

Aire y atmósfera

## 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?

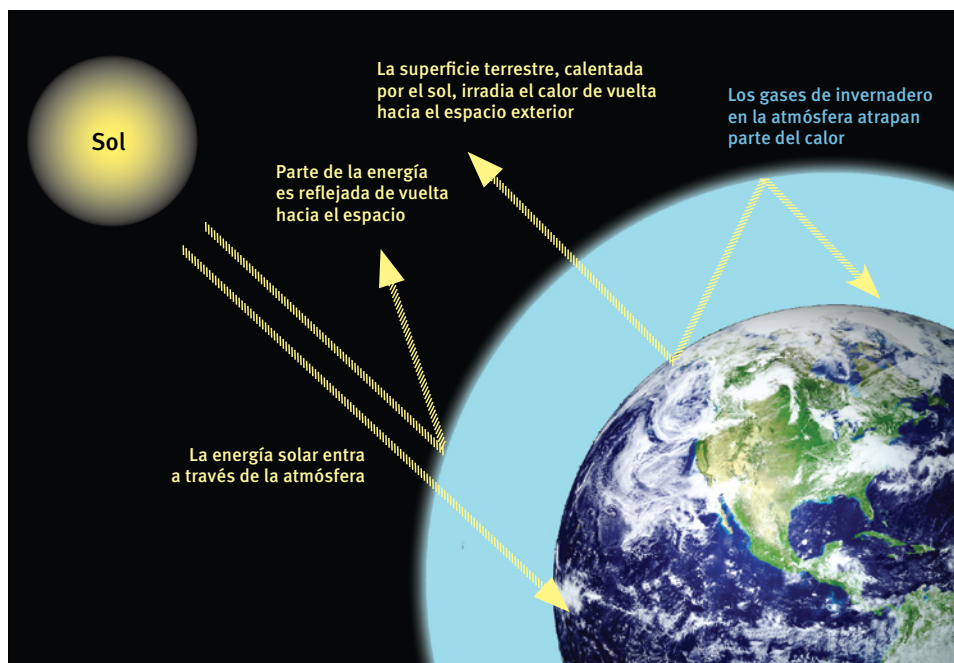
El cambio climático comprende cualquier cambio significativo en las propiedades climáticas, causado por procesos naturales internos, fuerzas externas o actividades humanas, que pueda medirse estadísticamente (como la temperatura media, la precipitación, el viento) y tenga una duración de décadas o aun 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 nítrico 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

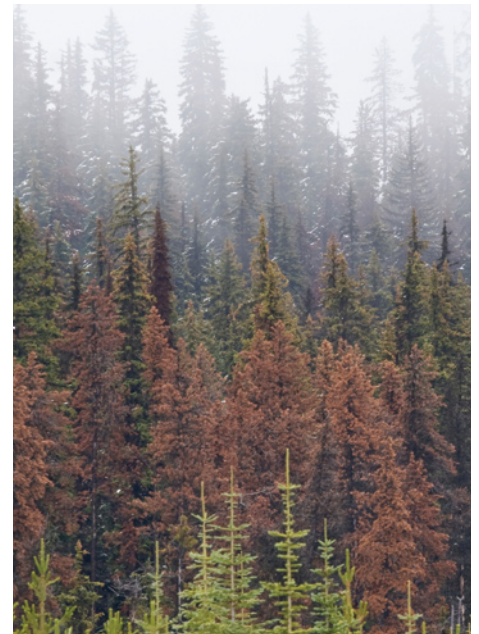
Las repercusiones de los gases de invernadero adicionales en el clima global son evidentes en

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-



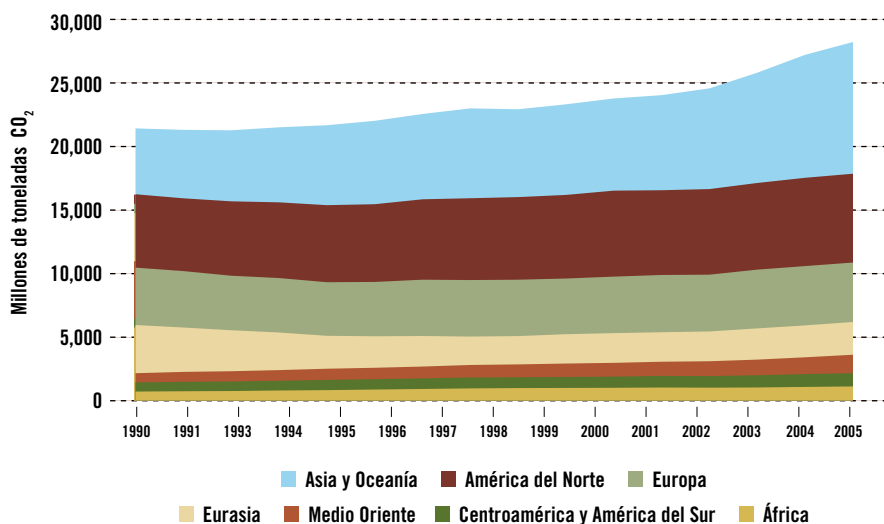
Árboles devastados por infestación de insectos.

gadura. Aunque el cambio climático no da cuenta de todos los extremos del estado del tiempo, sí exacerba 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.

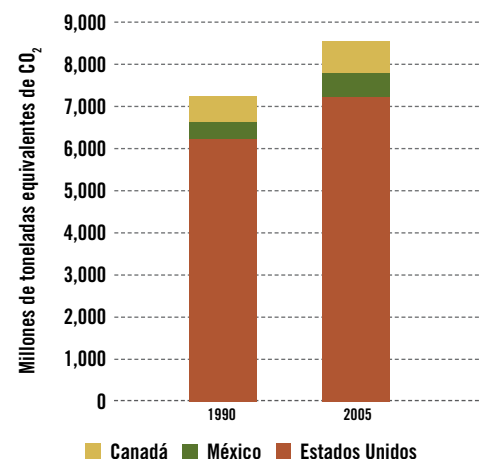
## Cantidad y calidad del agua

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.