

Aire y atmósfera

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?

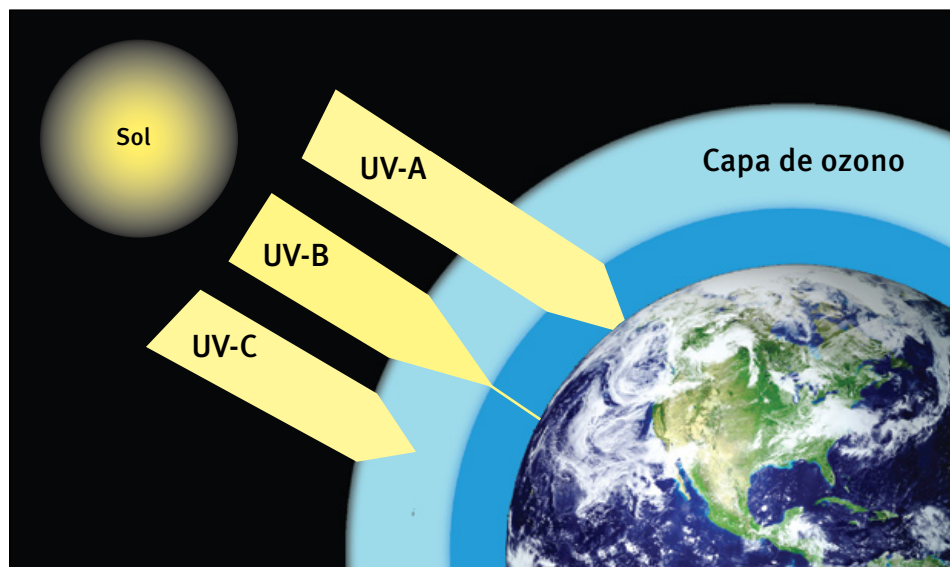
El ozono estratosférico protege la superficie de la Tierra al absorber la radiación ultravioleta (UV) del sol (véase la ilustración). Se forma de manera natural por las reacciones químicas que ocurren entre la luz solar ultravioleta y el oxígeno. Cerca de 90 por ciento del ozono se encuentra en la estratosfera, 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.

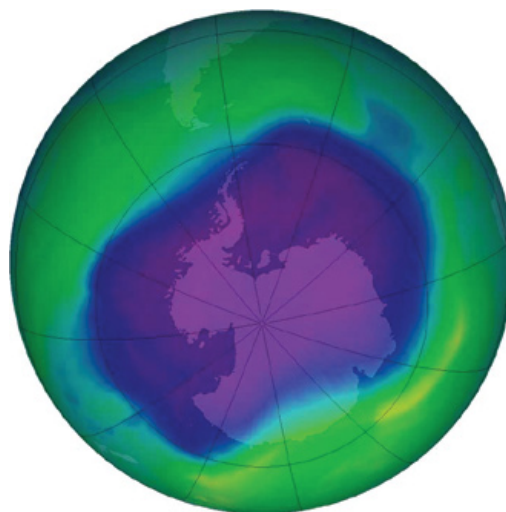
Reducción de las emisiones

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.

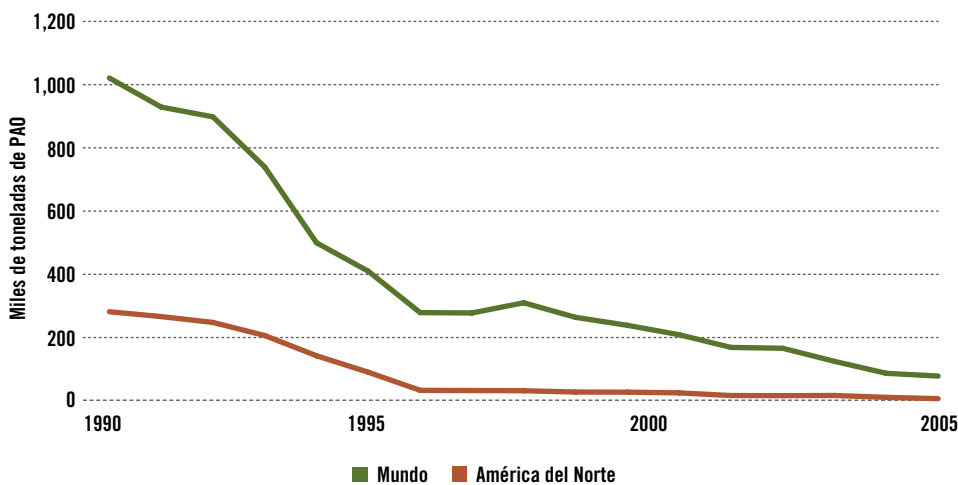
Monitoreo de las tendencias del ozono estratosférico

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.

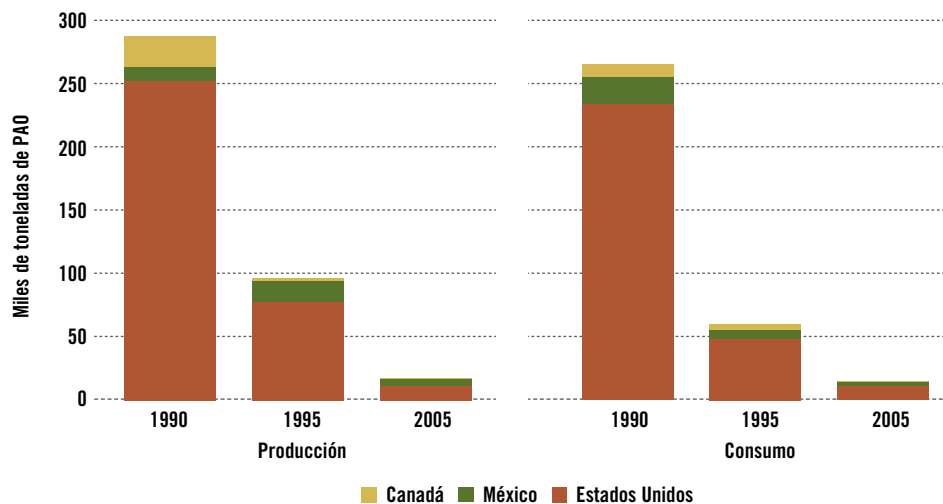
Cambio climático

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.

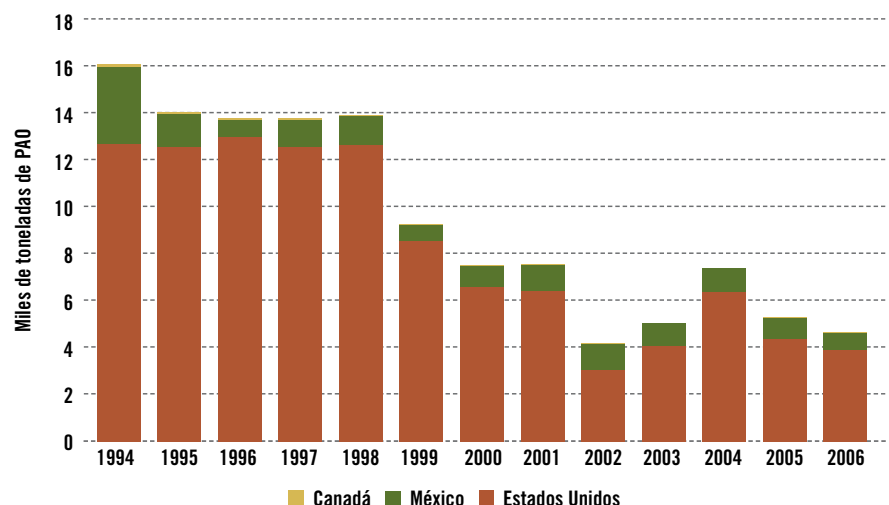
La competencia entre los agricultores frente a los diversos calendarios de eliminación en los tres países ha influido la manera en que Canadá, Estados Unidos y México eliminan gradualmente el MeBr (véase la gráfica de los niveles de consumo de MeBr de estos países en el periodo 1994-2006).

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).