemas ecológicos. Cambios en la dirección y fuerza de las corrientes de aire podrían influir en la propagación y migración de especies aerotransportadas, como insectos voladores, mientras que los cambios en las corrientes cercanas a la costa podrían incidir en la distribución de las especies invasoras marinas y estuarinas.

### Aprovechamiento del suelo

Muchas especies invasoras se reproducen a toda velocidad y son sumamente oportunistas, por lo que el cambio en el uso del suelo generalmente favorece la invasión biológica. Por ejemplo, la construcción de caminos, el mantenimiento de orillas de carreteras y corredores de transmisión de electricidad, así como la tala, pueden abrir nuevas áreas a las especies invasoras y facilitar su propagación a través de la maquinaria y equipo, e incluso de los trabajadores. Las actividades agrícolas pueden introducir especies invasoras a nuevas áreas por medio de contaminación con semillas y “escapes” de cultivos. Además, áreas

agrícolas abandonadas pueden ser invadidas por dichas especies antes de que la sucesión natural restaure la comunidad de plantas locales. En ambientes urbanos y suburbanos, los jardineros introducen en la jardinería especies no nativas que pueden propagarse a ambientes naturales por medio de corredores de “áreas verdes”.

### Agua

Las especies invasoras pueden limitar a un alto grado la disponibilidad de agua potable, así como de aguas superficiales para consumo de la vida silvestre. Ciertas especies como pinos y eucaliptos pueden hacer descender los niveles freáticos e influir negativamente en los ciclos de agua regionales. Al alterar el ciclo de los nutrientes, las especies acuáticas invasoras pueden fomentar la eutrofización o el crecimiento de algas no deseadas. Las plantas acuáticas invasoras pueden obstruir las vías fluviales y atrapar sedimentos,

ocasionando que el sistema acuático se estanque y finalmente se llene al tope. El estancamiento también puede aumentar el riesgo de enfermedades como el virus del Nilo occidental al incrementar las poblaciones de mosquitos.

### Energía

Los gobiernos de todo el mundo están invirtiendo en la generación de energía a partir de biocombustibles. Muchas de las características que hacen que una planta sea apta para la producción de tales combustibles (como crecimiento rápido y tolerancia a ambientes perturbados) son las mismas que hacen de dicha planta un invasor eficaz. De hecho, se han propuesto varias especies de plantas invasoras para la producción de biocombustibles en América del Norte. Sin embargo, el riesgo entonces sería la posibilidad de que las especies no nativas usadas para biocombustibles escapen al medio ambiente natural. 🌿

## Estudio de caso – Plagas arbóreas

En Estados Unidos y Canadá, la reciente aparición de varias especies invasoras que amenazan los bosques y las industrias de productos forestales atrajo la atención hacia una ruta olvidada: el material de empaque de madera sólida, incluidas cajas, tarimas y madera de estiba utilizadas para transportar diversos productos. Estos materiales pueden albergar huevos, larvas y formas adultas de insectos barrenadores de corteza y madera. Ejemplos recientes de graves plagas que podrían haberse introducido a través de materiales de empaque sin tratar son el barrenador esmeralda del fresno (*Agrilus planipennis*) y el escarabajo asiático de cuerno largo (*Anoplophora glabripennis*).

El barrenador esmeralda del fresno fue descubierto por primera vez en 2002 en fresnos infectados en Detroit, Michigan, y en la vecina Windsor, Ontario, pero aparentemente llegó sin ser detectado y se estableció desde hace ya una década. Nativo de China y del este de Rusia, el escarabajo se alimenta de fresnos, y acaba con éstos en el proceso. Estos árboles son parte importante de los bosques de América del Norte, proveen de alimento a numerosas especies de vida silvestre y son muy populares en las calles de muchas ciudades estadounidenses y canadienses del medio oeste. El barrenador esmeralda del fresno se propagó a Ohio, Indiana, Illinois y más lejos aún, hasta Michigan y Ontario, acabando con más de 15 millones de árboles sólo en el sureste de Michigan. Oculto en embarques, madera y leña que le sirven como criaderos, ha logrado escapar en repetidas ocasiones de las áreas de cuarentena impuestas por gobiernos federales, estatales y provinciales y, por desgracia, las perspectivas de erradicación del insecto no son buenas.

El escarabajo asiático de cuerno largo fue descubierto en Nueva York por primera vez en 1996, y detectado después en 1998 en Illinois, en 2002 en Nueva Jersey y en 2003 en Ontario. El escarabajo ataca y mata muchos tipos de árboles de madera dura, como el arce, y podría alterar drásticamente los bosques de la región, así como costar miles de millones de dólares a la silvicultura, el paisajismo y las industrias de elaboración de jarabe de arce (“miel de maple”) y del turismo otoñal. Este insecto también podría diezmar 30 por ciento de los árboles de las calles urbanas de Estados Unidos, a un costo de reemplazo de cientos de miles de millones de dólares. Desde que se le detectó por primera vez, los gobiernos de Canadá y Estados Unidos han emprendido costosas medidas de erradicación, que demandan la remoción de miles de árboles de vecindarios, parques y calles. Si bien avanzan con lentitud, las medidas de erradicación han arrojado resultados promisorios. Además, se están creando normas nacionales, regionales e internacionales de fumigación y etiquetado para impedir que las especies invasoras infesten materiales de empaque.



## Especies amenazadas de preocupación común

### Principales consideraciones

- Las especies amenazadas de preocupación común de América del Norte son un grupo de especies migratorias, transfronterizas y endémicas que Canadá, Estados Unidos y México han identificado como parte de la enorme riqueza de vida silvestre de la región cuya conservación eficaz exige de atención conjunta.
- América del Norte está sujeta a presiones que afectan la conservación de estas especies; presiones entre las que se cuentan el cambio climático, el aprovechamiento del suelo y la conversión de hábitats, las especies invasoras y la contaminación.
- Casi 1,600 especies se encuentran en peligro crítico de extinción, en peligro de extinción o en situación vulnerable en América del Norte. Las especies terrestres y marinas amenazadas de preocupación común constituyen un grupo reducido pero importante y representativo de aves, mamíferos y reptiles seleccionados para recibir atención especial de los tres países con miras a su conservación.
- Si bien algunas especies han experimentado un aumento de sus poblaciones, muchas otras se han reducido. Aunque la situación de algunas especies en particular es objeto de una evaluación periódica, no se dispone de un indicador de tendencias a escala subcontinental para este grupo en conjunto.

Las *especies amenazadas de preocupación común* son un grupo de especies migratorias, transfronterizas y endémicas de América del Norte. Son especies carismáticas que pueden atraer la atención ciudadana y captar recursos para su conservación, y por esa característica fueron elegidas. La conservación de las especies en sí y de sus hábitats requiere la cooperación regional. La exitosa conservación de estas especies redundará también en beneficios para otras.

### ¿Cuál es la problemática ambiental?

Seleccionadas de entre la gran riqueza de flora y fauna silvestre del subcontinente con el propósito de brindarles especial atención, la mayoría de las especies amenazadas de preocupación común de América del Norte son un grupo que utiliza o viaja a través de una serie de hábitats diversos por toda la región. Por ese motivo, su protección sólo podrá lograrse con la colaboración trinacional y mediante acciones eficaces de múltiples partes interesadas.

Canadá, Estados Unidos y México comparten ecosistemas que son hogar de especies que cruzan libremente las fronteras nacionales. Con esta circunstancia en mente, expertos y representantes de

los servicios federales de vida silvestre de los tres países elaboraron una lista de especies cuya conservación es de preocupación común y exigía un enfoque regional. Se dio prioridad a las especies transfronterizas o migratorias de aves y mamíferos que están en peligro de extinción o amenazadas en uno o más países, que están extintas en por lo menos un país o que ameritan preocupación especial, así como a aquellas con posibilidades de demostrar la importancia de la cooperación trilateral o bilateral (véase en el recuadro la lista de especies terrestres seleccionadas).

En el proceso de selección de especies marinas se dio prioridad a las especies transfronterizas o migratorias con alto riesgo de extinción dadas la situación o las tendencias actuales, o debido a



Chipe mejilla dorada: adulto macho en periodo de reproducción. Foto: Gene Nieminen, USFWS-NCTC.



Oso negro. Foto: Steve Maslowski



Perrito de las praderas de cola negra.

su vulnerabilidad natural inherente o su susceptibilidad a amenazas antropogénicas; especies que tienen importancia ecológica; que están incluidas en listas oficiales como especies de preocupación común por uno de los tres países de América del Norte, por la Unión Mundial para la Naturaleza o por la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres; que tienen posibilidades de recuperación o manejo, y que pueden resultar atractivas para la ciudadanía. La lista final elaborada por los equipos nacionales se concentró en tres grupos taxonómicos: mamíferos, aves y tortugas, todos ellos marinos (véase el recuadro).

Las especies migratorias y transfronterizas usan o cruzan en su recorrido diversos hábitats de América del Norte. Dados sus patrones migratorios a gran escala y su naturaleza transfronteriza, estas especies dependen de la disponibilidad continua de hábitats de cría y alimentación, así como de importantes corredores de desplazamiento y zonas de escala a lo largo de las rutas migratorias que unen los sitios de reproducción y alimentación. La supervivencia de muchas especies terrestres y marinas amenazadas de preocupación común depende de la existencia de ecosistemas relativamente intactos; de ahí que los cambios en su estado de conservación puedan indicar problemas de biodiversidad aún más graves.

### Especies terrestres amenazadas de preocupación común

#### Aves

- Tecolote llanero** (*Athene cunicularia*)
- Cóndor californiano** (*Gymnogyps californianus*)
- Aguiluilla real** (*Buteo regalis*)
- Chipe mejilla dorada** (*Dendroica chrysoparia*)
- Alcaudón verdugo** (*Lanius ludovicianus*)
- Búho manchado mexicano** (*Strix occidentalis lucida*)
- Chorlo llanero** (*Charadrius montanus*)
- Búho manchado del norte** (*Strix occidentalis caurina*)
- Halcón peregrino** (*Falco peregrinus*)
- Chorlo chiflador** (*Charadrius melodus*)
- Grulla blanca** (*Grus americana*)

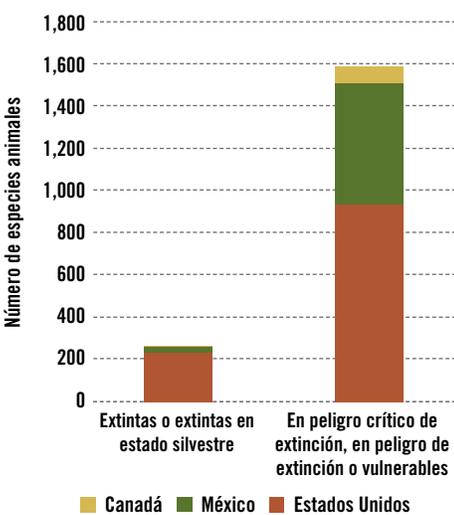
#### Mamíferos

- Oso negro** (*Ursus americanus*)
- Perrito de las praderas de cola negra** (*Cynomys ludovicianus*)
- Lobo gris** (*Canis lupus*)
- Murciélago magueyero chico** (*Leptonycteris curasoae yerbabuena*)
- Murciélago magueyero grande** (*Leptonycteris nivalis*)
- Berrendo sonorese** (*Antilocapra americana sonoriensis*)

lidad un grupo pequeño si se les compara con las casi 1,600 especies en peligro crítico de extinción, amenazadas o en situación vulnerable en toda la región (véase la gráfica); pero aún así son importantes. Entre ellas se cuentan especies ecológicamente importantes, especies emblemáticas, especies paraguas, especies cruciales y especies indicadoras, así como especies de rareza taxonómica y aquellas para las que un alto porcentaje de la población mundial se localiza en América del Norte.

Las especies emblemáticas representan un amplio rango de taxones, diferentes niveles de riesgo y amplia diseminación geográfica. En esencia, la mayoría son especies carismáticas, con algún rasgo que atrae la atención pública y que ayuda a captar recursos para su conservación. Un ejemplo es la nutria marina, uno de los mamíferos marinos más pequeños. Su imagen cautivadora aparece en diversos productos, desde camisetas hasta "ratódromos" (*mouse pads*) y es bien conocida para la ciudadanía en general.

### Especies amenazadas en América del Norte



Fuente: Unión Mundial para la Naturaleza (IUCN).

### ¿Por qué es importante este asunto para América del Norte?

Para atender las necesidades de estas especies es necesario prestar atención a las causas de raíz de la pérdida de biodiversidad, en especial cambios al paisaje y pérdida de hábitats terrestres, así como captura incidental y daños al hábitat en el medio ambiente marino. La recuperación de especies migratorias o transfronterizas es difícil o imposible sin la colaboración de los países afectados. Incluso especies endémicas pueden resultar afectadas por presiones que se originan fuera del país anfitrión.

#### Categorías de las especies de preocupación

Las especies amenazadas de preocupación común de América del Norte constituyen en rea-



## Especies marinas amenazadas de preocupación común

### Mamíferos

**Ballena azul** (*Balaenoptera musculus*)

**Ballena gris** (*Eschrichtius robustus*)

**Lobo fino de Guadalupe**

(*Arctocephalus townsendi*)

**Ballena jorobada** (*Megaptera novaeangliae*)

**Orca** (*Orcinus orca*)

**Ballena franca** (*Eubalaena glacialis* y *Eubalaena japonica*)

**Nutria marina** (*Enhydra lutris*)

**Vaquita** (*Phocoena sinus*)

### Aves

**Pardela pata rosada** (*Puffinus creatopus*)

**Albatros de cola corta** (*Phoebastria albatrus*)

**Mérgulo de Xantus**

(*Synthlibiramphus hypoleucus*)

### Tortugas

**Tortuga verde del Pacífico oriental**

(*Chelonia mydas agassizii*)

**Tortuga carey** (*Eretmochelys imbricata*)

**Tortuga lora** (*Lepidochelys kempii*)

**Tortuga laúd** (*Dermochelys coriacea*)

**Tortuga caguama** (*Caretta caretta*)



Dos crías de tortuga lora en la Isla del Padre, Texas  
Foto: NPS, Padre Island National Seashore



Pardela pata rosada. Foto: Hadoram Shiriha

Otro ejemplo es la vaquita, pequeño cetáceo endémico de la parte alta del golfo de California, en México, cuya principal amenaza son las redes agalleras utilizadas para la captura de peces y camarón de consumo nacional y para exportación a toda América del Norte.

Las *especies paraguas* son aquellas cuya conservación efectiva derivará en la protección de muchas otras especies que comparten el mismo hábitat. Para animales sumamente migratorios como la tortuga laúd, la tortuga carey, la tortuga caguama, la ballena franca, la ballena gris, la pardela pata rosada, el albatros de cola corta y la grulla blanca, la protección de especies paraguas significa protección de un conjunto completo de hábitats vinculados y de la miríada de organismos que éstos albergan.

Las *especies cruciales* desempeñan un papel ecológico de capital importancia en la conservación de la diversidad biológica y la estructura de la cadena alimentaria. Por ejemplo, la extinción o eliminación en su hábitat de la nutria

marina ocasionaría efectos en cascada que, en última instancia, conducirían a la pérdida de bosques de algas y comunidades relacionadas. La tortuga carey también desempeña un papel fundamental: evitar que las esponjas de rápida proliferación se adueñen de los arrecifes. En el caso de las especies cruciales, el riesgo de extinción tendría consecuencias más extendidas a escala comunitaria.

Las especies amenazadas de preocupación común podrían actuar también como *indicadores* o “barómetros biológicos” de qué tan bien o mal están funcionando sus ecosistemas anfitriones. Así ocurre en el caso de los pastizales, un ecosistema sumamente modificado bajo coacción extrema, donde la mayoría de las especies terrestres amenazadas tienen su hogar.

## ¿Cuáles son sus vínculos con otras cuestiones ambientales de América del Norte?

América del Norte está sujeta a presiones naturales y antropogénicas que afectan la conservación de estas y otras especies.

### Aprovechamiento humano de los ecosistemas terrestres y marinos

Los efectos perjudiciales de los cambios en el uso del suelo y de la fragmentación del hábitat en las poblaciones de animales son bien conocidos. La destrucción de hábitats terrestres puede tener su origen en factores como conversión del hábitat natural ante el desarrollo

agrícola o urbano, la desviación o modificación física de ríos o la extracción de agua de las vías fluviales. La pérdida del hábitat también sucede en sistemas costeros y marinos. Por ejemplo, el uso de dispositivos pesqueros de arrastre en el fondo del mar puede reducir significativamente la diversidad de los hábitats marinos; por su parte, la pesca destructiva y el desarrollo costero pueden generar pérdidas de arrecifes de coral. Cuando se pierde el hábitat, se extinguen las especies de plantas y las comunidades animales asociadas, cuyo hábitat suele estar determinado en gran medida por la composición de las comunidades de plantas nativas. Ahora bien, la fragmentación de hábitat representa un problema todavía más amplio que la pérdida total de hábitat, y es que los pedacitos del hábitat original no son lo suficientemente extensos como para mantener poblaciones viables de algunas especies.

### Especies invasoras

Después de la destrucción y fragmentación del hábitat, la introducción de especies invasoras se considera la mayor amenaza para la continuidad de la biodiversidad. Las especies invasoras compiten con las nativas principalmente por el espacio y la comida; además, cuando se perturba la composición de las especies nativas, se altera la vulnerabilidad de los ecosistemas naturales a incendios, inundaciones y otros fenómenos naturales. Las especies invasoras también propagan enfermedades y perturban los procesos naturales de los ecosistemas. La

variada geografía de América del Norte, cuyos ecosistemas van desde tundra ártica, arrecifes de coral tropicales y desiertos hasta bosques pluviales y ríos y lagos de agua dulce, permite a las especies invasoras de casi cualquier lugar encontrar un lugar hospitalario en alguna parte de la región.

### Cambio climático

Se cree que el cambio climático intensificará la perturbación de los hábitats en América del Norte. Cabe la posibilidad de que un mayor número de perturbaciones permita la proliferación de especies invasoras e interrumpa los servicios ambientales que los ecosistemas brindan. Con el tiempo, las especies responderán a las presiones climáticas trasladándose al norte y a elevaciones más altas en busca de hábitats más aceptables, con el consecuente reacomodo de los ecosistemas de la región. La estructura, función y servicios de los ecosistemas —desde las selvas tropicales mexicanas hasta las regiones árticas de Canadá y Estados Unidos— se modificarán en respuesta a las diversas capacidades de las especies para llevar a cabo tales cambios de rango y a las restricciones impuestas por el desarrollo, la fragmentación de hábitat, las especies invasoras y las conexiones ecológicas rotas.

### Contaminación

Ciertas amenazas a la biodiversidad son difíciles de cuantificar, en especial las que minan la integridad de los ecosistemas en formas poco visibles. Por ejemplo, se sabe que la contaminación afecta a la tortuga carey. Se han detectado plaguicidas, metales pesados y BPC en tortugas y huevos; además, los derrames de petróleo dañan la respiración, la piel, la química sanguínea y el funcionamiento de la llamada “glándula de la sal”, por la que se libera el exceso de sal en el organismo. Al igual que otras tortugas marinas, la carey ingiere detritos de todo tipo, como bolsas y gránulos de plástico, burbujas y espumas para embalaje, residuos de alquitrán y globos. Ingeridos incluso en muy pequeñas cantidades, estos desechos pueden no sólo bloquear el sistema digestivo, sino interferir con el metabolismo como resultado de la absorción de subproductos tóxicos. Con todo, es difícil medir el impacto exacto de la contaminación en esta y otras especies pues se desconocen los efectos de contaminantes específicos en niveles variables en la salud de las especies expuestas. 🦋

## Estudio de caso – Tecolote llanero



Tecolote llanero.

El tecolote llanero (*Athene cunicularia*) es un ave con poblaciones tanto residentes como migratorias en Canadá, Estados Unidos y México. Las poblaciones norteamericanas del ave migran al sur durante el invierno, para pasar la temporada en territorio mexicano y en el sur de Estados Unidos. La especie prefiere pastizales, zonas desérticas y áreas abiertas. Una característica distintiva de esta ave es que anida en madrigueras que ella misma cava, o en madrigueras excavadas por mamíferos como perritos de las praderas, tuzas y ardillas de tierra. Estos agujeros no sólo le proporcionan un sitio para anidar, sino que también lo protegen del viento, la lluvia, el sol y los depredadores.

Las poblaciones de tecolote llanero han disminuido en todo Canadá y Estados Unidos; en cuanto a México, el país carece de datos suficientes que permitan conocer las tendencias. En Canadá, la situación de la especie es crítica, ya que enfrenta su posible extinción.

Se cree que el aprovechamiento intensivo del suelo, y en particular la conversión de pastizales a la agricultura, ha sido un importante factor en el descenso en la población del tecolote llanero. Al parecer, los programas de erradicación de perritos de las praderas y conejos también

### Regiones pobladas por el tecolote llanero



Fuente: NatureServe.

han contribuido. El aprovechamiento intensivo del suelo ha provocado la pérdida y la fragmentación general de los sitios de anidación. La fragmentación disminuye la capacidad del tecolote para encontrar pareja y, aparentemente, también interfiere con la dispersión de las crías jóvenes. Otros factores que cambian la fisonomía de los pastizales y subyacentes al descenso en la población son la urbanización, el uso de plaguicidas y la introducción de especies invasoras. En Canadá, más de 75 por ciento de las praderas están cultivadas y gran parte de los pastizales restantes han sido alterados por las actividades humanas. Asimismo, los problemas a lo largo de las rutas de migración del tecolote y en las zonas de invernación también pueden estar contribuyendo a incrementar la desaparición de la especie.



## Deposición ácida

### Principales consideraciones

- La deposición ácida (por lo común llamada *lluvia ácida*) degrada la calidad de bosques, ecosistemas costeros, lagos y suelos; provoca daños a la vida silvestre, y corroe los materiales de las edificaciones. Las emisiones acidificantes pueden cruzar las fronteras nacionales y de entidades federativas, afectando ecosistemas a cientos de kilómetros de distancia.
- El dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) son emisiones acidificantes que contribuyen a los depósitos ácidos. Estos compuestos químicos se emiten principalmente por actividades humanas como la fundición de metales y el uso de combustibles fósiles para el transporte y la generación de electricidad.
- A partir de 1990 las emisiones de  $\text{SO}_2$  en América del Norte han disminuido un tercio, en tanto que las de  $\text{NO}_x$  han registrado un reducción de un poco más de la quinta parte. El depósito de sulfatos en la zona oriental de Estados Unidos y Canadá ha tenido una disminución significativa en los pasados 15 años, mientras que la baja en la deposición de nitratos ha sido menos señalada.
- A pesar de los considerables avances en la reducción de las emisiones y la deposición de contaminación acidificante, un elevado número de ecosistemas vulnerables recibe aún depósitos ácidos por encima de los umbrales que causan daños de largo plazo. Además, algunas regiones previamente afectadas por niveles altos de depósitos ácidos no se están recuperando como se había previsto.

La *deposición ácida* resulta principalmente de la transformación de contaminantes atmosféricos como el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) en contaminantes secundarios como el ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), el nitrato de amonio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) y el ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ). Las partículas y los vapores acidificantes pueden depositarse en la superficie terrestre en forma de precipitación ácida (deposición húmeda) o de partículas como ceniza suspendida, sulfatos, nitratos y gases (deposición seca).

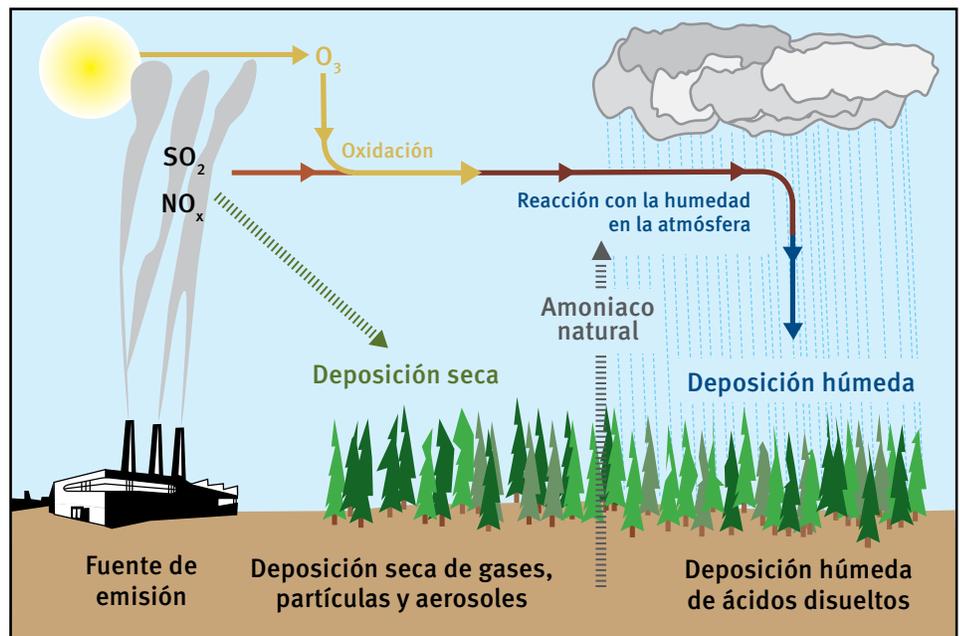
### ¿Cuál es la problemática ambiental?

La deposición ácida ha dañado ya bosques, lagos, suelos, edificios y monumentos históricos de América del Norte, en algunos casos de manera irreversible. Los contaminantes atmosféricos que dan origen al depósito ácido también afectan la salud humana y la calidad del aire, pero el problema no es exclusivo de América del Norte. Debido a que los contaminantes acidificantes pueden transportarse grandes distancias en la atmósfera para depositarse en ecosistemas a cientos e incluso miles de kilómetros de distancia, la deposición ácida es un problema mun-

dial. Las emisiones de América del Norte viajan tan lejos como Europa y las originadas en Asia afectan la salud humana y el medio ambiente de América del Norte.

Los contaminantes atmosféricos, en particular las emisiones de óxidos de azufre y de nitrógeno, son precursores de la deposición ácida. En América del Norte el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) son emitidos no sólo por fuentes antropogénicas como la fundición de metales y la quema de combustible fósil en la generación de electricidad y el transporte, sino también por fuentes naturales como volcanes, incendios forestales y relámpagos. No

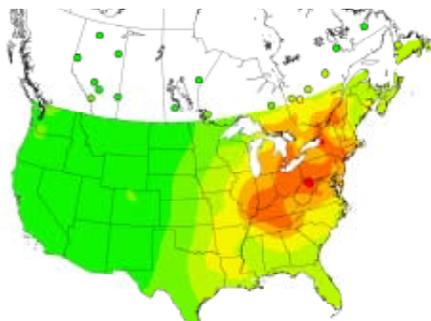
### El proceso de la deposición ácida



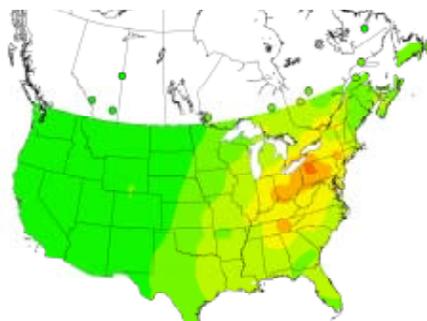
Fuente: Adaptado de Michael Pidwirny, *Physical Geography.net—Fundamentals of Physical Geography*, <<http://www.physicalgeography.net/fundamentals/8h.html>>.

## Deposición húmeda de sulfatos y de nitratos en Canadá y Estados Unidos

Deposición húmeda media de sulfatos en cinco años (1990-1994)



Deposición húmeda media de sulfatos en cinco años (2000-2004)



Deposición húmeda media de nitratos en cinco años (1990-1994)



Deposición húmeda media de nitratos en cinco años (2000-2004)



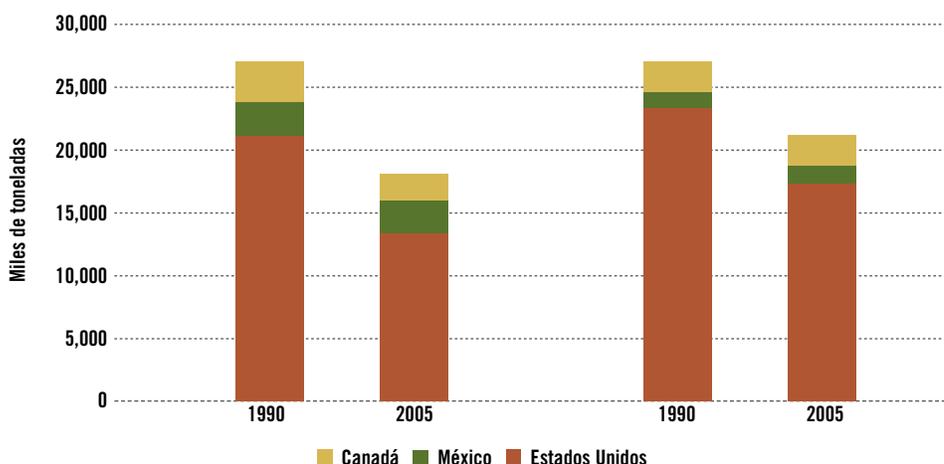
(kg/ha/año)

■ < 5 ■ 5 – 10 ■ 10 – 15 ■ 15 – 20 ■ 20 – 25 ■ 25 – 30 ■ > 30

Fuente: NATChem. Mapas, cortesía de Chul-Un Ro, ministerio de Medio Ambiente de Canadá (*Environment Canada*).

Emissiones atmosféricas de SO<sub>2</sub>

Emissiones atmosféricas de NO<sub>x</sub>



Fuentes: Ministerio de Medio Ambiente de Canadá (*Environment Canada*), Agencia de Protección Ambiental (*US Environmental Protection Agency*) e Instituto Nacional de Ecología de México (los datos más recientes de México corresponden a 2002).

obstante, la gran mayoría de las emisiones de SO<sub>2</sub> y de NO<sub>x</sub> que contribuyen a la deposición ácida son producto de actividades humanas.

La acidificación de los ecosistemas ocurre cuando la deposición de compuestos ácidos excede la capacidad neutralizadora del medio ambiente receptor. El agua de lluvia limpia es ligeramente ácida, con un pH de alrededor de 5.6, debido a que contiene dióxido de carbono disuelto del aire. La contaminación acidificante tiene un pH menor, por lo general entre 4 y 5. La disminución de un solo punto en el pH representa un aumento de diez veces en la acidez. Por tanto, el agua de lluvia con pH de 4.2 es cerca de 25 veces más ácida que en su estado limpio. Al hacer más ácidos los suelos y el agua, la deposición ácida perjudica a las plantas, los animales y la integridad del ecosistema en las zonas afectadas, y daña también construcciones, monumentos y pintura de superficies.

En un lago, la deposición ácida crea una cascada de efectos que reducen las poblaciones de peces y pueden, incluso, llegar a eliminar especies de éstos que habitan un cuerpo de agua. Conforme la lluvia ácida se escurre por el suelo de una cuenca hídrica, metales como el aluminio se descargan en los lagos y las corrientes de esa cuenca. Tanto el bajo pH como los niveles más altos de aluminio resultan directamente tóxicos para los peces. Además, provocan presiones crónicas que, aunque no maten un pez en lo individual, conducen de hecho a la disminución del peso y el empequeñecimiento de las dimensiones del cuerpo, y hacen que los peces sean menos capaces de competir por los alimentos y los hábitats. La acidificación de lagos y arroyos puede también incrementar la cantidad de metil mercurio en los sistemas acuáticos. En ciertos lagos de Canadá y Estados Unidos con un bajo pH se han detectado en los colimbo grandes —aves marinas similares al pato— niveles elevados de mercurio en sangre.

En los suelos boscosos, el exceso de deposición ácida incrementa la susceptibilidad de los bosques frente a presiones por plagas, agentes patógenos y cambios climáticos, lo que se traduce en menor salud forestal, menor rendimiento de la madera y modificaciones en la composición de las especies forestales. La lluvia ácida debilita los árboles al dañarles las hojas, limitar los nutrientes de que disponen o exponerlos a sustancias tóxicas liberadas lentamente por el suelo. Muy a menudo, estos efectos de la lluvia ácida, en combinación con alguna(s) otra(s) amenaza(s), terminan por lesionar o matar a los árboles.

Por último, los contaminantes que causan la lluvia ácida son dañinos para la salud humana. En el aire se juntan con otras sustancias químicas para producir esmog, que puede irritar los pulmones y dificultar la respiración, sobre todo en quienes padecen asma, bronquitis u otros males respiratorios. Las partículas suspendidas finas que contienen sulfatos derivados del  $\text{SO}_2$  se consideran particularmente dañinas para los pulmones.

### ¿Por qué es importante este asunto para América del Norte?

Los efectos de la deposición ácida en toda América del Norte se pueden abordar sólo mediante la cooperación de las jurisdicciones vecinas que contribuyen a las emisiones acidificantes. La problemática de la lluvia ácida llamó por primera vez la atención del público a finales del decenio de 1970 y principios de los ochenta, cuando se conocieron sus devastadores efectos en los ecosistemas de la región oriental de América del Norte. En 1980 Canadá y Estados Unidos comenzaron a colaborar para atender este asunto transfronterizo. Ambas naciones firmaron en 1991 el Acuerdo Canadá-Estados Unidos sobre Calidad del Aire para fomentar el conocimiento científico y promover la reducción de la contaminación en los dos países.

#### Esfuerzos para reducir las emisiones

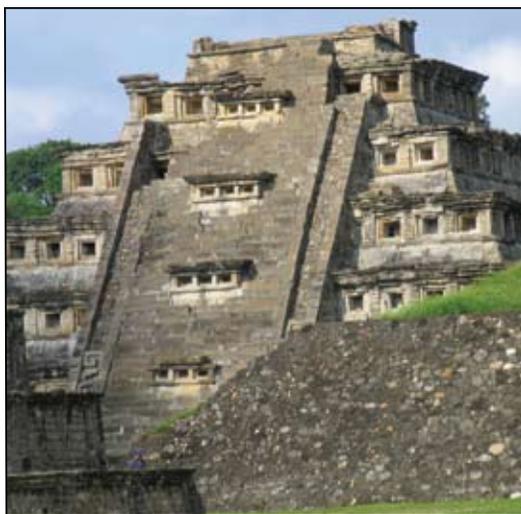
Canadá y Estados Unidos dieron prioridad a las emisiones de  $\text{SO}_2$  por considerarlas más importantes para aminorar los daños en los ecosistemas vulnerables. Desde 1990 las emisiones atmosféricas de  $\text{SO}_2$  en América del Norte han disminuido casi un tercio (véase la gráfica). En la actualidad la generación de energía eléctrica da cuenta de las mayores emisiones de  $\text{SO}_2$  en Estados Unidos, en tanto que en Canadá el sector con mayores emisiones es el de fundición de metálica básica.

En el mismo periodo, las emisiones atmosféricas de  $\text{NO}_x$  se redujeron en apenas poco más de una quinta parte (véase la gráfica). Las fuentes móviles —sobre todo autos y camiones— son las fuentes más significativas de óxidos de nitrógeno en América del Norte; el resto proviene de las centrales eléctricas y otras fuentes.

#### Resultados

Como respuesta a las reducciones de las emisiones de  $\text{SO}_x$  y  $\text{NO}_x$ , los niveles de deposición de sulfato en el oriente de Estados Unidos y Canadá disminuyeron considerablemente durante 1990-2004,

### Estudio de caso – Acidificación de El Tajín, México



Pirámide de los Nichos, El Tajín, Veracruz, México. Foto: Luiz Castro.

Ubicado en el actual municipio de Papantla de Olarte en Veracruz, El Tajín fue una de las ciudades más importantes de la zona del golfo mesoamericano. Su sitio arqueológico alberga construcciones que se remontan al año 100 d.C. De 600 a 1150 d.C. la ciudad alcanzó su mayor esplendor y máxima extensión.

Humberto Bravo Álvarez y un equipo de la sección sobre contaminación ambiental del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México estudian los efectos de la lluvia ácida en los sitios arqueológicos e históricos de El Tajín. Del 18 de agosto de 2002 al 9 de abril

de 2003 recolectaron 40 muestras de lluvia en ese lugar y aplicaron análisis de trayectoria atmosférica a cada muestra de precipitación con objeto de determinar las rutas de transporte aéreo correspondientes a las precipitaciones. Los modelos de trayectoria sirven para identificar las regiones viento arriba (a barlovento) con probabilidades de contribuir a la concentración de contaminantes en los receptores a sotavento.

Los análisis indican que 85 por ciento de los eventos de precipitación para los que se tomaron muestras en El Tajín correspondieron a lluvia ácida ( $\text{pH} < 5.62$ ). El análisis de la trayectoria inversa de estos fenómenos de acidez registró una gran variación, lo que indica que no hubo preferencia direccional aparente para el transporte durante tales eventos y sugiere la importancia de las fuentes locales. La zona arqueológica de El Tajín está rodeada de posibles fuentes de precursores de lluvia ácida en la forma de industrias que queman petróleo con un elevado contenido de azufre (como centrales eléctricas y refinerías). Así, tanto estas fuentes como las más distantes podrían ser importantes contribuyentes de la acidez de la lluvia en El Tajín.

aunque los cambios en los niveles de deposición de nitratos han sido menos marcados (véanse los mapas).

#### Áreas afectadas

Muchos de los sistemas marinos y terrestres del oriente de América del Norte son incapaces de neutralizar la acidez de modo natural, por lo que son particularmente vulnerables a la deposición ácida. A fin de comprender la capacidad de los ecosistemas para absorber la deposición ácida, los científicos desarrollaron el concepto de “carga o concentración crítica”; es decir, el cálculo de la cantidad de deposición ácida que determinado ecosistema puede recibir sin que se registren efectos dañinos. La carga crítica depende del contenido de sustancias base neutralizantes de ácido, como las sales de calcio y magnesio, en el agua de una región y en las rocas y suelos circundantes.

Pese a los avances en la reducción de las emisiones acidificantes, algunos ecosistemas se recuperan con mayor lentitud que la prevista. En Estados Unidos todavía se encuentran aguas de superficie ácidas en el norte de la región central, las montañas Adirondack y al norte de las Apalaches. En Canadá, las zonas que reciben deposiciones ácidas más elevadas que sus concentraciones críticas se encuentran en provincias que son parte del Escudo Precámbrico canadiense. En Ontario, Quebec, Nueva Brunswick y Nueva Escocia las zonas de roca fuerte (granito) son más vulnerables toda vez que carecen de capacidad natural para neutralizar o amortiguar con eficacia la lluvia ácida. En términos históricos, niveles de industrialización más bajos, combinados con factores naturales como el movimiento hacia el este de los patrones climáticos y suelos con una mayor capacidad natural de amortiguamiento, han

logrado proteger los ecosistemas de las praderas occidentales de Canadá y Estados Unidos de los efectos de la lluvia ácida.

Aunque no se dispone de mapas similares para México, los efectos de la deposición húmeda son evidentes en los parques nacionales cercanos a la Ciudad de México, donde la lluvia ácida ha dañado bosques y suelos, y también en monumentos y edificaciones históricos de la propia Ciudad de México y otras localidades (véase el estudio de caso).

### ¿Cuáles son sus vínculos con otras cuestiones ambientales de América del Norte?

Las preocupaciones iniciales de los científicos en torno de los efectos de la deposición ácida en los bosques y el material de las edificaciones se han ampliado hoy en día para incluir los efectos de la contaminación acidificante en la biodiversidad y los ecosistemas costeros delicados.

#### Biodiversidad

Las diversas especies que habitan lagos, ríos y humedales difieren en sus habilidades para tolerar la acidez. La acidificación reduce sobre todo la variedad de la vida que puebla un lago y altera el equilibrio entre las poblaciones sobrevivientes. Los cambios en la combinación de especies que habitan cuerpos de agua también afectan a las aves y otras especies en niveles superiores de la cadena alimentaria, ya que ciertas clases de recursos alimenticios se tornan más escasos y otros más abundantes. Los científicos no pueden decir si las especies que han desaparecido de un lago acidificado retornarán algún día, aun si el pH regresara a sus niveles normales.

#### Ecosistemas costeros

Vinculado con la deposición ácida está el efecto de la deposición de nitrógeno en los ecosistemas de la costa, donde a menudo el nitrógeno se vuelve un factor limitante. Niveles más altos de nitrógeno en las aguas costeras pueden causar cambios significativos en esos ecosistemas. Alrededor de 60 por ciento de los estuarios de Estados Unidos sufre de abundancia anormalmente alta de nitrógeno, condición conocida como *eutrofización*. Entre los síntomas de la eutrofización se incluyen cambios en las especies dominantes de plancton (el recurso alimenticio básico para muchas clases de vida marina), lo cual puede causar una explosión de algas, niveles bajos de oxígeno en la columna de agua, muertes de peces y mariscos, y una cascada de alteraciones en la población en la parte alta de la cadena alimentaria. A su vez, los grados más altos de turbiedad en el agua resultantes de la mayor abundancia de algas pueden matar la vegetación acuática sumergida, que constituye un hábitat importante para muchas especies estuarinas de peces y mariscos. Aunque buena

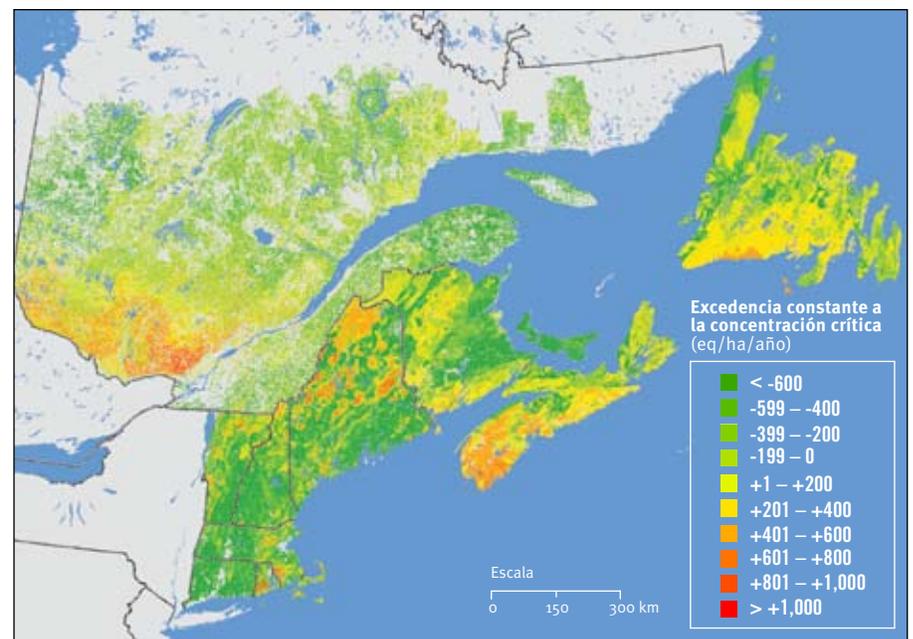
### Estudio de caso – Vulnerabilidad de los bosques a la deposición de azufre y nitrógeno

Aunque las emisiones de azufre en Canadá y Estados Unidos han disminuido en virtud de los programas de control puestos en marcha, la emisión continua de compuestos de azufre y nitrógeno acidificantes representa una grave amenaza de largo plazo para la salud y la productividad de partes de los bosques del noreste de América del Norte. A esta conclusión se llegó mediante un estudio en el noreste estadounidense y el sureste de Canadá realizado por el Grupo de Cartografía Forestal de la Conferencia de Gobernadores de Nueva Inglaterra y Primeros Ministros del Este de Canadá (*Conference of New England Governors and Eastern Canadian Premiers Forest Mapping Group*).

Según el Grupo de Cartografía Forestal, de 1999 a 2003 la deposición atmosférica de azufre y nitrógeno excedió las concentraciones críticas en más de la tercera parte del área de estudio. En las provincias orientales de Canadá, las áreas forestales más vulnerables se ubican en el sur de Quebec, en particular en la parte baja de las Laurentianas, al norte del río San Lorenzo; en el sureste de Nueva Escocia, y al sur de Terranova. En Nueva Inglaterra las áreas forestales más vulnerables están en la zona montañosa y las áreas costeras, donde los suelos son pobres y la tasa de humedad es más baja con mayor demanda de nutrientes debido a la explotación más intensiva.

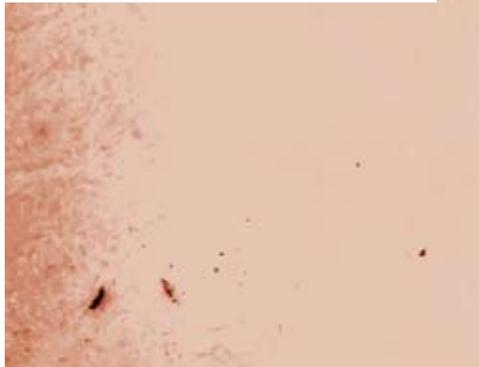
Con base en el monitoreo de bosques en Quebec y los efectos conocidos de la deposición ácida, este Grupo concluyó que las altas excedencias a la concentración crítica provocan —directa o indirectamente— un menor crecimiento de los bosques, así como el deterioro de la salud forestal.

### Áreas forestales vulnerables a la deposición ácida en los estados de Nueva Inglaterra y provincias orientales de Canadá



Fuente: Grupo de Cartografía Forestal de la Conferencia de Gobernadores de Nueva Inglaterra y Primeros Ministros del Este de Canadá (*Conference of New England Governors and Eastern Canadian Premiers Forest Mapping Group*).

parte de los numerosos estuarios eutrofizados se ubica a lo largo del golfo de México y las costas del Atlántico medio, justo en las zonas con más alta deposición de nitrógeno, en realidad los estuarios eutróficos pueden encontrarse en todas las regiones de la línea costera de los Estados Unidos contiguos o limítrofes.



## Residuos y contaminación industriales

### Principales consideraciones

- Los residuos y la contaminación industriales comprenden una amplia gama de materiales generados por las actividades industriales y que no son deseados por los fabricantes. En ocasiones representan una oportunidad no realizada para mejorar la eficiencia productiva y reducir los costos de deposición.
- Ciertos componentes de los residuos y la contaminación industriales son peligrosos para la salud humana y el medio ambiente, y por ende, motivo de preocupación, sobre todo por sus efectos en las poblaciones humanas vulnerables —como los niños—, las implicaciones de las exposiciones de bajo nivel a múltiples contaminantes y la contaminación de los ecosistemas.
- Cada año la actividad industrial en América del Norte genera cantidades significativas de sustancias químicas tóxicas, contaminantes atmosféricos, residuos peligrosos y no peligrosos y material radiactivo que deben manejarse para proteger la salud humana y el medio ambiente.
- Son alentadoras algunas tendencias en el manejo de residuos, en particular la adopción de métodos de prevención de la contaminación por parte de las industrias, así como una disminución sostenida de las emisiones de carcinógenos y otras sustancias tóxicas de preocupación, aun cuando los avances no han sido uniformes.

Los *residuos y la contaminación industriales* constituyen el conjunto de sustancias no deseadas que se generan en las actividades correspondientes, incluidas las emisiones al aire o aguas de superficie y las sustancias descargadas en plantas de tratamiento, depositadas en rellenos sanitarios, emitidas o aplicadas en los suelos, tratadas, inyectadas en el subsuelo, controladas en sitios de almacenamiento, recicladas o quemadas para recuperación de energía.

### ¿Cuál es la problemática ambiental?

La producción industrial aporta bienes, servicios y empleos a la economía, pero es también una fuente importante de contaminación y residuos, los cuales se pueden clasificar en seis categorías: sustancias químicas tóxicas, contaminantes atmosféricos de criterio, gases de efecto invernadero, desechos peligrosos, desechos no peligrosos y residuos radiactivos.

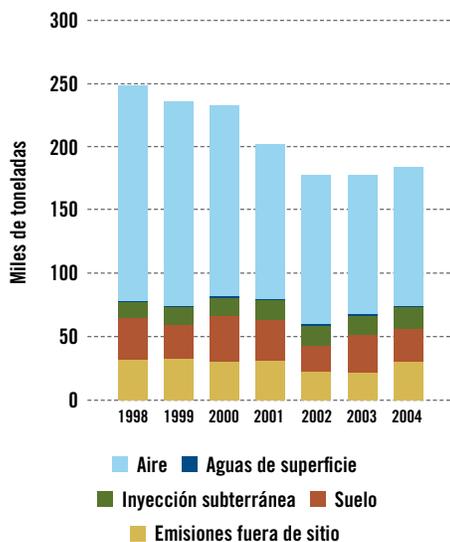
#### Sustancias químicas tóxicas

Estas sustancias son dañinas para la salud humana y el medio ambiente. En 2004 las instalaciones

industriales de América del Norte generaron más de cinco millones de toneladas de sustancias químicas tóxicas en calidad de residuos y contaminantes relacionados con la producción (véase el recuadro). A pesar de la gran magnitud de esta cantidad, los datos de sustancias e industrias comparables en Canadá y Estados Unidos muestran tendencias alentadoras. En el periodo 1998-2004, las emisiones totales de carcinógenos y sustancias que alteran el desarrollo o la reproducción declinaron 26 por ciento en Canadá y Estados Unidos (véase la ilustración), en comparación con una reducción de 15 por ciento que tuvo el total de las sustancias químicas registradas. No se dispone de



## Emisiones de carcinógenos y sustancias tóxicas que alteran el desarrollo o la reproducción (datos de Canadá y Estados Unidos)



Fuente: Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA), *En balance 2004*.

datos mexicanos para este periodo. Aunque las emisiones de estas sustancias a la mayoría de los medios han disminuido con el tiempo, la inyección subterránea ha crecido. Este método de disposición, en que los fluidos se depositan en el subsuelo, se ha incrementado en alrededor de 40 por ciento a partir de 1998 para las sustancias cancerígenas y las que alteran el desarrollo y la reproducción. Además, si bien las plantas con los mayores volúmenes han logrado avances en la reducción de las emisiones y transferencias de sustancias tóxicas, el conjunto más numeroso de plantas que registran cantidades menores de contaminantes muestra una tendencia en la dirección contraria.

### Contaminantes atmosféricos de criterio

Estas sustancias, que incluyen óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ), monóxido de carbono (CO), partículas suspendidas (PM) y compuestos orgánicos volátiles (COV), están asociadas con efectos ambientales como el smog, la lluvia ácida y la neblina regional, además de efectos en la salud, sobre todo padecimientos respiratorios. Tales contaminantes provienen de diversas fuentes, entre ellas la quema residencial de combustible, los vehículos de motor y las actividades agrícolas. Las fuentes industriales —como las centrales eléctricas, la fundición de metálica básica y los hornos cementeros— son también contribuyentes importantes. Aunque

las emisiones de contaminantes atmosféricos de criterio presentan tendencia a la baja, las disminuciones de fuentes como los vehículos automotores se ven parcialmente neutralizadas por los aumentos de ciertos subsectores industriales, atribuibles a la expansión de la producción.

### Gases de efecto invernadero

Estos gases, que incluyen dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano y óxido nitroso, están estrechamente vinculados con el cambio climático global. El uso de electricidad en la industria es una de las principales fuentes de emisiones de  $\text{CO}_2$  en América del Norte, casi en igualdad con las emisiones de gas de los sectores agrícola, comercial y residencial combinados. Aunque las emisiones de  $\text{CO}_2$  por el uso de electricidad en la industria disminuyeron más de 30 por ciento entre 1980 y 2005, las correspondientes al sector transporte aumentaron casi 50 por ciento, en tanto que las de la generación de electricidad y las refinerías se incrementaron casi 60 por ciento en igual periodo. Las emisiones totales de gases de efecto invernadero en América del Norte sumaron más de 8,500 millones de toneladas de equivalentes de  $\text{CO}_2$  en 2005.

### Residuos peligrosos

Se trata de flujos de residuos industriales peligrosos que pueden contener más de un producto químico o sustancia. Se distinguen en general por características como inflamabili-

dad, reactividad, corrosividad y toxicidad. No se dispone de datos comparables para América del Norte sobre la generación y el manejo de residuos peligrosos, lo que hace difícil vislumbrar tendencias. Aunque en Estados Unidos se publica un informe bienal sobre éstos, no hay datos nacionales de Canadá (excepto sobre embarques transfronterizos) y en México están en etapa inicial de desarrollo.

Las cantidades de residuos peligrosos que se generan son importantes: en Estados Unidos se crearon casi 34.8 millones de toneladas de estos residuos en 2005, sobre todo como desechos líquidos; cálculos gubernamentales ubican la generación anual de Canadá en alrededor de seis millones de toneladas, y los datos de más de 35,000 plantas de México permiten calcular un total anual de 6.17 millones de toneladas en 2004. Se desconoce el monto total de generación de residuos peligrosos en México, pero con frecuencia se menciona una cifra de ocho millones de toneladas.

### Residuos no peligrosos

Los residuos industriales no peligrosos incluyen ceniza de carbón, arenas de fundición y polvo de hornos cementeros, así como desechos de minas y minerales, de producción de gas y petróleo y de otras clases que no tienen las características de ser peligrosos. Aunque estos residuos no están clasificados como peligrosos, su manejo no está

## Registros de emisiones y transferencias de contaminantes en América del Norte

Los tres países de América del Norte llevan cuenta de ciertos contaminantes industriales empleando para ello registros de emisiones y transferencias de contaminantes (RETC). Los sistemas RETC recopilan los datos anuales presentados por las plantas sobre las emisiones de sustancias específicas al aire, el agua y el suelo, así como las disposiciones y las transferencias fuera de sitio para tratamiento o reciclaje. En 2004 se presentaron registros sobre más de cinco millones de toneladas de emisiones y transferencias.

El **Inventario Nacional de Emisiones de Contaminantes** (*National Pollutant Release Inventory*, NPRI) de Canadá, establecido en 1992 por recomendación de sectores interesados de la industria y organizaciones ambientales, da seguimiento a más de 300 sustancias químicas, además de datos sobre contaminantes atmosféricos de criterio y gases de efecto invernadero.

El **Inventario de Emisiones Tóxicas de Estados Unidos** (*US Toxics Release Inventory*, TRI) comenzó operaciones en 1987 y lleva registro de más de 600 sustancias químicas emitidas por las plantas en territorio estadounidense.

El **Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes de México** (*RETC*), que recientemente se volvió obligatorio, cubre un centenar de sustancias químicas como parte de la Cédula de Operación Anual, que se usa también para recopilar datos sobre la generación de residuos peligrosos, el uso de energía y otros indicadores de manejo ambiental.

Fortalecer la comparabilidad de los RETC es una prioridad compartida de los tres países. En junio de 2002 el Consejo de la CCA firmó la Resolución de Consejo O2-05: *Plan de acción para fomentar la comparabilidad de los Registros de Emisiones y Transferencias de Contaminantes de América del Norte*.

libre de riesgo y suelen tener requerimientos jurídicos generales para su tratamiento y disposición adecuados. En Canadá la disposición de residuos de fuentes no residenciales (industriales, comerciales e institucionales) se incrementó de 14.6 a 15.5 millones de toneladas de 2002 a 2004. En Estados Unidos y México se carece de cálculos globales de residuos industriales no peligrosos, aunque puede haber estimaciones de varias fuentes en lo individual.

#### Residuos radiactivos

Son subproductos de ciertas actividades industriales, en particular la generación de electricidad. En 2005 la generación eléctrica nuclear produjo 1,697 toneladas de combustible usado (expresadas como volúmenes de metal pesado) en Canadá, 21 toneladas en México y 2,396 toneladas en Estados Unidos.

#### ¿Por qué es importante este asunto para América del Norte?

Los residuos y la contaminación industriales representan amenazas potenciales para la salud humana y del medio ambiente si no se les maneja correctamente. Las preocupaciones van de los efectos tóxicos en los fetos y los niños hasta las implicaciones para la salud derivadas de las exposiciones de nivel bajo a contaminantes múltiples y la degradación de hábitats y ecosistemas. Estas preocupaciones no se detienen en las fronteras, ya que algunos contaminantes pueden transportarse grandes distancias y los residuos se embarcan para reciclaje y disposición en sitio a través de las fronteras políticas.

#### Salud y medio ambiente

Los residuos y la contaminación registrados en los RETC y normados mediante leyes ambientales en América del Norte son aquellos que los gobiernos nacionales han determinado que plantean un riesgo para la salud humana o el medio ambiente. Los efectos de ciertas sustancias químicas tóxicas en la salud y el desarrollo de los niños y otros grupos vulnerables son de especial preocupación. Los investigadores describen las “ventanas de vulnerabilidad” durante el desarrollo fetal y de la primera infancia, cuando la exposición a sustancias tóxicas puede tener efectos particularmente devastadores. Aunque el enfoque tradicional se ha centrado en los efectos evidentes en la salud —por ejemplo, el cáncer—, los científicos manifiestan preocupación creciente respecto de las consecuencias más sutiles de la exposición de bajo nivel a sustancias tóxicas,

como la alteración de las funciones endocrinas y neurológicas.

#### Transporte a grandes distancias

Los residuos y la contaminación industriales son importantes en el ámbito de América del Norte debido a que los contaminantes viajan en el aire y el agua para cruzar las fronteras nacionales y porque los residuos también se embarcan a través de las fronteras para su reciclaje, tratamiento



y disposición. La deposición de los contaminantes persistentes en el norte lejano, en sitios muy distantes de las fuentes industriales, atestigua la capacidad de los contaminantes para viajar grandes distancias desde su origen. La contaminación y los residuos industriales descargados en ríos y cuerpos de agua que cubren fronteras políticas, como los Grandes Lagos y el Río Nuevo —que corre de Baja California a California—, son también una preocupación compartida, en particular por lo que se refiere a los efectos de las sustancias tóxicas bioacumulables.

#### Manejo de residuos

Las decisiones sobre cómo manejar los residuos tienen implicaciones ambientales. La incineración municipal de desechos, la quema de residuos médicos, el uso de residuos peligrosos como combustible en hornos cementeros y la quema doméstica de basura figuraron entre las principales fuentes de dioxinas según los inventarios de Canadá y Estados Unidos. Las dioxinas, al igual que otras sustancias tóxicas persistentes y bioacumulables, pueden dispersarse grandes distancias por las corrientes de aire y otras rutas ambientales y tienden a depositarse en las regiones más frías.

Los requisitos reglamentarios que rigen el manejo de los residuos peligrosos pueden influir en las decisiones de manejo adoptadas por los establecimientos industriales; pueden,

por ejemplo, inhibir el reciclaje en sitio por preocupaciones sobre mayores costos de cumplimiento. Asimismo, las diferencias jurisdiccionales en los requisitos reglamentarios, aunadas a las diferencias en los precios del manejo de residuos, pueden también influir en las decisiones al respecto. Al margen de las diferencias, lo cierto es que cada año las compañías de América del Norte embarcan cientos de miles de toneladas de residuos peligrosos entre Canadá, Estados

Unidos y México. Cuando los residuos se envían a otras jurisdicciones para reciclaje, tratamiento o disposición, los embarques se transportan por carretera y ferrocarril, y atraviesan zonas pobladas antes de llegar a su destino final.

#### Costos económicos

Aparte de sus potenciales efectos en los seres humanos y el medio ambiente, los residuos representan ineficiencias en la producción industrial. Los residuos entrañan costos para las plantas; éstas deben pagar por su manejo, el cumplimiento de las normas y la subutilización de las materias primas. Desde una perspectiva social los costos económicos incluyen el pago por el saneamiento de sitios contaminados, la reglamentación de las industrias generadoras de desechos y el aseguramiento de tratamiento médico para atender los efectos adversos producidos por la exposición ambiental. Los costos no monetarios incluyen el agotamiento de recursos no renovables, el uso consuntivo del suelo y la degradación de los ecosistemas.

Tanto empresas como jurisdicciones hacen esfuerzos crecientes por desacoplar la generación de residuos de la productividad económica. Los datos de los RETC muestran que las plantas que emprenden actividades para prevenir la contaminación están en condiciones de reducir la cantidad de residuos con mayor rapidez que las que no lo hacen (véase la grá-



fica). Según los registros, más de las tres cuartas partes de los residuos se generan en plantas que aún no informan sobre actividades de prevención. Para reducir la cantidad de residuos no hace falta reducir la actividad económica. California tiene la mayor economía de América del Norte, pero ocupa el trigésimo lugar de los estados y provincias en materia de emisiones totales de sustancias químicas.

### ¿Cuáles son sus vínculos con otras cuestiones ambientales de América del Norte?

La planeación del uso del suelo y el cambio climático son sólo dos de los importantes asuntos ambientales vinculados con los residuos y la contaminación industriales.

#### Aprovechamiento del suelo

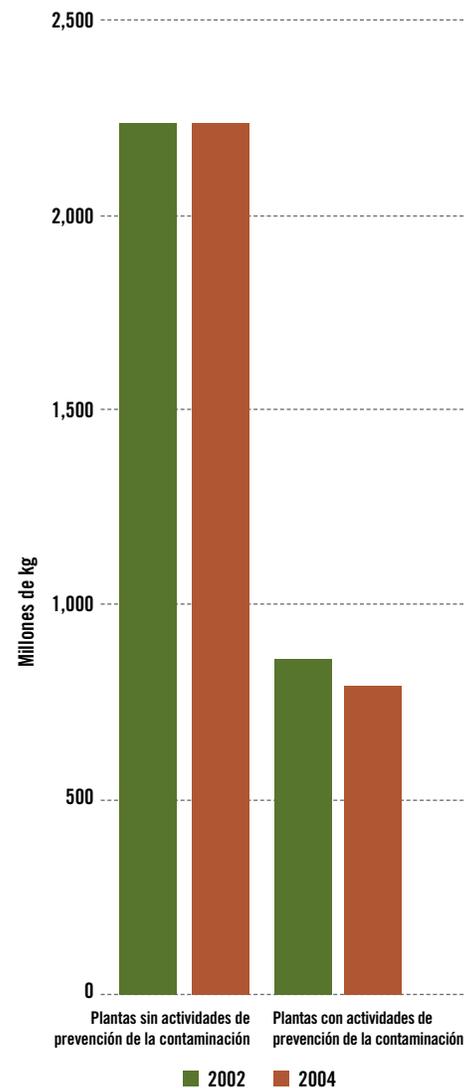
Los residuos implican problemas respecto de la planeación del uso local del suelo, desde el establecimiento de nuevas instalaciones de tratamiento, almacenamiento y disposición, hasta cuestiones sobre cómo manejar los terrenos contaminados. En Estados Unidos, a 2008, figuraban 1,581 sitios en la Lista Nacional de Prioridades del programa del Superfondo (incluidos los clasificados como “eliminados” luego de un proceso de restauración), y se preveía la necesidad de aplicar medidas de saneamiento a 3,746 establecimientos más en conformidad con la Ley de Conservación y Recuperación de los Recursos (*Resource Conservation and Recovery Act, RCRA*). Otro gran número de sitios está bajo jurisdicción local o estatal, de modo que no se

conoce la dimensión plena del terreno contaminado. En Canadá alrededor de la cuarta parte de los 17,866 sitios contaminados bajo responsabilidad federal se localiza en reservas indígenas, lo que pone una carga adicional en poblaciones de suyo vulnerables a las amenazas ambientales debido a factores socioeconómicos o geográficos. En México, el gobierno federal ha identificado 300 sitios contaminados que cubren 200 mil hectáreas. La ubicación de las industrias contaminantes, rellenos sanitarios y otros sitios de manejo de residuos plantea también cuestiones de justicia ambiental.

#### Agotamiento de los recursos naturales

El uso ineficiente de materiales y energía afecta el aprovechamiento de los recursos naturales. Al mismo tiempo, el agotamiento de los recursos se aminora gracias al empleo de insumos renovables y en función del grado de reciclaje llevado a cabo en y entre los sectores industriales. El reciclaje y la recuperación de energía de los residuos industriales permiten que los desechos de un proceso se conviertan en insumos o fuentes de energía de otro. En 2004, las plantas que presentan informes en los RETC enviaron para reciclaje más de un millón de toneladas de materiales —metales en su mayoría—, y casi 300 mil toneladas se enviaron para recuperación de energía. Con todo, el reciclaje y la recuperación de energía pueden también presentar inconvenientes: las actividades mismas de reciclaje llegan a ser fuente de contaminación ambiental, y las emisiones atmosféricas y los residuos derivados de la recuperación de energía constituyen un motivo de preocupación.

**Total de emisiones y transferencias de sustancias registradas en los RETC de plantas con y sin actividades de prevención de la contaminación (datos de Canadá y Estados Unidos)**



Fuente: Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA), *En balance 2004*.

#### Cambio climático

Los residuos y la contaminación industriales contribuyen asimismo al cambio climático. La descomposición anaeróbica de los residuos en los rellenos sanitarios produce metano —potente gas con efecto invernadero—, y la incineración de residuos emite dióxido de carbono. El transporte de los residuos a las instalaciones de reciclaje, tratamiento y disposición genera emisiones de carbono relacionadas con el transporte. Por último, los materiales desechados como residuos deben sustituirse por más materias primas, lo que implica mayor consumo de combustibles fósiles y emisiones adicionales de carbono. 🦋

## Sustancias tóxicas persistentes y bioacumulables

### Principales consideraciones

- Las sustancias tóxicas persistentes y bioacumulables (STPB) son sustancias químicas que se descomponen lentamente en el medio ambiente, se acumulan en los seres humanos y otras especies y son tóxicas. Aunque sólo un número reducido de STPB recibe actualmente atención, es posible que se identifiquen más mediante las actividades de investigación en curso.
- Las STPB pueden emitirse de modo intencional (el caso de los plaguicidas) o sin que medie intención (por ejemplo, en la combustión o como subproductos industriales). Algunas de estas sustancias se dispersan en todo el mundo mediante las corrientes de aire y otras rutas ambientales, lo que genera contaminación incluso en zonas lejanas de sus puntos de origen.
- No se dispone de datos completos de biomonitoreo para toda América del Norte, pero algunos estudios locales y nacionales han medido los niveles de STPB en los seres humanos y en distintas especies de vida silvestre. Las implicaciones de estos hallazgos se están investigando en los tres países.
- Los niveles de algunas STPB se han reducido mediante la eliminación o reducción de las emisiones y la adopción de alternativas, pero los tiempos de recuperación son lentos debido a que estas sustancias no se descomponen en subproductos inofensivos con facilidad o rápidamente.

Las *sustancias tóxicas persistentes y bioacumulables* (STPB) son sustancias químicas que no se degradan con facilidad en el medio ambiente. Las STPB por lo general se acumulan en el tejido adiposo y se metabolizan con lentitud; de hecho, su concentración en los organismos aumenta conforme se avanza en la cadena alimentaria. Algunas de estas sustancias se han vinculado con efectos adversos para la salud humana y de los animales.

### ¿Cuál es la problemática ambiental?

Hay pruebas significativas de que las STPB perjudican en el largo plazo la salud humana y el medio ambiente. La evidencia ha generado una respuesta internacional al problema (véase el recuadro).

#### Las STPB y la salud humana

En América del Norte los humanos están expuestos a diversos contaminantes ambientales, entre ellos algunas STPB. Varios estudios han vinculado estas sustancias con diversos efectos perjudiciales en los seres humanos, como afecciones del sistema nervioso, trastornos reproductivos y del desarrollo, cáncer y problemas genéticos. Algunas de las STPB mimetizan las hormonas, con posibles alteraciones en las características sexuales y otras funciones hormonales.

#### Las STPB y la salud de animales y plantas

Al igual que los seres humanos, los animales y las plantas están expuestos a las STPB en el medio ambiente a través del aire, el agua y los alimentos. Cuanto más alto figuren en la cadena alimentaria, más factible resulta que los animales estén expuestos a niveles tóxicos de las STPB; tal es el caso de los mamíferos marinos, las aves de presa y algunas especies de peces. Las advertencias sobre consumo de pescado emitidas por las autoridades en torno de los Grandes Lagos y en otros lugares tienen por objeto proteger a las personas de los riesgos de consumir pescado contaminado. El mercurio, los bifenilos policlorados (BPC), el clordano, las dioxinas y el DDT —todos ellos STPB que por lo general contaminan a los peces— se acumulan en el tejido de los peces en concentraciones miles de veces más altas que las del agua. Asimismo, las STPB

#### Respuesta internacional a las STPB

Junto con otras 151 naciones, Canadá, Estados Unidos y México son signatarias del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (de mayo de 2001). Canadá y México ratificaron el Acuerdo, pero Estados Unidos no lo ha hecho.

El Convenio identificó doce STPB orgánicas para control, correspondientes a tres categorías:

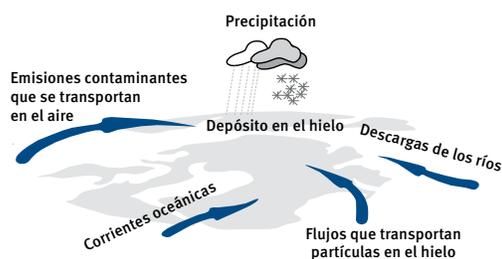
**Plaguicidas:** aldrín, clordano, DDT, dieldrín, endrín, heptacloro, hexaclorobenceno (HCB), mirex y toxafeno.

**Sustancias químicas industriales y subproductos no intencionales:** HCB y BPC.

**Subproductos no intencionales:** dioxinas y furanos.

Muchas de las doce sustancias químicas cubiertas por el Convenio de Estocolmo ya no se producen, pero persisten en el medio ambiente. Aunque sólo un número reducido de STPB recibe hoy día atención, es posible que se identifiquen más mediante actividades de detección continuas.

## Rutas de los contaminantes hacia el Ártico



Fuente: Programa de Monitoreo y Evaluación del Ártico (*Arctic Monitoring and Assessment Programme, AMAP*), 2002.

pueden permanecer en los sedimentos durante años, convirtiéndose en fuente de contaminación para especies que habitan el lecho marino y que posteriormente alimentan a otros depredadores (véase la ilustración de la bioacumulación y la biomagnificación).

La persistencia de estas sustancias en el medio ambiente es considerable. El clordano se prohibió en Estados Unidos en 1988, pero incluso en 2006 se publicaron 105 advertencias respecto del consumo de pescado debido a la presencia de este compuesto. De igual modo, el DDT quedó prohibido desde 1975, pero en 2006 se publicaron 84 advertencias sobre consumo de pescado relacionadas con esta sustancia en Estados Unidos.

### ¿Por qué es importante este asunto para América del Norte?

Las STPB se emiten al medio ambiente de manera intencional y no intencional. Una vez en el ambiente, algunas pueden dispersarse con rapidez a lo largo y ancho de regiones específicas y a través de las fronteras internacionales, tanto en América del Norte como en el resto del mundo. Estas sustancias son de particular preocupación para América del Norte debido a que se les puede encontrar en áreas de particular vulnerabilidad ambiental, como el Ártico (véase el diagrama de las rutas), los Grandes Lagos y el Golfo de México.

#### Fuentes de STPB

Todos los sectores industriales del mundo emplean sustancias químicas, pero ciertas actividades económicas son más proclives a emitir STPB. Estas emisiones pueden ser intencionales —como los plaguicidas, con impurezas de STPB— o no intencionales, como subproductos de la combustión (por ejemplo, dioxinas y furanos).

Otras STPB se siguen emitiendo como subproductos de actividades industriales. Las emisiones de mercurio provenientes de la generación de energía eléctrica en carbóelctricas, por ejemplo, han crecido desde el inicio de la

era industrial, a mediados del decenio de 1800. Las tasas de depósito de mercurio de la atmósfera han aumentado mundialmente de 200 a 400 por ciento desde la revolución industrial, con lo que en todo el mundo se ha incrementado el potencial de las repercusiones del mercurio en la salud humana y de los ecosistemas.

#### Transporte

Una de las mayores preocupaciones en torno de algunas de las STPB es la facilidad con que pueden moverse en el medio ambiente. Estas sustancias se abren camino a zonas remotas al transportarse grandes distancias en una serie de “saltos” que entrañan un complejo ciclo de transporte, depósito y revolatilización al que se denomina, en su conjunto, “efecto saltamontes”. A la larga, las STPB se acumulan en las regiones frías, como el Ártico, mediante un proceso denominado “destilación mundial” (véase el diagrama).

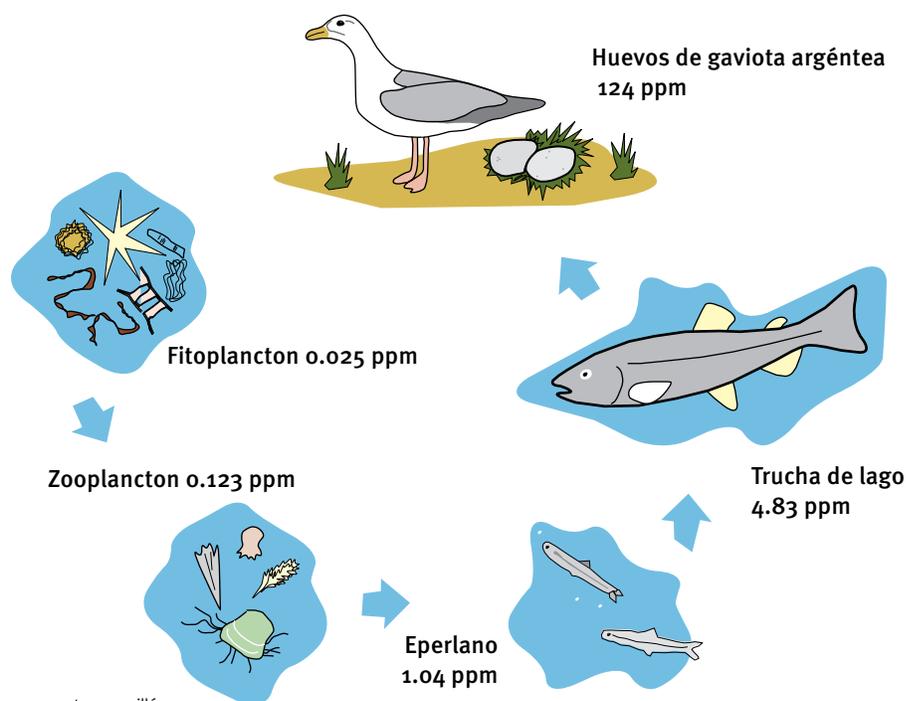
Como con frecuencia son relativamente volátiles, las STPB se pueden introducir en la atmósfera y ser transportadas por los vientos, en ocasiones a grandes distancias. A través de procesos atmosféricos, ya sea porque las moléculas son acarreadas en la precipitación o porque las partículas suspendidas se asientan, las STPB se depositan en los ecosistemas terrestres

o marinos, en donde se acumulan y pueden causar daño. A partir de estos ecosistemas pueden volver a evaporarse e ingresar otra vez en la atmósfera, viajando en última instancia de las zonas de temperaturas más cálidas a las regiones más frías. Cuando la temperatura baja, las STPB se condensan y salen de la atmósfera, muchas veces alcanzando concentraciones más altas en las regiones circumpolares y zonas de mayor altura debido a que ahí no hay la energía térmica suficiente para reiniciar el ciclo de evaporación. Mediante estos procesos algunas STPB pueden moverse miles de kilómetros desde sus fuentes de emisión hasta acumularse en latitudes polares. Además de las emisiones en la región, América del Norte se ve afectada también por la dispersión atmosférica de larga distancia de STPB provenientes de otras fuentes mundiales.

#### Biomonitoreo

Las poblaciones humanas expuestas a las STPB incluyen grupos de preocupación especial como los niños y los fetos en desarrollo. La población infantil es particularmente vulnerable a las sustancias tóxicas debido a su fisiología particular y a sus características de desarrollo y comportamiento. No se dispone de los datos de biomonitoreo necesarios para medir la presencia de las STPB en América del Norte en su conjunto, pero

### Cambios en la concentración de STPB conforme se asciende en la cadena alimentaria



ppm = partes por millón

Fuente: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (*Environmental Protection Agency, EPA*).

algunas conclusiones pueden derivarse a partir de estudios más específicos.

- En el Ártico canadiense, el Programa de Monitoreo y Evaluación del Ártico (*Arctic Monitoring and Assessment Programme, AMAP*) determinó que los altos niveles de exposición en algunas comunidades de la zona pueden tener una influencia negativa en la salud humana. Aunque no hay todavía evidencia directa de efectos adversos en el estado de salud poblacional (mortalidad y morbilidad), existen razones de preocupación y el peso de todas las pruebas disponibles apunta a la necesidad de continuar reduciendo la exposición humana.
- En Estados Unidos, entre 1999 y 2002 alrededor de seis por ciento de las mujeres en edad reproductiva tuvieron 5,800 partes por millón de mercurio en la sangre o más. Se sabe que las concentraciones del metal deben estar por debajo de 5,800 partes por millón para no causar un daño apreciable. Con base en estos estudios y el número de nacimientos anuales en dicho país, se calcula que más de 300 mil recién nacidos cada año pueden tener un mayor riesgo de problemas de aprendizaje asociados con la exposición *in utero* al metilmercurio.
- En México, se midieron los niveles de plaguicidas organoclorados —que también son STPB— en el aire ambiente de Chiapas durante 2000–2001. La concentración de algunos de estos plaguicidas (DDT, clordano, toxafeno) fue alta comparada con los niveles de la región de los Grandes Lagos. Este hallazgo sugiere que el sur de México podría ser una fuente regional de este grupo de sustancias químicas. Niveles comparablemente altos han sido también

registrados en partes del sur de Estados Unidos, donde las fuentes posibles son las emisiones de suelos con antecedentes de contaminación (DDT, toxafeno) y el uso pasado de termiticidas (clordano). Los trabajadores agrícolas pueden correr riesgos por exposición a estas STPB.

### ¿Cuáles son sus vínculos con otras cuestiones ambientales de América del Norte?

Las sustancias tóxicas persistentes y bioacumulables están vinculadas con la biodiversidad, el comercio internacional y el cambio climático.

#### Biodiversidad

El efecto de las STPB en la diversidad biológica de América del Norte fue evidente por primera vez cuando halcones peregrinos, águilas y otros depredadores mayores comenzaron a desaparecer en los años setenta por exposición al DDT en la cadena alimentaria. Aunque estas especies de alta visibilidad se han recuperado gracias a intervenciones directas y a la prohibición de algunas de las STPB, es probable que otras especies puedan seguir sufriendo los efectos derivados de la presencia de tales sustancias en los ecosistemas de la región.

#### Comercio

El comercio internacional puede introducir STPB en América del Norte a pesar de los rigurosos esfuerzos por prevenir las emisiones internas. Los bienes de consumo y los productos vendidos en América del Norte están crecientemente manufacturados, cultivados o manejados de otra manera en naciones cuyos requisitos respecto de las STPB pueden diferir de los de la región. Un ejemplo es la importación de alimentos que han sido tratados con plaguicidas como DDT, aldrín y clordano, todavía usados en los países productores.

### Efecto saltamontes y destilación mundial



Fuente: Ministerio de Medio Ambiente de Canadá (*Environment Canada*).

#### Cambio climático

En condiciones atmosféricas normales, el mercurio y algunas otras STPB emitidas por la quema de combustibles fósiles y otras actividades industriales son transportados hacia el norte, donde en algún momento se asientan en el suelo o en las aguas de superficie. Así, por ejemplo, la región de bosques boreales del norte de Canadá y Alaska es receptora final de años de emisiones pasadas. Debido a que el cambio climático afecta los bosque y humedales de esta región, el mercurio previamente depositado en suelos fríos y húmedos puede volverse a emitir por medio de incendios descontrolados. En respuesta a las condiciones de mayor sequía en las regiones del norte, el suelo puede liberar su contenido de cientos de años de acumulación de mercurio, volviéndolo a liberar en la atmósfera. Se prevé que el incremento proyectado de incendios forestales en la región boreal debido al cambio climático genere un aumento en las emisiones atmosféricas de mercurio, con el consecuente aumento en la exposición en las cadenas alimentarias del norte. 🦋

### Industrias y procesos asociados con las STPB

Manufactura	Procesos térmicos	Ciertos productos con contenido de STPB	Procesos de reciclaje
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Producción de sustancias químicas orgánicas cloradas</li> <li>■ Producción de pulpa y papel</li> <li>■ Refinación petrolera y regeneración catalítica</li> <li>■ Producción de cloro mediante electrodos de grafito</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Sinterización de minerales para altos hornos</li> <li>■ Proceso secundario de chatarrametálica</li> <li>■ Hornos de cemento</li> <li>■ Proceso de minerales: cal, cerámica, vidrio, ladrillos</li> <li>■ Incineradores de residuos: municipales, peligrosos, médicos y clínicos</li> <li>■ Combustión de carbón y petróleo</li> <li>■ Vehículos y motores estacionarios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Aplicación de plaguicidas y herbicidas</li> <li>■ Uso de conservadores para madera, cuero y telas</li> <li>■ Uso y aplicación de solventes</li> <li>■ Procesos industriales de blanqueado</li> <li>■ Teñido y acabado de telas, lana y pieles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Reciclaje de metales, plásticos y papel</li> <li>■ Aplicación en suelos, lodos y efluentes de aguas negras y residuales de la industria de papel</li> <li>■ Recuperación de solventes y aceites usados</li> <li>■ Madera tratada con pentaclorofenol</li> </ul>

Fuente: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

## Estudio de caso – Sustancias tóxicas en huevos de águila pescadora: indicador de contaminantes en las cuencas hídricas Fraser y Columbia

El águila pescadora, ave migratoria consumidora de pescado, está expuesta a los contaminantes que se acumulan en las cadenas alimentarias acuáticas y, por ello, son buenos indicadores de la salud del ecosistema acuático.

Un estudio de monitoreo de largo término de los niveles de sustancias químicas en águilas pescadoras migratorias ha proporcionado información respecto de las STPB acumuladas en estas aves y el origen de las mismas. Los resultados sugieren preguntas importantes respecto de la exposición y la bioacumulación en seres humanos.

El águila pescadora migra entre América Latina y las cuencas hídricas Fraser y Columbia en el noroeste del Pacífico de América del Norte. Las STPB encontradas en el águila pescadora incluyen productos industriales organoclorados (dioxinas, furanos y BPC), plaguicidas organoclorados (metabolitos de DDT, dieldrín, clordano y toxafeno) y mercurio. En particular, el DDT, los BPC y las dioxinas y furanos están asociadas históricamente con problemas de reproducción y disminución de la población del águila pescadora.

Los investigadores concluyeron que algunos de los contaminantes tóxicos en el águila pescadora se originaron en los sitios

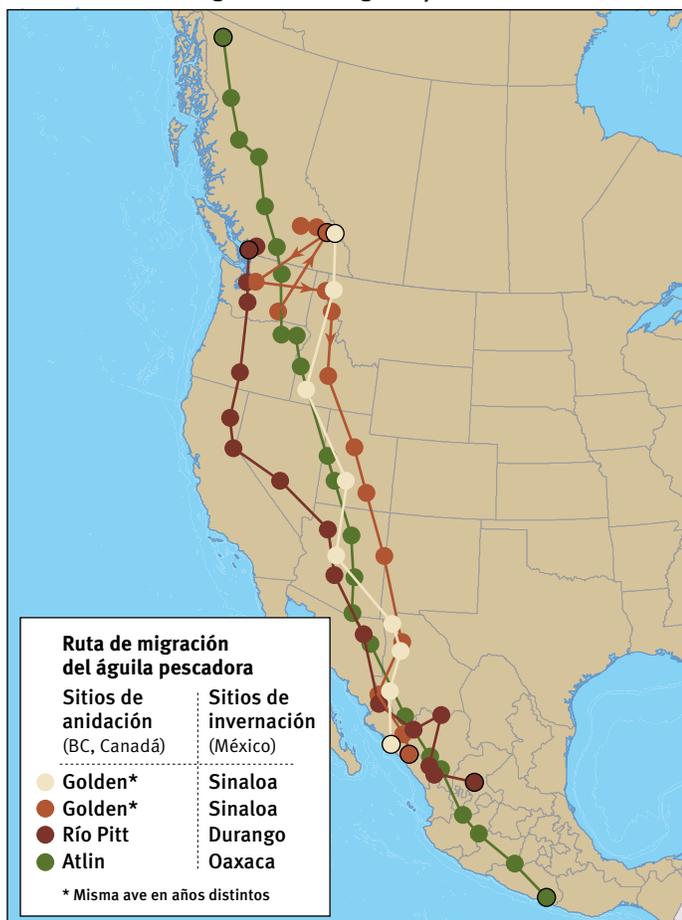
industriales que aún operan en las cuencas Fraser y Columbia y en lugares de industrias cerradas en donde sigue habiendo residuos. El resto de las sustancias se originaron en Asia y, quizás, en algunas fuentes de alimentos en los sitios de invernación del águila en América Latina.

El Servicio Canadiense de Vida Silvestre (*Canadian Wildlife Service*) ha recolectado, con apoyo de las respectivas dependencias mexicana y estadounidense, datos sobre las costumbres migratorias del águila pescadora. Se les dio seguimiento desde sus sitios de reproducción en la cuenca hídrica Fraser hasta áreas de agricultura intensiva en México y otros países de Centroamérica (véase el mapa).

De 1997 a 2004 la población del águila pescadora a lo largo de la parte baja del río Columbia aumentó de 94 a 225 nidos ocupados, una tasa anual de aumento de casi 14 por ciento. El crecimiento del índice de población se asoció con una tasa reproductiva mayor que en los años previos y concentraciones significativamente menores de la mayoría de plaguicidas organoclorados, BPC, dioxinas y furanos en los huevos. De hecho, los niveles observados de concentraciones en residuos de huevos en 2004 indicaron que en pocos de los nidos, si acaso algunos, la reproducción resultó adversamente afectada por la presencia de dichos plaguicidas. Ya en 1997-1998, el DDE —metabolito del DDT— estaba aún causando fallos en la reproducción en una parte de esta población. Sólo el mercurio mostró un incremento significativo en los huevos en dicho periodo, pero en 2004 las concentraciones se mantuvieron por debajo de las establecidas como peligrosas para las aves.

En la medida que el águila pescadora se alimenta de diversas especies de pesca deportiva, el monitoreo continuo de los niveles de contaminantes en esta especie funciona como alerta temprana respecto de sustancias tóxicas que pueden llegar a consumir los seres humanos.

### Telemetría por satélite de las rutas de migración del águila pescadora



Fuente: Adaptado de J. Elliott, D. P. Shaw y D. Muir, *Factors Influencing Domestic and International Sources of Chlorinated Hydrocarbons to Fish and Ospreys in British Columbia*, informe final (inédito) de la Iniciativa de Investigación sobre Sustancias Tóxicas (*Toxic Substance Research Initiative*), TSRI #224, Vancouver.



Águila pescadora.



## Calidad del agua

### Principales consideraciones

- Las características biológicas, químicas y físicas del agua afectan su capacidad para sustentar la vida y su idoneidad para consumo y uso humanos. Varios problemas de calidad del agua, incluidas la sedimentación, la eutrofización y la contaminación por bacterias y sustancias tóxicas, han persistido durante décadas.
- Los productos residuales de las actividades humanas —aguas residuales, escorrentías, emisiones industriales urbanas y contaminación atmosférica— afectan la calidad del agua. De igual modo, las modificaciones al paisaje pueden socavar los procesos naturales de purificación del vital líquido a través de humedales e infiltración a los mantos freáticos.
- Aunque en muchas partes de América del Norte la calidad del agua dulce es adecuada, un porcentaje importante de las aguas superficiales del subcontinente están degradadas. No es posible hacer una evaluación similar de la calidad de las aguas subterráneas, aunque se sabe que en ciertas zonas están degradadas por la presencia de nitratos, plaguicidas y salinidad.
- Las descargas convencionales de contaminantes de fuentes fijas industriales han disminuido en gran medida en los últimos 30 años en América del Norte; sin embargo, fuentes móviles y difusas de contaminantes como los escurrimientos agrícolas y de agua de lluvia y la deposición atmosférica contribuyen relativamente en mayor medida al deterioro de la calidad del agua.

La *calidad del agua* se refiere a las características físicas, químicas y biológicas de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Estas características afectan la capacidad del agua para sustentar tanto a las comunidades humanas como la vida vegetal y animal.

### ¿Cuál es la problemática ambiental?

La salud de los seres humanos, la vida silvestre y los ecosistemas dependen de los suministros adecuados de agua limpia. Sin embargo, a medida que las poblaciones crecen y se expanden hacia zonas antes no urbanizadas, los gobiernos enfrentan cada vez mayores dificultades para asegurar la calidad del agua. Las consecuencias de este crecimiento —un aumento de escorrentías, aguas residuales, infraestructura inadecuada, desmonte de tierras, fuentes fijas industriales, contaminación atmosférica— también plantean riesgos para la calidad del agua. Además, la urbanización puede perjudicar el automantenimiento de los recursos hídricos a través de humedales e infiltración del agua en el suelo, que son los procesos naturales mediante los cuales el agua se purifica. El dragado y la desecación de los humedales, así como la pavimentación impermeable, reducen estos procesos de purificación natural en ecosistemas terrestres y acuáticos.

Cada uno de los tres países de América del Norte cuenta con definiciones y procedimientos diferentes para medir la calidad del agua superficial, por lo que hacer una evaluación equiparable de la calidad del agua de toda América del Norte representa todo un reto. No obstante, con base en los registros nacionales, queda claro que el porcentaje total de agua dulce superficial en condiciones de deterioro es significativo.

El índice de calidad del agua de Canadá, basado en diversos parámetros como el nivel de nutrientes, evalúa la calidad del agua dulce superficial por su capacidad para proteger la vida acuática —peces, invertebrados y plantas—, mas no evalúa la calidad del agua para consumo o uso humano. De acuerdo con la información más reciente disponible, la calidad del agua dulce en el sur de Canadá ha obtenido

la calificación de “excelente” o “buena” en 44 por ciento de los sitios monitoreados, “regular” en 33 por ciento de los sitios y “mínima aceptable” o “mala” en 23 por ciento de los sitios. El fósforo, nutriente derivado sobre todo de las actividades humanas y uno de los principales factores del índice de calidad del agua, es de gran preocupación para la calidad del agua dulce superficial en este país. Los niveles de fósforo rebasaron los límites establecidos conforme a los lineamientos de calidad del agua para la vida acuática durante la mitad del tiempo en los sitios monitoreados.

En Estados Unidos, más de 40 por ciento (en función de su longitud) de las corrientes de agua vadeables menores monitoreadas en 2004-2005 mostró alteraciones sustanciales respecto de las comunidades de especies acuáticas pequeñas vulnerables, lo que indica una contaminación y una modificación del hábitat importantes. Los factores de deterioro más extendidos fueron el nitrógeno, el fósforo, los sedimentos en los cauces y la perturbación ribereña. En 2002, casi la mitad de la longitud de las corrientes y del área de los lagos evaluados y un tercio del área de las bahías y estuarios evaluados no estaban lo suficientemente limpias para usos humanos como pesca y nado. Las principales causas de deterioro eran niveles excesivos de nutrientes, metales (sobre todo mercurio), sedimentos y enriquecimiento orgánico derivados de actividades agrícolas, modificaciones hidrológicas, deposición atmosférica, así como descargas de fuentes industriales desconocidas o no especificadas.

México monitorea las aguas superficiales en lo que respecta a demanda de oxígeno bioquímico (DOB), coliformes fecales, nitrógeno, fósforo y otras sustancias. La DOB indica la cantidad de oxígeno consumido por microorganismos durante la descomposición de materia orgánica en el agua. A mayor DOB, más rápi-

damente se agota el oxígeno en la corriente de agua y mayor es la presión ambiental para las formas superiores de vida acuática. En 2006, 16 por ciento de los sitios monitoreados presentaban un promedio anual de DOB superior a 30 miligramos por litro, lo que representa una contaminación inaceptable de acuerdo con las normas mexicanas. Los coliformes fecales son bacterias alimentadas por residuos humanos o animales que sirven como indicadores de contaminación. En 2006, 58 por ciento de los sitios monitoreados en México registraron concentraciones anuales promedio superiores a los niveles aceptables para el agua potable. Y, como en el resto de América del Norte, los niveles de nitrógeno y fósforo en las aguas superficiales también son un problema para México: en la mayoría de los sitios monitoreados se detectaron niveles elevados de contaminantes con contenidos de ambas sustancias.

La contaminación y los contaminantes de las aguas superficiales también afectan los mantos acuíferos: contaminación de fuentes fijas (bacterias, sustancias orgánicas), contaminación de fuentes móviles como agricultura (nitratos y plaguicidas), contaminación industrial (metales pesados, compuestos orgánicos) y contaminantes presentes en la naturaleza, como el arsénico. El agotamiento de las aguas subterráneas puede provocar grietas, fisuras y fracturas por el hundimiento del suelo, lo que permite la introducción de contaminantes a acuíferos de mayor profundidad. La intrusión de agua salina en los mantos acuíferos costeros constituye un problema en las

regiones del golfo de México y el golfo de California, en México y Estados Unidos, ya que el agua salada desplaza el agua dulce de los mantos acuíferos. Ante la falta de estudios o fuentes de información integrales en materia de aguas subterráneas, se desconocen los patrones o tendencias regionales de la calidad de los acuíferos de América del Norte.

### ¿Por qué es importante este asunto para América del Norte?

El acceso al agua limpia es un factor fundamental para la vida humana y biológica de América del Norte. A medida que han sufrido la vulnerabilidad de los suministros de agua y han sido testigos de su naturaleza finita, los habitantes de la región han cobrado conciencia de que deben proteger y conservar este recurso esencial. Los factores de preocupación respecto a la calidad del agua en América del Norte en los últimos 30 años incluyen sedimentación, eutrofización, enfermedades infecciosas y sustancias tóxicas persistentes (mercurio y sustancias químicas orgánicas).

#### Sedimentación

La erosión del suelo y la sedimentación (deposición de suelos erosionados) en lagos, cursos de agua y zonas costeras representan un grave problema para la calidad del agua en toda América del Norte. Aunque la erosión, el transporte de sedimentos y la sedimentación son procesos naturales, la actividad humana puede exacerbar estos procesos en ciertas partes de la región, y

en algunos contextos locales puede incluso ser la causa primordial. Los sedimentos afectan la calidad del agua al reducir su claridad, depositarse en gruesas capas en los hábitats acuáticos y actuar como mecanismo de transporte para contaminantes como plaguicidas y fertilizantes. En Estados Unidos, la sedimentación se relaciona con más de 60 por ciento de los kilómetros de cursos de agua deteriorados. En Canadá, el ministerio de Medio Ambiente ha identificado la sedimentación como un problema de calidad del agua, mientras que en México la erosión del suelo entraña un serio problema ambiental. La erosión y la sedimentación son producto principalmente de las alteraciones antropogénicas del paisaje. Con el crecimiento demográfico y los cambios en el aprovechamiento del suelo, la sedimentación continuará siendo un problema.

#### Eutrofización y enriquecimiento excesivo con nutrientes

La eutrofización y las cargas elevadas de nutrientes afectan los sistemas tanto de agua dulce como costeros. La eutrofización se refiere al crecimiento excesivo de plantas (florescencias) en cuerpos de agua que reciben cargas excesivas de nutrientes. Las condiciones eutróficas pueden ocurrir de manera natural en los lagos a medida que envejecen y también en los estuarios, pero en muchas partes de América del Norte las actividades humanas han ocasionado niveles de nutrientes y eutrofización que rebasan con creces los niveles naturales. La eutrofización favorece el crecimiento de algas tóxicas, lo que en el

### Sitios en que las florescencias de algas en aguas costeras de América del Norte han ocasionado la muerte de animales y plantas, 1993-2002



Fuente: Instituto Francés de Investigación para la Explotación del Mar (Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer).



entorno marino a veces se conoce como “marea roja” (véase el mapa). La descomposición de este exceso de floraciones de algas reduce el nivel de oxígeno en el agua a tal punto que causa la muerte de otros organismos (hipoxia).

Canadá, Estados Unidos y México enfrentan el enriquecimiento excesivo con nutrientes de sus recursos hídricos ocasionado por el mal tratamiento de aguas residuales, el uso de fertilizantes y la deposición de subproductos de la combustión (óxidos de nitrógeno). En Estados Unidos, aproximadamente 55 por ciento del deterioro del agua dulce y alrededor de 20 por ciento del deterioro de los sistemas costeros (estuarios, bahías) son resultado de las cargas de nutrientes o la eutrofización. La zona muerta del golfo de México, consecuencia de la entrada de nutrientes (sobre todo nitrógeno) procedentes de la cuenca del río Mississippi, es la mayor extensión de hipoxia antropogénica en el hemisferio occidental. En Canadá han surgido preocupaciones similares en torno a la hipoxia del estuario San Lorenzo, ocasionada por factores como el nitrógeno.

#### Organismos patógenos

La contaminación de los recursos hídricos con organismos patógenos (por ejemplo, bacterias coliformes fecales) sigue siendo una preocupación en muchas áreas de América del Norte. La fuente de la contaminación con agentes patógenos que más preocupa son las aguas residuales mal tratadas y sin tratar. Sin embargo, en algunas áreas, las operaciones agrícolas y la vida silvestre constituyen también un factor. Aunque 71 por ciento de la población estadounidense recibe suministro de plantas de tratamiento de aguas residuales, en 2003 se cerraron playas o se emitieron advertencias sanitarias a causa de contaminación bacteriana por 18,000 casos, en comparación con 3,000 a mediados de los noventa. Una porcentaje similar (72 por ciento) de la población canadiense recibe suministro de plantas de tratamiento de aguas residuales, pero las descargas de aguas negras municipales siguen representando una de las principales fuentes de emisión de contaminantes por volumen en aguas canadienses. En México, donde sólo 35 por ciento de la población es abastecida por plantas de tratamiento de aguas residuales, la contaminación bacteriana del agua dulce y los sistemas costeros es un serio problema.

#### Mercurio

El mercurio es un metal que se acumula en los tejidos de seres humanos, peces y animales, hasta alcanzar niveles tóxicos (véase el estudio de caso).

En los ecosistemas acuáticos, el mercurio puede entrar en la cadena alimentaria mediante la acción de bacterias y organismos bentónicos. Los consumidores de organismos contaminados por mercurio pueden acumular mercurio hasta niveles tóxicos, aun en lugares donde las concentraciones de mercurio en el agua son apenas detectables.

La mayoría de las veces el mercurio entra en los recursos hídricos de América del Norte a través de la deposición del mercurio emitido a la atmósfera por actividades mineras, procesos industriales y combustibles fósiles, así como la



Pesca de lucio perca americana.

incineración de desechos municipales y médicos. En años recientes, Canadá y Estados Unidos han reducido sus emisiones de mercurio: 80 por ciento el primero durante el periodo 1990-2003 y 45 por ciento el segundo durante el periodo 1990-1999. Sin embargo, los altos niveles de mercurio presentes en peces siguen dando cuenta de más de 90 por ciento de las advertencias sanitarias sobre el consumo de pescado emitidas en Canadá y 80 por ciento de las emitidas en Estados Unidos para especies tanto de agua dulce como costeras. En 2000-2003 se encontró mercurio en cien por ciento de los peces monitoreados como parte del Estudio Nacional sobre Tejidos en Peces en Estados Unidos. Aun después de haber cesado las descargas en sistemas contaminados, el mercurio puede seguir acumulándose por décadas en la cadena alimentaria. Y como se transporta fácilmente a largas distancias en la atmósfera, las emisiones de otros continentes contribuyen a contaminar las pesquerías de América del Norte con este elemento.

#### Contaminantes orgánicos persistentes

Los contaminantes orgánicos persistentes son sustancias orgánicas que se acumulan en los

tejidos grasos de humanos y animales, y pueden alcanzar niveles tóxicos. Los países de América del Norte han trabajado durante mucho tiempo en la reducción del uso y emisión de contaminantes orgánicos persistentes como el DDT, los bifenilos policlorados (BPC), las dioxinas y el clordano; sin embargo, estos compuestos persisten en suelos, sedimentos y tejidos de peces. En Estados Unidos, por ejemplo, en 2000-2003 se detectaron BPC, dioxinas y furanos, y DDT en la mayoría de las muestras de peces. A pesar de estar prohibidos desde hace mucho tiempo en ese país, siguen encontrándose BPC en cien por ciento de las muestras compuestas de peces depredadores y béticos-demersales. Si bien el monitoreo a largo plazo de las poblaciones de peces de los Grandes Lagos registra una disminución de BPC, DDT y otros contaminantes persistentes, las concentraciones de algunos de esos compuestos siguen rebasando los criterios sanitarios para el ser humano y la vida silvestre en varias regiones de los Grandes Lagos.

#### ¿Cuáles son sus vínculos con otras cuestiones ambientales de América del Norte?

La calidad del agua se ve afectada por las actividades en una cuenca hídrica o un área de recarga de aguas freáticas, así como por el clima mundial y el transporte atmosférico desde áreas distantes.

#### Cambio climático

Junto con los patrones climáticos, es probable que también cambien los patrones de precipitación y escurrimientos de América del Norte, lo que ocasionará más sequía en algunas zonas y más inundaciones en otras. En condiciones de sequía, los contaminantes se pueden concentrar en los recursos hídricos hasta alcanzar niveles dañinos; por su parte, mayores escurrimientos e inundaciones provocan mayor arrastre de contaminantes (por cantidad y diversidad) a las aguas superficiales.

#### Aprovechamiento del suelo

En varios estudios se han identificado los vínculos entre la calidad del agua y el aprovechamiento del suelo en cuencas hídricas. El desmonte de tierras puede aumentar el transporte de sedimentos a aguas superficiales. Los plaguicidas y fertilizantes aplicados al suelo pueden ser arrastrados a aguas superficiales o filtrarse a los mantos acuíferos, y lo mismo puede suceder con cualquier otro material descargado en la tierra, como contaminantes tóxicos, aceite automotriz o gasolina.

## Energía

Los niveles de demanda energética tienen que ver con la contaminación de los recursos hídricos. El agua usada en la exploración y producción de gas y petróleo puede saturarse de sustancias tóxicas que deben eliminarse antes de que ésta pueda ser utilizada sin riesgos por los humanos o la vida silvestre. Los subproductos de la combustión de centrales eléctricas, como óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre y mercurio, pueden viajar largas distancias en la atmósfera y afectar recursos hídricos ubicados lejos de las centrales, cambiando el pH, agregando nitrógeno a la carga de nutrientes y contaminando las pesquerías.

## Biodiversidad y ecosistemas

Las plantas y animales que habitan en aguas superficiales están acostumbrados a determinadas condiciones de calidad del agua. Si cambia la calidad del agua de un río o corriente, algunas plantas y animales no pueden sobrevivir ahí. Como se sabe que la mala calidad del agua reduce la biodiversidad, Canadá y Estados Unidos utilizan la biodiversidad de las comunidades acuáticas como un indicador de la calidad de las aguas superficiales. Los cambios en las comunidades acuáticas a causa de la calidad del agua pueden alterar el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos, así como las comunidades vinculadas de plantas y animales terrestres.

## Contaminantes

Los mayores escurrimientos se relacionan con una mayor carga de sedimentos, nutrientes, contaminantes tóxicos y de otros tipos —todos los cuales tienen un efecto en la calidad de los suministros de agua potable y los ecosistemas acuáticos. Por otro lado, a medida que el suelo se convierte a usos urbanos o suburbanos, también aumenta la contaminación de fuentes fijas, como consecuencia de las plantas adicionales para el tratamiento de aguas residuales construidas a fin de satisfacer las necesidades de la creciente población y las nuevas industrias. La influencia acumulativa del mayor número de fuentes fijas y móviles puede afectar la adecuación del agua para sustentar los ecosistemas acuáticos y otros usos deseados del líquido. A pesar de haberse detectado la presencia de contaminantes nuevos como retardadores de flama y productos para la higiene personal y farmacéuticos, aún se desconocen los niveles de riesgo general y acumulable para el ser humano y los ecosistemas. 🦋

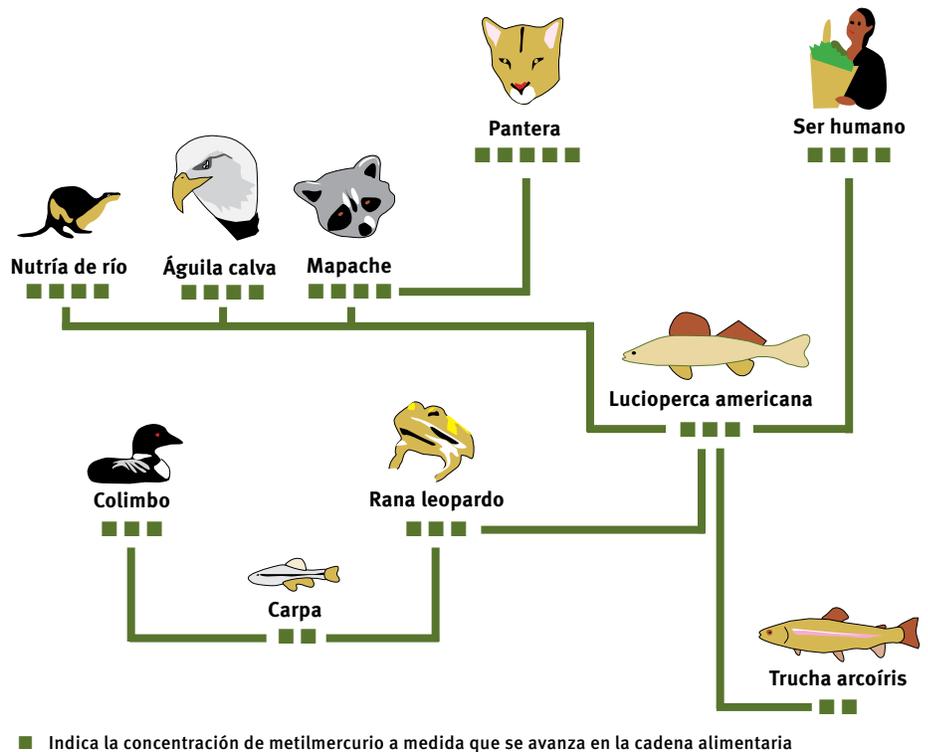
## Estudio de caso – Mercurio en aguas de América del Norte

El mercurio es un metal presente en la naturaleza que puede causar daños hepáticos, cerebrales, cardíacos, renales, pulmonares e inmunológicos en humanos, peces y vida silvestre. La industrialización ha contribuido a la proliferación del mercurio en todo el mundo. En la mayoría de sus formas químicas, el mercurio se transporta con facilidad en la atmósfera. El mercurio atmosférico es la fuente principal del mercurio en aguas dulces y marinas de América del Norte. De hecho, prácticamente no hay ningún lugar del planeta que no esté afectado por la deposición de mercurio atmosférico. Como consecuencia, hay una contaminación generalizada por mercurio en América del Norte, incluso en zonas ubicadas lejos de las ciudades y plantas industriales.

Las concentraciones de mercurio en la mayor parte de las aguas de América del Norte son demasiado bajas para tener efectos tóxicos en quienes entran en contacto con el agua o la ingieren. No obstante, en condiciones propicias, el mercurio presente en el agua puede entrar en la cadena alimentaria. En la mayoría de los organismos, el mercurio se liga a las proteínas y se acumula en los tejidos, en forma de metilmercurio. Cuando los depredadores se alimentan de presas contaminadas con este elemento, el mercurio de los tejidos de la presa se transfiere a los tejidos del depredador (véase la gráfica). De este modo, cuanto más alta es la posición de un organismo en la cadena alimentaria, mayor puede ser la acumulación de mercurio en sus tejidos y mayor es la posibilidad de padecer efectos tóxicos.

En los sistemas marinos y de agua dulce de América del Norte, la presencia de metilmercurio en peces es preocupante. Cuando aves, animales y seres humanos de América del Norte ingieren peces contaminados con mercurio, enfrentan la posibilidad de acumular niveles tóxicos de este elemento en sus tejidos. Aquéllos cuya dieta consiste básicamente en pescado corren un mayor riesgo de sufrir efectos en la salud a causa de la acumulación de mercurio.

## Acumulación de mercurio a través de la cadena alimentaria



Fuente: Federación Nacional de Vida Silvestre (*National Wildlife Federation*), <http://www.nwf.org/mercury/bioaccumulation.cfm>.



# Cantidad y uso del agua

## Principales consideraciones

- El agua dulce superficial y las aguas freáticas son un denominador común indispensable para la vida. El acceso continuo al agua dulce constituye una preocupación en diversas zonas de América del Norte.
- La distribución del agua dulce es sumamente variable a lo largo y ancho de la región. Los usos industriales y agrícolas representan la mayor parte de las extracciones de agua en América del Norte, y en algunas zonas el uso humano compite con las necesidades ecológicas.
- Las extracciones totales de agua en Estados Unidos aumentaron entre 1970 y 1990, pero desde entonces se han mantenido relativamente constantes a pesar del incesante crecimiento demográfico. En Canadá y México las extracciones totales de agua siguen en aumento.
- El cambio climático, el aprovechamiento del suelo y el crecimiento demográfico afectan la disponibilidad de agua dulce en toda América del Norte. A medida que cambia el clima, es probable que también se modifiquen los patrones de precipitación y los escurrimientos. Dados el crecimiento demográfico previsto y los actuales patrones de desarrollo, se prevé una mayor competencia entre los usuarios de agua.

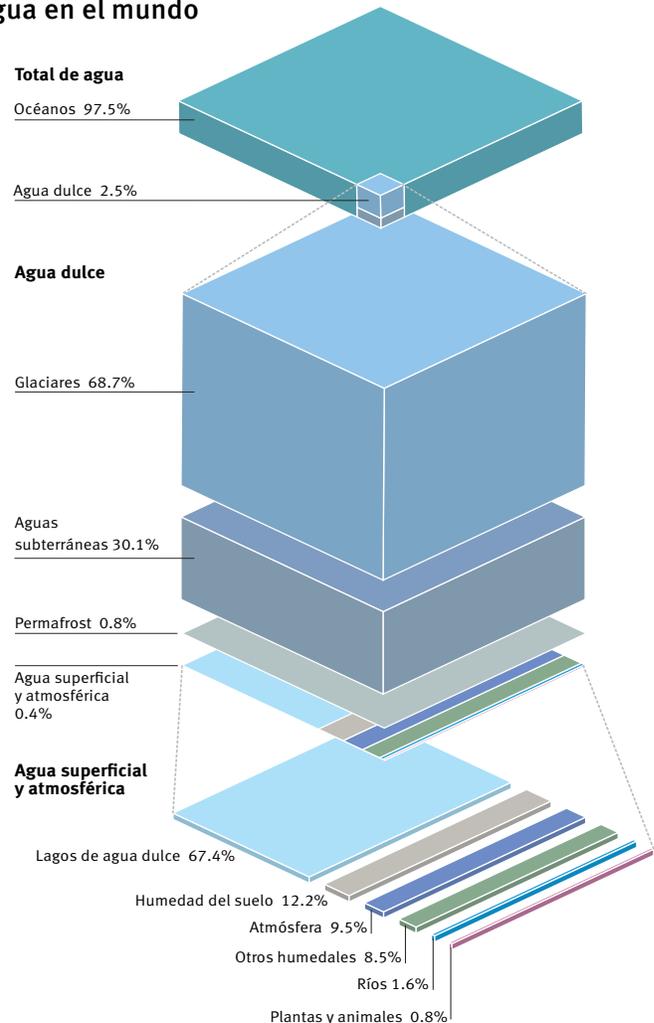
La *cantidad y uso del agua* se relaciona directamente con una variedad de necesidades humanas y ecológicas: agrícolas, industriales, nacionales y ambientales. El desarrollo humano y el medio ambiente dependen de los suministros adecuados de agua limpia.

## ¿Cuál es la problemática ambiental?

El agua —recurso finito pero renovable— es esencial para sustentar la vida, el desarrollo y el medio ambiente. Aunque 70 por ciento de la superficie de la tierra está cubierta por agua, 97

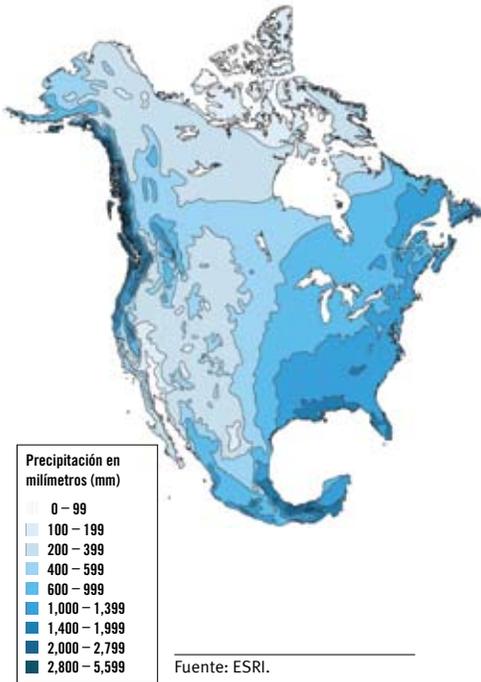
por ciento es agua oceánica salada y menos de tres por ciento es agua dulce (véase la gráfica). Del agua dulce, 69 por ciento está congelada en glaciares y nieves permanentes, y otro 30 por ciento es agua subterránea “oculta” (aguas freáticas). De modo que menos de uno por ciento del

## Distribución del agua en el mundo



Fuente: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

## Precipitación normal anual en América del Norte



agua del planeta se encuentra en forma de agua superficial y vapor atmosférico.

El agua dulce superficial y las aguas freáticas son un denominador común para la vida en todos los países. El agua no sólo sustenta todas las formas de vida, sino que carece de sustituto en muchos procesos comerciales e industriales, en especial en los cultivos agrícolas. El uso de agua dulce para abasto de la población, irrigación, procesos industriales y enfriamiento de centrales eléctricas ejerce presión en los recursos hídricos. Los actuales patrones de aprovechamiento del líquido afectan los suministros de agua para la población y la producción de alimentos; generan la competencia entre varios usos finales, y provocan la salinización de cuerpos de agua dulce en zonas costeras. Además, perturban los flujos tanto mínimos como máximos que los ecosistemas acuáticos necesitan normalmente en momentos específicos del año para sustentar las diversas comunidades de organismos que albergan.

## Recursos hídricos renovables internos de América del Norte (kilómetros cúbicos al año)

	Canadá	Estados Unidos	México	América del Norte
Agua superficial producida internamente	2,840	2,662	361	5,863
Recarga de aguas freáticas	370	1,300	139	1,809
Total (ajustado por superposiciones)	2,850	2,800	409	6,059

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

## ¿Por qué es importante este asunto para América del Norte?

Los recursos de agua dulce son de primordial importancia ambiental y económica para América del Norte, pero su distribución es muy variable. Canadá posee cerca de 20 por ciento de los recursos totales de agua dulce del planeta. Sin embargo, gran parte de ésta se encuentra en lugares remotos o retenida en lagos, mantos acuíferos y glaciares. México, en cambio, es un país fundamentalmente árido y el agua dulce abunda en apenas algunas zonas locales. No sólo es importante la cantidad de agua dulce, también lo es la rapidez con la que ésta se repone por medio de lluvias y escurrimiento. En muchas partes de América del Norte, las necesidades y los usos humanos del agua compiten con la necesidad del líquido para sustentar la vida acuática.

### Distribución de los recursos hídricos

Los recursos hídricos renovables internos de América del Norte se calculan sumando el caudal promedio anual de los ríos y la recarga de aguas del subsuelo (mantos acuíferos) a raíz de la precipitación al interior de las fronteras de cada país (véase el cuadro). Las aguas superficiales producidas internamente representan el caudal anual promedio de los ríos generado por la precipitación interna y el flujo base generado por los acuíferos, en tanto que la recarga de las aguas freáticas se calcula midiendo la precipitación pluvial en zonas áridas, donde se da por sentado que el agua de lluvia se infiltra a los mantos acuíferos; sin embargo, estos cálculos revisten considerable incertidumbre. El total (la suma de ambos volúmenes) se ajusta para tomar en cuenta cualquier superposición que podría ocurrir cuando las aguas superficiales recargan los acuíferos, o cuando éstos liberan agua al flujo superficial. Los flujos de entrada que se originan fuera de las fronteras de un país no se incluyen en el total del recuadro.

Los recursos de agua dulce no están distribuidos de manera uniforme en América del Norte (véase el mapa). En términos generales, las

## Extracción de agua dulce para usos domésticos, industriales y agrícolas en América del Norte, 2000

Uso	Canadá	Estados Unidos	México
<b>Extracción total</b> (km <sup>3</sup> /año)	<b>46</b>	<b>479</b>	<b>78</b>
<b>Doméstico</b>	<b>19%</b>	<b>13%</b>	<b>17%</b>
<b>Industrial</b>	<b>69%</b>	<b>46%</b>	<b>6%</b>
<b>Agrícola</b>	<b>12%</b>	<b>41%</b>	<b>77%</b>

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

regiones del este de América del Norte se consideran ricas en agua o dominadas por precipitaciones, aunque las sequías periódicas pueden afectar considerablemente la disponibilidad del agua. Por lo general, los valores de precipitación normales anuales de 800 milímetros o mayores se relacionan con zonas ricas en agua en Canadá, el este de Estados Unidos y el sureste de México. Los valores de precipitación normales anuales inferiores a 600 milímetros se relacionan con regiones áridas y semiáridas, incluidas la región de las Grandes Planicies de Canadá y Estados Unidos y gran parte de México. Esta distribución determina el que las extracciones provengan de aguas superficiales o de aguas freáticas.

### Usos de los recursos hídricos

En América del Norte, el sector industrial y la agricultura combinados extraen alrededor de 85 por ciento del agua, pero la distribución entre los usos varía por país (véase el cuadro). En Canadá, 69 por ciento de las extracciones se usan para la industria y 12 por ciento para la agricultura, mientras que en México alrededor de 77 por ciento se usa para la agricultura y sólo seis por ciento para la industria. En Estados Unidos, las extracciones para uso agrícola e industrial son aproximadamente similares.

No todas las extracciones de agua dulce tienen las mismas implicaciones para el suministro de agua. La agricultura representa un uso altamente consuntivo de agua y devuelve a los acuíferos sólo una pequeña porción del agua extraída; el resto se pierde por evaporación o se utiliza para riego y para abrevar el ganado. Los usos industriales a menudo son menos consuntivos porque el agua se recicla internamente y una parte termina por devolverse aguas abajo. Un ejemplo es la generación termoeléctrica, que representa una parte importante de las extracciones industriales. Parte del agua se

convierte en vapor para accionar el generador que produce la electricidad, pero la mayor parte del líquido se utiliza en el enfriamiento del condensador para luego ser descargada. En cuanto al uso doméstico del agua, gran parte de la recuperación se hace a través del drenaje de aguas negras, que en la mayoría de las zonas son tratadas antes de devolverlas a aguas superficiales. Otros usos humanos del agua dulce —como la generación hidroeléctrica, el transporte y la recreación— son usos no consuntivos que no se consideran extracciones.

Las extracciones también se pueden expresar per cápita (véase la gráfica). Estados Unidos y Canadá son los mayores usuarios de agua por habitante en el mundo cuando se consideran las extracciones para todos los usos. El consumo por persona es más de dos veces y media el de Asia o Europa y más de seis veces el de África. Esto obedece, entre otras razones, al bajo costo del agua en comparación con otros países industrializados. El consumo de agua per cápita en México es más comparable al de otras zonas del mundo, aunque no deja de ser ligeramente superior.

Las extracciones totales de agua en Estados Unidos aumentaron de 1970 a 1990, pero desde entonces se han mantenido relativamente constantes, aun cuando la población ha crecido alrededor de 16 por ciento. En Canadá y México, las extracciones totales de agua han seguido aumentando. Entre 1972 y 1996, el índice de extracciones de agua de Canadá aumentó casi 90 por ciento, aunque su población sólo creció 34 por ciento en ese mismo periodo. México tam-

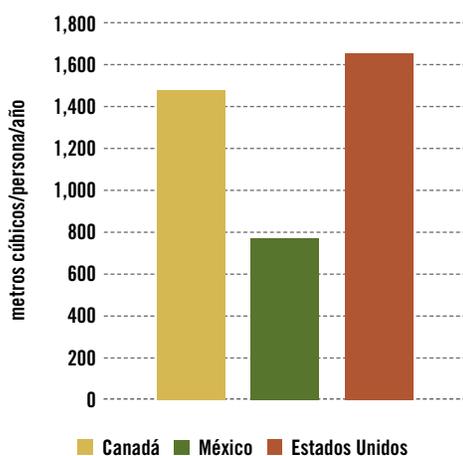
## Estudio de caso – Las consecuencias de la extracción de aguas freáticas



Subsidencia en el Valle de San Joaquín, California.  
Foto: Servicio Geológico de Estados Unidos (US Geological Survey).

La subsidencia del suelo e incluso su desmoronamiento pueden ocurrir cuando la extracción de aguas freáticas excede la recarga y se crea un vacío en un acuífero. Un ejemplo de esto es el Valle de San Joaquín, una de las zonas agrícolas más productivas de Estados Unidos. El Valle Central de California, que incluye el Valle de San Joaquín, produce alrededor de 25 por ciento de los alimentos consumidos en Estados Unidos en tan sólo uno por ciento de las tierras de labranza del país. De 1900 a la década de 1970 se extrajeron aguas freáticas para irrigar y cultivar estos alimentos; sin embargo, con el tiempo estas extracciones rebasaron considerablemente la recarga y los más de 75 años de bombeo de aguas freáticas para irrigación provocaron que el suelo se hundiera más de ocho metros. En esta fotografía de un sitio cercano a Mendota, en el Valle de San Joaquín, la marca superior del poste indica el nivel de la superficie del suelo en 1925 en comparación con el nivel al momento de tomarse la fotografía, alrededor de 1977.

### Consumo de agua per cápita en América del Norte, con base en el total de extracciones, 2000



Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

bién ha tenido mayores extracciones de agua en los últimos 30 años.

La irrigación también es en parte responsable. Las tierras irrigadas han aumentado desde 1960: a más del doble en Canadá y México, y más de 50 por ciento en Estados Unidos. Gran parte de este aumento ha ocurrido en regiones áridas o semiáridas, donde las aguas freáticas son la principal fuente de agua. Poco más de una décima parte del área de tierras cultivadas de América del Norte está irrigada, de ella más de 75 por ciento se encuentra en Estados Unidos y poco más de 20 por ciento en México. En Estados Unidos, las zonas preparadas para irrigación representan alrededor de 12 por ciento de las tierras de labranza. En México, casi la cuarta parte de la tierra cultivada está irrigada. En cambio, menos de dos por ciento de las tierras destinadas al cultivo de Canadá se irrigan.

La mayoría de las extracciones de América del Norte corresponde a aguas superficiales, pero las extracciones de aguas freáticas también tienen muchas aplicaciones, desde el suministro doméstico hasta la irrigación. Aunque a escala mundial el volumen de las aguas del subsuelo excede el de las aguas superficiales (del volumen total de agua dulce, alrededor de 30 por ciento

corresponde a aguas freáticas frente a menos de uno por ciento de aguas superficiales), estas últimas se reabastecen con mucho mayor rapidez (gracias a la precipitación). Algunas aguas freáticas reciben el nombre de “agua fósiles” porque su índice de recarga o renovación se mide en tiempo geológico (millones de años), mientras que la renovación de aguas superficiales se mide en días o semanas.

En muchas zonas de América del Norte, el nivel de los mantos freáticos va en declive por la sencilla razón de que las extracciones rebasan la recarga. En algunas zonas de México y Estados Unidos, el suelo sobre estos acuíferos menguantes ha sufrido hundimientos o subsidencia. Por la extracción de aguas freáticas, la Ciudad de México ha sufrido una subsidencia de hasta 18 metros en los últimos cien años. Desde finales de la década de 1980, las autoridades de la Ciudad de México han controlado la extracción de aguas freáticas en un esfuerzo por reducir la subsidencia; con todo, se el índice de subsidencia observado osciló alrededor de los 20-30 centímetros anuales en los últimos veinte años. En Estados Unidos, más de 43,500 kilómetros cuadrados en 45 estados han resultado directamente afectados por la subsidencia (véase el estudio de caso).

## ¿Cuáles son sus vínculos con otras cuestiones ambientales de América del Norte?

El agua es un factor presente en todos los aspectos del medio ambiente, pero sus vínculos con ciertos problemas ameritan una mayor consideración.

### Cambio climático

El vapor de agua no sólo es el gas de efecto invernadero más importante, sino también una importante influencia en el clima del planeta. Los patrones del agua se ven afectados por el cambio climático e influyen en éste. Por ejemplo, los aumentos tanto de precipitación pluvial como de sequía se relacionan con los fenómenos de *El Niño* y *La Niña* en América del Norte, resultantes de los cambios en la temperatura superficial del mar. A medida que cambian los patrones climáticos, es probable que también cambien los patrones de precipitación y escurrimiento, con más sequía en algunas áreas y más inundaciones en otras. Tal vez los científicos no puedan predecir con certidumbre los patrones de cambio precisos, pero lo que sí resulta claro que el cambio climático ocasionará cambios en la disponibilidad de agua en América del Norte.

### Aprovechamiento del suelo

Al igual que el cambio climático, los cambios en el aprovechamiento del suelo, en particular los derivados del crecimiento demográfico, se relacionan con la cantidad y el uso del agua. En general, se prevé que los cambios en el crecimiento demográfico y el aprovechamiento del suelo serán factores de mayor peso que el cambio climático en la escasez de recursos hídricos en los próximos 25 años. Sin embargo, en vista de las diferencias espaciales en la distribución de los recursos hídricos renovables y disponibles al interior de los países y en diferentes zonas geográficas, es probable que ciertas zonas de América del Norte sufran una mayor escasez de agua que otras. En algunas zonas, las tendencias en los cambios climático, demográfico y de uso del suelo concurren. El aprovechamiento del suelo puede afectar también el suministro de agua al expandirse las superficies impermeables y, con ello, limitarse el grado de recarga de los mantos freáticos.

### Biodiversidad y ecosistemas

La precipitación y el escurrimiento sustentan los ecosistemas tanto terrestres como acuáticos, además de que suministran el agua dulce necesaria para sustentar los ecosistemas estuarinos. La competencia por el agua entre los seres humanos y los

ecosistemas acuáticos puede alterar de manera considerable los regímenes de flujo —es decir, a medida que el agua se extraiga para otros usos, las cantidades más bajas de flujo ya no sostendrán a las comunidades acuáticas. Los ecosistemas acuáticos requieren más que una cantidad mínima de agua para su mantenimiento; también necesitan inundaciones con la frecuencia y magnitud correctas para sustentar el sistema. Los diques y otros obstáculos del libre flujo pueden alterar tanto el momento de entrada de los flujos como la cantidad de agua que fluye en las corrientes, lo que tiene un efecto importante en la biodiversidad corriente abajo (véase el estudio de caso).

### Contaminantes

Los escurrimientos se relacionan con una mayor carga de sedimentos, nutrientes y contaminan-

tes tóxicos y de otros tipos, todos los cuales tienen un efecto en la calidad de los suministros de agua potable y los ecosistemas acuáticos. A medida que el suelo se convierte a usos urbanos o suburbanos, aumenta también la contaminación de fuentes fijas, como consecuencia de la construcción de plantas adicionales para el tratamiento de aguas residuales a fin de satisfacer las necesidades de la creciente población. Las superficies impermeables de las zonas desarrolladas propician asimismo mayores escurrimientos que tal vez no tengan oportunidad de filtrarse por medio de procesos naturales. La influencia acumulativa del mayor número de fuentes fijas y móviles puede afectar la adecuación del agua para sustentar tanto los ecosistemas acuáticos como otros usos deseados del vital líquido. 🌿

## Estudio de caso – Delta del río Colorado



Imagen del delta del río Colorado tomada en septiembre de 2000 con el Radiómetro Espacial Avanzado de Reflexión de Emisión Termal (ASTER, por sus siglas en inglés). Foto: Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (National Aeronautics and Space Administration, NASA).

El delta del río Colorado se ubica en la región al sur de la frontera entre California y México, donde históricamente este río desemboca en el golfo de California (mar de Cortés). Este oasis de 7,800 kilómetros cuadrados solía ser uno de los estuarios desérticos más grandes del mundo. En los años veinte, el naturalista Aldo Leopold comentó la riqueza de la diversidad de aves acuáticas, vida acuática de agua dulce y salada, jaguar, venado, castor y otras formas de vida silvestre que habitaban en el delta del río Colorado. Hoy, el delta conserva sólo cinco por ciento de su tamaño original y ya no sustenta esta abundante biodiversidad, en parte porque su flujo histórico ya no llega con constancia al estuario. Los diques y los canales de desviación río arriba han reducido y alterado considerablemente el torrente del río Colorado. Aunque este tipo de estuarios son naturalmente salobres, se trata de ecosistemas que deben tener flujos de agua dulce para sustentar su biodiversidad y productividad.



## Recursos hídricos compartidos

### Principales consideraciones

- Los recursos hídricos compartidos son cuerpos de agua que atraviesan las fronteras políticas. A lo largo de las fronteras de Estados Unidos con Canadá y México, la gestión eficiente de la calidad y el uso de estos cuerpos de agua supone una responsabilidad compartida.
- El cambio climático, el crecimiento demográfico, la contaminación, las especies invasoras y el cambio en el uso del suelo afectan la cantidad y la calidad de los recursos hídricos compartidos y su capacidad para sustentar los ecosistemas acuáticos.
- En 2005 la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos evaluó diversos cuerpos de agua compartidos importantes. En esta evaluación, las condiciones del golfo de México se calificaron como “regulares” y las de los Grandes Lagos “de regulares a malas”. El golfo de Maine resultó estar, en términos generales, en mejores condiciones que el resto de la región costera del noreste, cuyas condiciones se calificaron como “malas”.
- Es difícil detectar tendencias generales comunes a todas las características importantes de los recursos hídricos compartidos. En los Grandes Lagos, por ejemplo, las tendencias en las condiciones de los ecosistemas muestran mejorías en algunas áreas y deterioro en otras.

Los recursos hídricos compartidos incluyen los ríos y estuarios que constituyen fronteras o corren a través de las fronteras, los lagos que se extienden sobre las fronteras políticas, las áreas marinas con jurisdicciones múltiples y los mantos acuíferos que yacen bajo las fronteras políticas.

### ¿Cuál es la problemática ambiental?

El agua es un recurso mundial compartido. El ciclo hidrológico transporta el agua por todo el planeta mediante vapor atmosférico y corrientes oceánicas. En tierra, el agua (arroyos y ríos) constituye la frontera política entre muchas naciones. Los países también comparten los lagos que se extienden sobre sus fronteras políticas y los mantos acuíferos ubicados bajo esas fronteras.

Como el agua es esencial para sustentar todos los procesos vitales, muchas naciones consideran que su disponibilidad adecuada es un derecho humano fundamental. Existen registros de conflictos por los derechos sobre el agua que datan de 2500 a.C. y cabe esperar que estos conflictos sean más frecuentes en el futuro, con el crecimiento de las poblaciones humanas y el desarrollo económico, así como con el cambio de los patrones climáticos.

### ¿Por qué es importante este asunto para América del Norte?

América del Norte cuenta con amplios recursos hídricos compartidos, pero hay grandes diferencias en la calidad y cantidad de esos recursos de un lugar a otro de la región. A lo largo de la frontera norte entre Canadá y Estados Unidos y la frontera sur entre México y Estados Unidos, el manejo de los recursos hídricos compartidos —en términos de cantidad y calidad— es una cuestión importante.

### Manejo de recursos hídricos compartidos

Canadá y Estados Unidos comparten agua a lo largo de sus casi 9,000 kilómetros de frontera, desde el Atlántico hasta el Pacífico, y en un gradiente que va de las zonas relativamente ricas en agua del este a las regiones más áridas del oeste. De

igual modo, México y Estados Unidos comparten agua a lo largo de los 3,000 kilómetros de su línea fronteriza, que pasa por las regiones áridas entre Texas y California. A pesar de estos gradientes, muchos de los problemas de cantidad y calidad del agua son similares entre los tres países de América del Norte. Los posibles conflictos por los recursos hídricos compartidos de América del Norte se han enfrentando mediante tratados, acuerdos y protocolos bilaterales en materia de agua.

El recurso hídrico más abundante que comparten Canadá y Estados Unidos son los Grandes Lagos (el sistema del río San Lorenzo), que representa la quinta parte del agua dulce de todo el mundo. Otros recursos compartidos por Canadá y Estados Unidos van desde el golfo de Maine al este hasta el río Rojo del Norte en la región central y el océano Pacífico al oeste. En el transcurso de los años, Canadá y Estados Unidos han negociado acuerdos para resolver problemas relativos a los recursos hídricos. Desde 1909, en el Tratado sobre Aguas Fronterizas se creó una Comisión Conjunta Internacional para evitar y resolver



Vista del río Bravo, que separa a Estados Unidos y México, visto desde uno de los puentes internacionales en la urbe fronteriza de Ciudad Juárez, México.  
Foto: REUTERS/Tomás Bravo.

disputas entre ambas naciones. En 1972 Canadá y Estados Unidos celebraron el primer Acuerdo para la Calidad del Agua de los Grandes Lagos (modificado en 1978 y 1987), con vistas a controlar la contaminación en esta cuenca y limpiar los residuos industriales y urbanos. Las modificaciones de 1987 introducen los conceptos de zonas de preocupación y planes de gestión panlacustre, así como otros elementos en que se identifica un enfoque de ecosistemas para la restauración y conservación de los Grandes Lagos.

La cantidad de agua y los niveles de los lagos preocupan tanto a Canadá como a Estados Unidos. Recientemente, los niveles de agua de algunos de los Grandes Lagos han descendido notoriamente (sobre todo los lagos Michigan y

Huron). Una de las consecuencias ambientales de los menores niveles de agua es la reducción de la extensión de los humedales, las zonas de cría y el hábitat de peces y vida silvestre, lo que incluye zonas de reposo y anidación de aves acuáticas migratorias. A medida que decrezca el nivel de los lagos, serán necesarias operaciones de dragado a fin de mantener las rutas de navegación. Sin embargo, el dragado puede causar perturbaciones y volver a suspender sedimentos contaminados en toda el agua de los Grandes Lagos. Las consecuencias económicas que esto conlleva son menor tonelaje transportado a causa del menor calado en los puertos, pérdida de actividades recreativas y menor eficiencia en la generación termoeléctrica.

El río Colorado, el río Bravo y el Golfo de México son recursos de primer orden que México y Estados Unidos comparten. También se encuentran a lo largo de esta frontera muchos otros recursos de aguas superficiales y freáticas importantes para las comunidades locales, los municipios y los estados. Asegurar que ambos países tengan suficientes recursos hídricos compartidos ha sido uno de los factores que han impulsado la celebración de tratados, acuerdos y protocolos a lo largo de la frontera Estados Unidos-México. La Convención de 1906 entre México y Estados Unidos resolvió problemas de distribución del agua en relación con el río Bravo. Varias décadas más tarde, el Tratado de Aguas de 1944, también de carácter bilateral, normó la distribución de aguas en la parte baja del río Bravo, el río Colorado y el río Tijuana, y creó la Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA). En 1983 México y Estados Unidos acordaron el programa Frontera XXI con el propósito de evitar, reducir y eliminar fuentes de contaminación.

#### Calidad del agua

Desde 1994, el ministerio de Medio Ambiente de Canadá y la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos han evaluado conjuntamente los Grandes Lagos, y los resultados se han publicado en el informe de la Conferencia sobre las Condiciones del Ecosistema de los Lagos (*State of the Lakes Ecosystem Conference*, SOLEC). La SOLEC se encarga de evaluar los componentes del ecosistema de la cuenca de los Grandes Lagos mediante un conjunto de indicadores de salud. En 2007 se determinó que el estado general del ecosistema de los Grandes Lagos era mixto, dado que las condiciones en algunas áreas eran buenas o estaban mejorando, mientras que en otras eran malas o se deterioraban. El mejoramiento detectado respondió a una disminución en los niveles de la mayor parte de los contaminantes presentes en huevos de la gaviota plateada (*Larus argentatus*) y peces depredadores; al logro de los objetivos planteados en los niveles de fósforo; a un aumento en los bancos de trucha de lago, y a la recuperación parcial de las poblaciones de mosca de mayo (*Hexagenia*). Algunas de las tendencias negativas apuntan a concentraciones mayores de polibromodifenil éteres (PBDE) —retardadores de flama— en huevos de la gaviota plateada; al perjudicial crecimiento de alga verde (*Cladophora*); a la persistencia de especies no nativas dominantes; a extracciones no sustentables de aguas subterráneas; al aumento de superficies impermeables en áreas

### Estudio de caso – Solución de problemas de calidad del agua en el río San Pedro



El río San Pedro. Foto: Adriel Heisey

El San Pedro, que nace en Sonora, México, y corre hacia el norte para adentrarse en el sur de Arizona, es el mayor río no embalsado del suroeste de Estados Unidos. La cantidad de agua es un problema para este río, pues se ubica en una región dominada por la evaporación, y con baja precipitación pluvial. En los meses de sequía, las aguas freáticas mantienen el torrente en algunas porciones del río San Pedro, de modo que es un oasis en los áridos desiertos de Chihuahua y Sonora. Sin embargo, las aguas subterráneas se han agotado a causa de su extracción para la minería y la ganadería en México y en virtud de extracciones domésticas en Sierra Vista y Fuerte Huachuca, Arizona. En respuesta a esta situación, en 1988 un grupo de ciudadanos creó el Área Nacional de Conservación del San Pedro y a ambos lados de la frontera se adoptaron medidas conjuntas: medidas de manejo —como establecimiento de tierras reservadas, adopción de códigos para el uso de agua en los condados y fomento de prácticas de conservación del agua (por ejemplo, accesorios, inodoros y lavadoras de bajo consumo de agua)— y programas de educación y divulgación con sectores interesados. Hoy día se tienen en curso programas de monitoreo para dar seguimiento a los avances en el logro de objetivos respecto de los niveles sustentables de las aguas subterráneas, con miras a restaurar y proteger el río San Pedro.

## Estudio de caso – Atención a problemas de calidad del agua en el lago Erie

A finales de los años sesenta y principios de los setenta, la calidad del agua del lago Erie se había deteriorado a tal grado que el lago fue declarado “muerto”. Como este lago es el de menor profundidad de los Grandes Lagos, las altas concentraciones de fósforo estaban ocasionando graves problemas de eutrofización como playas cubiertas de lama de algas, pérdida de oxígeno para sustentar a los peces y otras formas de vida acuática en las aguas del fondo y sustitución de peces como la lucioperca americana por especies tolerantes a la contaminación como la carpa (*Cyprinus carpio*).

En 1972, Canadá y Estados Unidos celebraron el Acuerdo para la Calidad del Agua de los Grandes Lagos y pusieron manos a la obra para disminuir la carga de fósforo en los Grandes Lagos. Las provincias y estados de los Grandes Lagos contribuyeron reduciendo el fósforo en los efluentes municipales e industriales y eliminando este elemento de los detergentes. Como resultado, las concentraciones totales de fósforo y clorofila han disminuido notablemente. La riqueza de especies de peces ha aumentado con el retorno de especies intolerantes a la contaminación como la lota (*Lota lota*), el coregono de lago (*Coregonus clupeaformis*), la lobina de boca chica (*Micropterus dolomieu*) y la rémora blanca (*Catostomus commersoni*), así como con la disminución de especies tolerantes a la contaminación como el pez gato americano (*Ameiurus nebulosus*), la carpa común y la robaleta (*Pomoxis annularis*).

No obstante, en la última década las concentraciones de fósforo en el lago Erie han vuelto a aumentar. Las cargas de fósforo disuelto de los afluentes van en aumento. En la cuenca central se ha registrado un mayor índice —y durante lapsos más prolongados— de hipoxia y anoxia. Los brotes de la peligrosa cianobacteria *Microcystis* y el fuerte crecimiento de *Cladophora*, alga verde filamentosa ramificada, comienzan a equiparar los de los años setenta. Como resultado, el manejo de nutrientes, en particular de fósforo, sigue siendo la máxima prioridad para el mejoramiento del lago, y Canadá y Estados Unidos preparan una nueva estrategia binacional al respecto. A pesar de que los bancos de perca amarilla (*Perca flavescens*) ya se están recuperando a lo largo y ancho del lago, las poblaciones de especies depredadoras superiores como la lucioperca americana (*Stizostedion vitreum*), la trucha de lago y el coregono de lago (*Coregonus clupeaformis*) aún enfrentan dificultades.



Orilla del lago Erie.

urbanas; al transporte atmosférico a grandes distancias de bifenilos policlorados (BPC) y otros contaminantes; al constante desarrollo de la línea costera, y a la disminución en las poblaciones de ciertas especies de anfibios y aves que dependen de los humedales.

En 2005 la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos calificó varios grandes cuerpos de agua compartidos de acuerdo con una vasta cantidad de datos de monitoreo recabados entre 1997 y 2000. En esta evaluación, las condiciones del golfo de México se calificaron como “regulares” y las de los Grandes Lagos “de regulares a malas”. En términos generales, el golfo de Maine estaba en mejores condiciones que el resto de la región costera del noreste, cuyas condiciones se calificaron como “malas”; sin embargo, se seguían observando señales de deterioro de la calidad del agua incluso en la zona al norte del cabo Cod y a lo largo del litoral de Maine.

Muchos de los problemas de calidad del agua a lo largo de las fronteras entre los tres países son similares. El DDT y otros plaguicidas a base de hidrocarburos clorados, así como los bifenilos policlorados (BPC) y los arocloros (hidrocarburos aromáticos clorados) vinculados, han contaminado el tejido de los peces lo mismo en el golfo de Maine que en los Grandes Lagos y el golfo de México. Las concentraciones de BPC y DDT también son preocupantes en el río Bravo, que separa a México y Estados Unidos. La contaminación del tejido de peces con mercurio también está muy extendida, no sólo en América del Norte sino en todo el mundo. Las concentraciones de mercurio en los peces depredadores superiores, como la lucioperca americana (*Stizostedion vitreum*) y la lobina negra (*Micropterus salmoides*), han llegado a ser tan elevadas como para lanzar advertencias sobre el consumo de pescado en afluentes de los Grandes Lagos y a lo largo de la frontera Canadá-Estados Unidos. El carito o peto (*Scomberomorus cavalla*) tiene concentraciones de mercurio lo suficientemente altas para motivar el lanzamiento de advertencias respecto de su consumo en todo el golfo de México.

La salinidad es otro problema: aumenta conforme el agua usada para irrigación se filtra en suelos ricos en minerales y luego vuelve a los cuerpos de agua superficiales, transportando estos minerales disueltos. En el río Colorado, la salinidad aumentó en la primera mitad del siglo xx conforme se incrementaron las hectáreas irrigadas en la cuenca de este río, a tal grado que en 1973, la Comisión Internacional de Límites y Agua adoptó la Minuta 242 para atender los problemas de salinidad del río Colorado.



Los ríos y arroyos que corren por América del Norte presentan también un deterioro de la calidad de sus aguas a consecuencia de la carga de materia orgánica que consume oxígeno; la sedimentación, que reduce tanto la claridad como la profundidad y el volumen del agua, y los nutrientes, que contribuyen a las florecencias de algas dañinas.

### ¿Cuáles son sus vínculos con otras cuestiones ambientales de América del Norte?

Los recursos hídricos compartidos se vinculan de manera vital con otros importantes temas ambientales como el cambio climático, el aprovechamiento del suelo, la biodiversidad y los contaminantes.

#### Cambio climático

A medida que cambian los patrones climáticos, es probable que también los patrones de precipitaciones y escurrimientos se alteren, con más sequías en algunas zonas y mayores inundaciones en otras. Las temperaturas más templadas en los Grandes Lagos han aumentado su evaporación durante el invierno, cuando solían congelarse, lo que, a su vez, ha contribuido a los menores niveles de agua en los lagos. También se espera que las temperaturas más altas en el futuro reduzcan aún más el torrente y los suministros de agua del río Colorado. Por su parte, los mayores escurrimientos ocasionarán una mayor carga de sedimentos, materia orgánica, nutrientes y contaminantes tóxicos en los ecosistemas acuáticos de toda la región de América del Norte. En general, la menor cantidad de agua y el deterioro de su calidad dificultarán más a los tres países cumplir con las disposiciones de los tratados internacionales.

#### Aprovechamiento del suelo

Junto con el cambio climático, el crecimiento demográfico y los cambios en el uso del suelo serán factores de mayor peso en la escasez de recursos hídricos en los próximos 25 años, dada la urbanización y la creciente competencia entre los usuarios de agua, tanto al interior de los países como a lo largo de las fronteras internacionales. En vista de las diferencias espaciales en la distribución de recursos hídricos renovables y disponibles dentro de los países y en diferentes zonas geográficas, es probable que ciertas zonas de América del Norte sufran una mayor escasez de agua que otras.

#### Biodiversidad y ecosistemas

La biodiversidad de los ecosistemas acuáticos se ve afectada tanto por la cantidad como por la calidad del agua, según lo ilustran los ejemplos del río San Pedro y el lago Erie (véanse los estudios de caso). También las especies invasoras influyen en la biodiversidad y ello ha ocurrido ya en los recursos hídricos compartidos; por ejemplo, con los mejillones cebrá (*Dreissena polymorpha*) en los Grandes Lagos y el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en el río Bravo. Los mejillones cebrá no sólo desplazan a los mejillones autóctonos de su hábitat, sino que también afectan la dinámica de la red alimentaria al filtrar fuera de la columna del agua el alimento que otros organismos necesitan. El lirio acuático está invadiendo el río Bravo y sus afluentes; con su denso crecimiento, impide que las plantas autóctonas reciban la luz solar y agota el oxígeno en el agua que los peces y otros organismos acuáticos necesitan para vivir.

#### Contaminantes

Los contaminantes cruzan a menudo las fronteras políticas. Aunque se ha prohibido el DDT y el uso de BPC ha estado restringido por décadas, el transporte y la deposición atmosféricos de estos compuestos siguen manteniendo concentraciones en los tejidos de los peces desde los Grandes Lagos hasta el golfo de México. Canadá y Estados Unidos han identificado áreas de preocupación y formulado Planes de Acción para la Rehabilitación de los Grandes Lagos (véase el mapa). El enriquecimiento excesivo con nutrientes ha contribuido al problema de hipoxia en el golfo de México y a la eutrofización de lagos, represas, arroyos y ríos de toda América del Norte. El nitrógeno atmosférico representa nada menos que 30 por ciento de la carga de nitrógeno de la bahía de Chesapeake. Las fuentes atmosféricas también contribuyen al nitrógeno presente en los Grandes Lagos y el golfo de México. 🌿

Áreas de preocupación identificadas, tanto por Canadá como por Estados Unidos, para mejoramiento de la calidad del agua en los Grandes Lagos



- |  |                       |   |
|--|-----------------------|---|
| 1 Bahía Nipigon                                    | 15 Lago Blanco        | 30 Arroyo Eighteen Mile                 |
| 2 Bahía de Truenos                                 | 16 Bahía de Saginaw   | 31 Bahía de Rochester                   |
| 3 Bahía y río St. Louis                            | 17 Río St. Clair      | 32 Río Oswego*                          |
| 4 Lago Antorcha                                    | 18 Río Clinton        | 33 Río San Lorenzo (Cornwall – Massena) |
| 5 Lago de los Ciervos – Arroyo o río de las Carpas | 19 Río Detroit        | 34 Bahía de Quinte                      |
| 6 Río Manistique                                   | 20 Río Rojo           | 35 Puerto Esperanza                     |
| 7 Río Menominee                                    | 21 Río Raisin         | 36 Toronto y su región                  |
| 8 Río de Lobos – Bahía Verde Sur                   | 22 Río Maumee         | 37 Puerto Hamilton                      |
| 9 Río Sheboygan                                    | 23 Puerto Wheatley    | 38 Brazo Severn*                        |
| 10 Estuario Milwaukee                              | 24 Río Negro          | 39 Puerto Español                       |
| 11 Puerto Waukegan                                 | 25 Río Cuyahoga       | 40 Río Santa María                      |
| 12 Río Grand Calumet – Puerto y canal de Indiana   | 26 Río Ashtabula      | 41 Puerto Península                     |
| 13 Río Kalamazoo                                   | 27 Bahía Presque Isle | 42 Bahía Jackfish                       |
| 14 Lago Muskegon                                   | 28 Río Búfalo         |   |
|  | 29 Río Niágara        |   |

\* Eliminados de la lista

Fuente: Comisión Conjunta Internacional (CCI).





**Comisión para la Cooperación Ambiental**

393, rue St-Jacques Ouest, Bureau 200  
Montréal (Québec) Canada H2Y 1N9  
t (514) 350-4300 f (514) 350-4314  
info@cec.org / www.cec.org