

Índice

➤ EL OZONO EN NUESTRA ATMÓSFERA

- P1 ¿Qué es el ozono y dónde está en la atmósfera?
- P2 ¿Cómo se forma el ozono en la atmósfera?
- P3 ¿Por qué nos preocupamos por el ozono atmosférico?
- P4 ¿El ozono está distribuido uniformemente en todo el planeta?
- P5 ¿Cómo se mide el ozono en la atmósfera?

➤ EL PROCESO DE AGOTAMIENTO DEL OZONO

- P6 ¿Cuáles son las principales etapas del agotamiento del ozono estratosférico causado por actividades humanas?
- P7 ¿Cuáles son las principales emisiones de las actividades humanas que agotan el ozono?
- P8 ¿Cuáles son los gases halógenos reactivos que destruyen el ozono estratosférico?
- P9 ¿Cuáles son las reacciones del cloro y bromo que destruyen el ozono estratosférico?
- P10 ¿Por qué ha aparecido el "agujero del ozono" por encima de la Antártida, si los gases que agotan el ozono están presentes en toda la estratosfera?

➤ AGOTAMIENTO DEL OZONO ESTRATOSFÉRICO

- P11 ¿Cuál es la gravedad del agotamiento de la capa de ozono en la Antártida?
- P12 ¿Hay agotamiento de la capa de ozono en el Ártico?
- P13 ¿De qué magnitud es el agotamiento de la capa de ozono mundial?
- P14 ¿Los cambios en el sol y las erupciones volcánicas afectan la capa de ozono?

➤ CONTROL DE LOS GASES QUE AGOTAN LA CAPA DE OZONO

- P15 ¿Hay regulaciones para la producción de gases que agotan el ozono?
- P16 ¿El Protocolo de Montreal ha logrado su cometido y reducido los gases que agotan el ozono en la atmósfera?

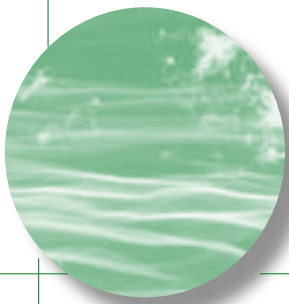
➤ EFECTOS DEL AGOTAMIENTO DEL OZONO

- P17 ¿El agotamiento de la capa de ozono aumenta la radiación ultravioleta que llega a la Tierra?
- P18 ¿El agotamiento de la capa de ozono es el principal motivo del cambio climático?

➤ EL FUTURO DEL OZONO ESTRATOSFÉRICO

- P19 ¿Cómo se detectará la recuperación de la capa de ozono?
- P20 ¿Cuándo se espera que la capa de ozono esté recuperada?

* La versión completa de este documento se encuentra en:
http://ozone.unep.org/Assessment_Panels/SAP/Scientific_Assessment_2006/Twenty_Questions.pdf



EL OZONO EN NUESTRA ATMÓSFERA

➤ ¿Qué es el ozono y dónde está en la atmósfera?

El ozono es un gas que está presente en la atmósfera en forma natural. Cada molécula de ozono contiene tres átomos de oxígeno y se representa químicamente como O_3 . El ozono se encuentra primariamente en dos regiones de la atmósfera. Aproximadamente el 10% del ozono atmosférico está en la troposfera, la región más cercana a la Tierra (desde la superficie hasta entre 10 y 16 km). El ozono restante (90%) reside en la estratosfera, primariamente entre la parte superior de la troposfera y alrededor de 50 km de altitud. Esta concentración de ozono en la estratosfera se denomina comúnmente la "capa de ozono".

➤ ¿Cómo se forma el ozono en la atmósfera?

El ozono se forma en toda la atmósfera a través de procesos químicos que tienen varias etapas y en los que actúa la radiación solar. El proceso comienza en la estratosfera con la ruptura de una molécula de oxígeno (O_2) por la radiación ultravioleta del sol. En la baja atmósfera (troposfera), el ozono se forma mediante una serie de reacciones químicas diferentes, en las que actúan hidrocarburos y gases que contienen nitrógeno.

➤ ¿Por qué nos preocupamos por el ozono atmosférico?

El ozono en la estratosfera absorbe parte de la radiación ultravioleta del sol biológicamente dañina. Por esta función benéfica, el ozono estratosférico se considera ozono "bueno". Por el contrario, el exceso de ozono de la superficie de la Tierra que se forma por acción de los contaminantes se considera ozono "malo", dado que puede ser dañino para la vida de los seres humanos, las plantas y los animales. Parte del ozono se genera naturalmente cerca de la tierra y en la baja atmósfera, en donde es beneficioso porque el ozono ayuda a eliminar contaminantes de la atmósfera.

➤ ¿El ozono está distribuido uniformemente en todo el planeta?

No, la cantidad total de ozono sobre la superficie de la Tierra varía en cada lugar a través del tiempo, con períodos diarios o estacionales. Las variaciones son causadas por los vientos estratosféricos y por la producción y destrucción química del ozono. El ozono total es generalmente menor en el ecuador y mayor cerca de los polos, debido a las variaciones estacionales de los vientos en la estratosfera.

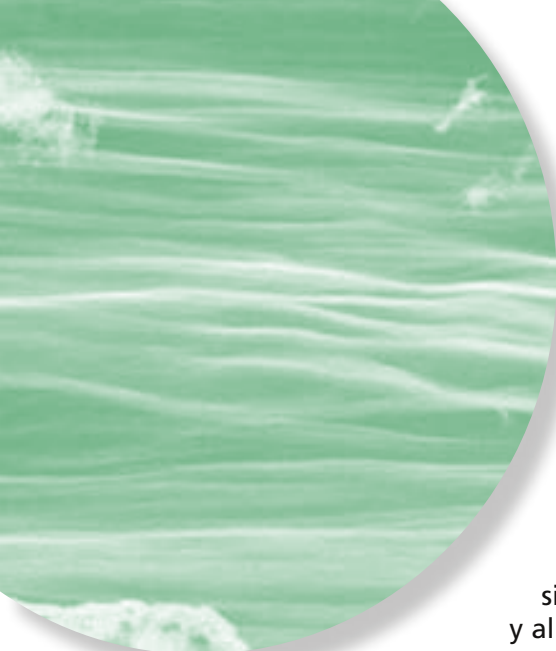
➤ ¿Cómo se mide el ozono en la atmósfera?

La cantidad de ozono en la atmósfera se mide con instrumentos desde la superficie, o llevados a bordo de globos, aeronaves y satélites. Algunas mediciones consisten en colocar aire dentro de un instrumento que contiene un sistema para detectar ozono. Otras mediciones se basan en la característica singular de absorción de la luz del ozono en la atmósfera. En ese caso, la luz del sol o de un láser se mide con precisión después de atravesar una porción de la atmósfera que contenga ozono.

EL PROCESO DE AGOTAMIENTO DEL OZONO

➤ ¿Cuáles son las principales etapas del agotamiento del ozono estratosférico causado por actividades humanas?

La etapa inicial de la disminución del ozono estratosférico causada por actividades humanas es la emisión en la superficie de la Tierra de sustancias que contienen cloro y bromo y agotan el ozono. La mayor parte de estos gases se acumula en la atmósfera baja porque no reaccionan y no se disuelven con facilidad en la lluvia o la nieve. Luego son desplazados a la estratosfera donde se convierten en gases más reactivos que contienen cloro y bromo. Estos gases más reactivos son los que luego participan en las reacciones que destruyen el ozono. Por último, cuando el aire retorna a la atmósfera baja, la lluvia y la nieve eliminan esos gases reactivos con cloro y bromo de la atmósfera terrestre.



➤ **¿Cuáles son las principales emisiones de las actividades humanas que agotan el ozono?**

Algunos procesos industriales y productos de consumo generan emisiones atmosféricas de “gases que son fuente de halógenos”. Estos gases transportan a la estratosfera átomos de cloro y bromo, que son los dañinos para la capa de ozono. Por ejemplo, los clorofluorocarbonos (CFC), usados en otra época en casi todos los sistemas de refrigeración y aire acondicionado, llegan a la estratosfera y allí sus moléculas se rompen, liberando átomos de cloro que destruyen el ozono. Otros ejemplos de gases producidos por el hombre que destruyen el ozono son los “halones”, que se usan en extinguidores de incendios y contienen átomos de bromo que destruyen el ozono. La producción y consumo de todos los gases más importantes generados por actividades humanas y que son fuente de halógenos, están reguladas en todo el mundo por el Protocolo de Montreal.

➤ **¿Cuáles son los gases halógenos reactivos que destruyen el ozono estratosférico?**

Hay emisiones de actividades humanas y procesos naturales que son grandes fuentes de gases que contienen cloro y bromo y van a parar a la estratosfera. Cuando son expuestos a la luz ultravioleta del sol, estos gases, fuente de halógenos, se convierten en gases más reactivos que también contienen cloro y bromo. El monóxido de cloro (ClO) y el monóxido de bromo (BrO) son importantes ejemplos de los gases reactivos que destruyen el ozono estratosférico. Estos gases reactivos participan en ciclos de reacción “catalíticos” que destruyen muy fácilmente el ozono. Los volcanes pueden emitir algunos gases que contienen cloro, pero éstos se disuelven más fácilmente con las precipitaciones y en general son eliminados de la atmósfera antes de que lleguen a la estratosfera.

➤ **¿Cuáles son las reacciones del cloro y bromo que destruyen el ozono estratosférico?**

Los gases reactivos que contienen cloro y bromo destruyen el ozono estratosférico en ciclos “catalíticos” constituidos por dos o más reacciones separadas. Como resultado de esto, un solo átomo de cloro o bromo puede destruir varios cientos de moléculas de ozono antes de que reaccione con otro gas y rompa el ciclo. De esa manera, una pequeña cantidad de cloro o bromo reactivo tiene un gran impacto en la capa de ozono. En las regiones polares tienen lugar reacciones especiales de destrucción del ozono, porque el gas reactivo monóxido de cloro alcanza niveles muy altos de concentración a fines del invierno y comienzos de la primavera.

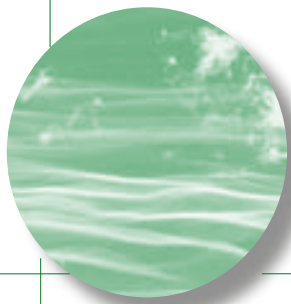
➤ **¿Por qué ha aparecido el “agujero del ozono” por encima de la Antártida si los gases que agotan el ozono están presentes en toda la estratosfera?**

Los gases que agotan el ozono están presentes en toda la capa de ozono estratosférica porque son transportados a grandes distancias por los movimientos de aire atmosférico. La gran disminución de la capa de ozono de la Antártida conocida como el “agujero de ozono” se forma debido a las condiciones especiales climáticas y meteorológicas que existen allí y en ninguna otra parte del planeta. Las temperaturas muy frías de la estratosfera antártica crean nubes de hielo llamadas nubes estratosféricas polares. Las reacciones especiales que ocurren en esas nubes, y el relativo aislamiento del aire polar estratosférico, permiten que las reacciones de cloro y bromo produzcan el agujero de ozono en la primavera antártica.

AGOTAMIENTO DEL OZONO ESTRATOSFÉRICO

➤ **¿Cuál es la gravedad del agotamiento de la capa de ozono en la Antártida?**

El agotamiento severo de la capa de ozono antártica fue observado por primera vez a comienzos de los años 80. La disminución de ozono antártico es estacional y ocurre principalmente a fines del invierno y comienzo de la primavera (agosto-noviembre). El pico de esta disminución ocurre a principios de octubre cuando el ozono suele destruirse por completo a través de diversas altitudes, reduciendo el



ozono total incluso en dos tercios en algunas localidades. Esta disminución severa crea el “agujero de ozono” en imágenes de ozono total antártico realizadas desde el espacio. Casi todos los años el área máxima del agujero de ozono excede con mucho el tamaño del continente Antártico.

➤ **¿Hay agotamiento de la capa de ozono en el Ártico?**

Sí, recientemente en algunos años se han observado importantes disminuciones de la capa de ozono en la estratosfera por encima del Ártico durante el período de fines del invierno y principios de la primavera (enero-abril). Sin embargo la disminución máxima es muy inferior a la observada en la Antártida y varía más de un año a otro. En el Ártico no se ha encontrado un “agujero de ozono” grande y recurrente como en la estratosfera de la Antártida.

➤ **¿De qué magnitud es el agotamiento de la capa de ozono mundial?**

La capa de ozono se ha agotado gradualmente desde 1980 y ahora es aproximadamente en promedio un 4% menor en todo el globo. El agotamiento promedio excede las variaciones naturales de la capa de ozono. La pérdida del ozono es muy pequeña cerca del Ecuador y se incrementa con la latitud hacia los polos. El agotamiento más grave sobre los polos se debe a la destrucción del ozono que tiene lugar todos los años en esas regiones a fines del invierno y comienzo de la primavera.

➤ **¿Los cambios en el sol y las erupciones volcánicas afectan la capa de ozono?**

Sí, factores como las variaciones en la radiación solar y la formación de partículas estratosféricas después de erupciones volcánicas influyen en la capa de ozono. De todas maneras, esos factores no pueden explicar el agotamiento global promedio observado en las dos últimas décadas. Si hubiera erupciones volcánicas grandes en las próximas décadas, el agotamiento del ozono se incrementará durante varios años luego de la erupción.

CONTROL DE LOS GASES QUE AGOTAN LA CAPA DE OZONO

➤ **¿Hay regulaciones para la producción de gases que agotan el ozono?**

Sí, la producción de gases que agotan el ozono está regulada por el acuerdo internacional de 1987 conocido como “Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono” y sus subsecuentes enmiendas y ajustes. El Protocolo, que hasta ahora han ratificado más de 190 naciones, establece controles jurídicamente vinculantes a la producción y el consumo de los gases que agotan el ozono. La producción y el consumo de los principales gases que contienen halógenos se reducirán significativamente o se eliminarán antes de mediados del Siglo XXI, en las naciones desarrolladas y en desarrollo por igual.

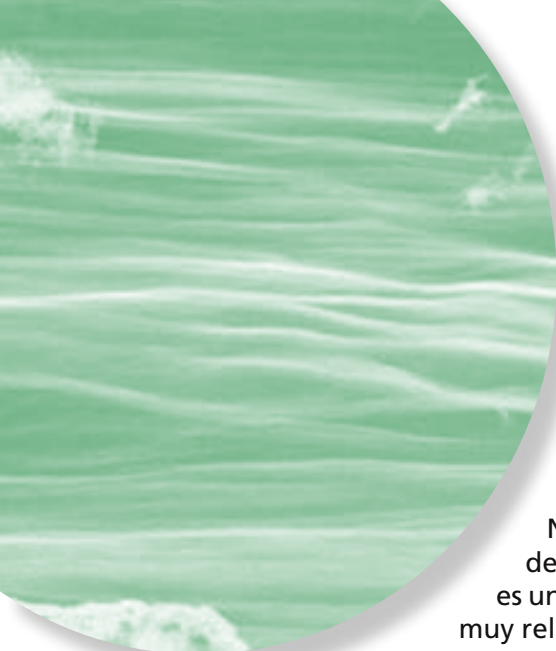
➤ **¿El Protocolo de Montreal ha logrado su cometido y reducido los gases que agotan el ozono en la atmósfera?**

Sí, como resultado del Protocolo de Montreal, la cantidad total de los gases que agotan el ozono en la atmósfera ha comenzado a disminuir en años recientes. Si las naciones del mundo siguen cumpliendo con el Protocolo de Montreal, la disminución continuará durante el Siglo XXI. La presencia de algunos gases, como los halones y los hidroclorofluorocarbonos (HCFC), aún se está incrementando en la atmósfera, pero comenzará a disminuir en las próximas décadas si continúa el cumplimiento del Protocolo de Montreal. A mediados del siglo, la cantidad de gases que agotan el ozono debería descender a los valores existentes antes de que el “agujero de ozono” antártico comenzara a formarse a comienzos de los años 80.

EFFECTOS DEL AGOTAMIENTO DEL OZONO

➤ **¿El agotamiento de la capa de ozono aumenta la radiación ultravioleta que llega a la Tierra?**

Sí, la radiación ultravioleta que llega a la superficie de la Tierra crece cuando la cantidad total de ozono decrece, porque el ozono absorbe la radiación ultravioleta del sol. Los datos de las mediciones realizadas por instrumentos desde la tierra y las estimaciones hechas usando satélites han confirmado



que la radiación ultravioleta a nivel del suelo ha aumentado en las regiones en que se observa un agotamiento del ozono.

➤ **¿El agotamiento de la capa de ozono es el principal motivo del cambio climático?**

No, el agotamiento del ozono en sí no es el principal motivo del cambio del clima. De todos modos, como el ozono absorbe la radiación del sol y es un gas de efecto invernadero, los cambios en el ozono y en el clima están muy relacionados. El agotamiento del ozono estratosférico y el aumento del ozono troposférico que han ocurrido en décadas recientes contribuyen al cambio climático. Estas contribuciones al cambio climático son significativas, pero menores si se las compara con las de todos los demás gases de efecto invernadero. El ozono y cambio climático están indirectamente relacionados porque los gases que agotan el ozono también contribuyen al cambio climático.

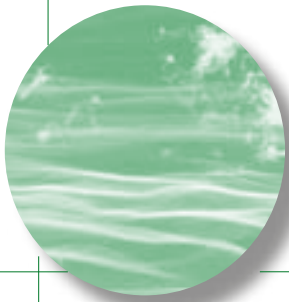
EL FUTURO DEL OZONO ESTRATOSFÉRICO

➤ **¿Cómo se detectará la recuperación de la capa de ozono?**

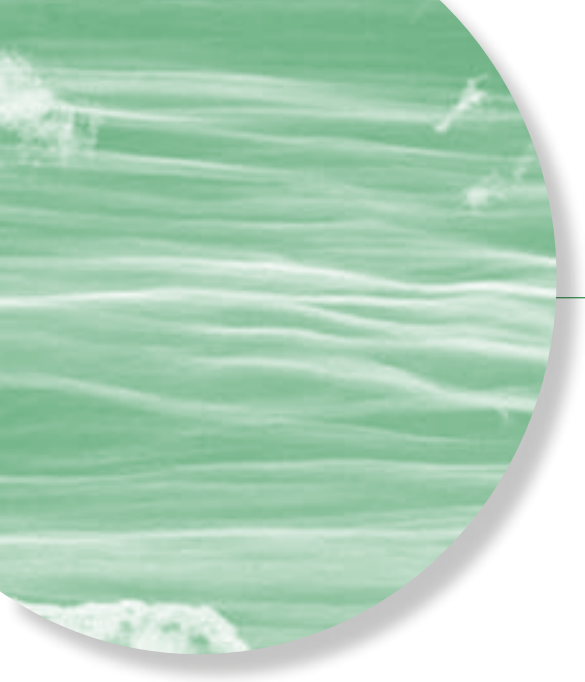
Los científicos esperan detectar la recuperación de la capa de ozono a través de precisas mediciones del ozono en la atmósfera y modelos mundiales de las cantidades de ozono. Los cambios en el ozono total en distintos lugares y en la extensión y gravedad del "agujero de ozono" antártico serán factores importantes en la determinación de la recuperación del ozono. Las variaciones naturales en las cantidades de ozono demorarán la detección de la recuperación en futuras mediciones del ozono.

➤ **¿Cuándo se espera que la capa de ozono esté recuperada?**

Suponiendo que no haya un cumplimiento generalizado del Protocolo de Montreal, se espera que la capa de ozono esté recuperada a mediados del Siglo XXI. La recuperación ocurrirá cuando los gases que contienen cloro y bromo, y son la causa del agotamiento del ozono, disminuyan en las próximas décadas gracias al cumplimiento de las disposiciones del Protocolo. De todas maneras, la influencia de los cambios en el clima y en otros parámetros atmosféricos podrían acelerar o demorar la recuperación del ozono y las erupciones volcánicas en las próximas décadas podrían reducir en forma temporaria y durante varios años las cantidades de ozono.



NOTES



NOTES