



# Extracto del informe del grupo de evaluación científica\* Veinte preguntas y respuestas sobre la capa de ozono: actualización de 2010

## 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 ¿Cómo se distribuye el ozono total en 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 ¿Qué emisiones derivadas de actividades humanas provocan el agotamiento del ozono?
- P8 ¿Cuáles son los gases halógenos reactivos que destruyen el ozono estratosférico?
- P9 ¿Cuáles son las reacciones del cloro y el 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 ¿Cuán grave es el agotamiento de la capa de ozono en la Antártida?
- P12 ¿Hay agotamiento de la capa de ozono en el Ártico?
- P13 ¿Cuál es la magnitud del agotamiento de la capa de ozono mundial?
- P14 ¿Los cambios en el sol y las erupciones volcánicas afectan a la capa de ozono?

- **Control de los gases que agotan el ozono**

- P15 ¿Existen reglamentaciones relativas a la producción de gases que agotan el ozono?
- P16 ¿Ha resultado útil el Protocolo de Montreal para reducir 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 en la superficie de la Tierra?
- P18 ¿El agotamiento de la capa de ozono es la principal causa del cambio climático?
- P19 ¿La reducción de las sustancias que agotan el ozono llevada a cabo en cumplimiento del Protocolo de Montreal ha contribuido también a proteger el clima del planeta?

- **El futuro del ozono estratosférico**

- P20 ¿Qué cambios se prevén en la capa de ozono en las próximas décadas?

\*La versión completa de este documento se encuentra en: [http://ozone.unep.org/Assessment\\_Panels/SAP/Scientific\\_Assessment\\_2010/SAP-2010-FAQs-update.pdf](http://ozone.unep.org/Assessment_Panels/SAP/Scientific_Assessment_2010/SAP-2010-FAQs-update.pdf)



## El ozono en nuestra atmósfera

### P1. ¿Qué es el ozono y dónde está en la atmósfera?

El ozono es un gas que está presente en la atmósfera de forma natural. Cada molécula de ozono contiene tres átomos de oxígeno y su fórmula química es  $O_3$ . El ozono se encuentra principalmente en dos zonas de la atmósfera. Cerca del 10% del ozono atmosférico está en la troposfera, la zona más cercana a la Tierra (desde la superficie hasta unos 10 a 16 km (6 a 10 millas)). El resto del ozono (en torno al 90%) se encuentra en la estratosfera, que se extiende desde la parte superior de la troposfera hasta unos 50 km (31 millas) de altura. Esta concentración de ozono en la estratosfera es lo que se denomina comúnmente "capa de ozono".

### P2. ¿Cómo se forma el ozono en la atmósfera?

El ozono se forma en toda la atmósfera mediante procesos químicos que tienen varias etapas y en los que actúa la luz del sol. 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 intervienen gases que se generan de forma natural y gases procedentes de fuentes de contaminación.

### P3. ¿Por qué nos preocupamos por el ozono atmosférico?

El ozono en la estratosfera absorbe una gran parte de la radiación ultravioleta del sol biológicamente nociva. Debido a esa función benéfica, el ozono estratosférico es considerado ozono "bueno". Por el contrario, el ozono que se forma en la superficie de la Tierra por encima de las cantidades naturales se considera "malo", pues perjudica a los seres humanos, las plantas y los animales. El ozono natural próximo a la superficie terrestre y en la parte inferior de la atmósfera desempeña un papel beneficioso importante en la eliminación química de contaminantes de la atmósfera.

### P4. ¿Cómo se distribuye el ozono total en el planeta?

La distribución del ozono total sobre la Tierra varía en función del lugar, y los cambios pueden ser desde diarios hasta estacionales. Las variaciones son causadas por movimientos a gran escala de aire estratosférico y por la producción y destrucción química del ozono. Por lo general, la cantidad más pequeña de ozono total se registra en el ecuador y la mayor, en las regiones polares.

### P5. ¿Cómo se mide el ozono en la atmósfera?

La cantidad de ozono en la atmósfera se mide con instrumentos en el suelo o llevados a bordo de globos, aeronaves y satélites. Algunos instrumentos miden el ozono a nivel local absorbiendo de manera constante muestras de aire dentro de una pequeña cámara de detección. Otros instrumentos de gran alcance miden el ozono a distancia basándose en las propiedades únicas de emisión o absorción óptica del ozono.

## El proceso de agotamiento del ozono

### P6. ¿Cuáles son las principales etapas del agotamiento del ozono estratosférico causado por actividades humanas?

La etapa inicial del agotamiento del ozono estratosférico causado por actividades humanas es la emisión, en la superficie de la Tierra, de gases que contienen cloro y bromo. Esos gases se acumulan en su mayor parte en la atmósfera baja, ya que no reaccionan y no se disuelven con facilidad en la lluvia o la nieve. El movimiento natural del aire los desplaza a la estratosfera, donde se convierten en gases más reactivos. Algunos de esos gases participan entonces 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.

### P7. ¿Qué emisiones derivadas de actividades humanas provocan el agotamiento del ozono?

Algunos procesos industriales y productos de consumo generan emisiones atmosféricas de sustancias que agotan el ozono. Las sustancias que agotan el ozono son gases manufacturados fuentes de halógenos y están reguladas a nivel mundial por el Protocolo de Montreal. Esos gases transportan átomos de cloro y bromo a la estratosfera, donde destruyen el ozono en reacciones químicas. Cabe destacar como ejemplos los clorofluorocarbonos (CFC), antes utilizados en casi todos los sistemas de refrigeración y aire acondicionado, y los "halones", que se usaban en los extintores. Para conocer la cantidad de sustancias que agotan el ozono presente en la atmósfera se hacen mediciones de muestras de aire.

### P8. ¿Cuáles son los gases halógenos reactivos que destruyen el ozono estratosférico?

Algunas emisiones de actividades humanas y procesos naturales constituyen grandes fuentes de gases que contienen cloro y bromo y van a parar a la estratosfera. Cuando se exponen a la radiación ultravioleta del sol, esos gases fuentes de halógenos se convierten en gases más reactivos con cloro y bromo. Algunos gases reactivos actúan como depósitos químicos que se transforman en gases muy reactivos, en concreto, en monóxido de cloro (ClO) y monóxido de bromo (BrO), los cuales participan en ciclos de reacción "catalíticos" que destruyen muy fácilmente el ozono. La mayoría de los volcanes emite algunos gases halógenos reactivos, pero estos se disuelven rápidamente con las precipitaciones y en general son eliminados de la atmósfera antes de que puedan llegar a la estratosfera.



### P9. ¿Cuáles son las reacciones del cloro y el 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 consecuencia de ello, un solo átomo de cloro o de bromo puede destruir muchos miles de moléculas de ozono antes de abandonar la estratosfera. Así pues, una pequeña cantidad de cloro o bromo reactivo tiene un gran impacto en la capa de ozono. En las regiones polares se produce una situación especial a finales del invierno y comienzos de la primavera, porque el gran aumento de la cantidad de monóxido de cloro, un gas muy reactivo, provoca una importante destrucción del ozono.

### P10. ¿Por qué ha aparecido el "agujero de ozono" por encima de la Antártida, si los gases que agotan el ozono están presentes en toda la estratosfera?

Las sustancias que agotan el ozono están presentes en toda la capa de ozono estratosférica porque son transportadas a grandes distancias por los movimientos de aire atmosférico. La importante disminución de la capa de ozono de la Antártida, conocida como el "agujero del ozono", se debe a condiciones atmosféricas y químicas especiales que se dan únicamente en esa parte del planeta. Las temperaturas sumamente bajas que se registran en invierno en la estratosfera de la Antártida dan lugar a la formación de nubes estratosféricas polares. Las reacciones especiales que se producen en esas nubes, unidas al relativo aislamiento del aire polar estratosférico, hacen que las reacciones de cloro y bromo produzcan el agujero de ozono en la primavera antártica.

## Agotamiento del ozono estratosférico

### P11. ¿Cuán grave es el agotamiento de la capa de ozono en la Antártida?

El grave agotamiento de la capa de ozono antártica fue notificado por primera vez a mediados de la década de 1980. La disminución del ozono antártico es estacional y se produce sobre todo a finales del invierno y comienzos de la primavera (agosto a noviembre). El agotamiento del ozono registra su nivel máximo a principios de octubre, cuando el ozono se suele destruir por completo a diferentes alturas, con lo que el ozono total disminuye hasta en dos terceras partes en algunos lugares. Esa grave disminución crea el "agujero del ozono" que se observa en las imágenes del ozono total antártico tomadas por satélite. Casi todos los años el área máxima del agujero del ozono supera con creces el tamaño del continente Antártico.

### P12. ¿Hay agotamiento de la capa de ozono en el Ártico?

Sí. Actualmente se produce casi todos los años una importante disminución de la capa de ozono en el Ártico a finales del invierno y comienzos de la primavera (enero a abril). Sin embargo, el nivel máximo de agotamiento es menor que el registrado en la Antártida y varía más de un año a otro. En el Ártico no se produce un "agujero del ozono" tan grande ni de forma recurrente como en la estratosfera de la Antártida.

### P13. ¿Cuál es la magnitud del agotamiento de la capa de ozono mundial?

El agotamiento de la capa de ozono mundial comenzó gradualmente en la década de 1980 y llegó a un nivel máximo de cerca de un 5% a comienzos de la de 1990. Desde entonces ha disminuido, y actualmente se sitúa en torno a un 3,5% en todo el planeta. La disminución media supera las variaciones interanuales naturales del ozono total a nivel mundial. La pérdida de ozono es muy pequeña cerca del ecuador y aumenta con la latitud hacia los polos. El hecho de que el agotamiento sea mayor en los polos se debe a la destrucción del ozono que tiene lugar a finales del invierno y comienzos de la primavera todos los años.

### P14. ¿Los cambios en el sol y las erupciones volcánicas afectan a la capa de ozono?

Sí. Las variaciones en la radiación solar y la formación de partículas estratosféricas después de erupciones volcánicas son factores que influyen en la capa de ozono. No obstante, ninguno de ellos puede explicar la disminución global media observada en el ozono total en las tres últimas décadas. Si se produjeran grandes erupciones volcánicas en las próximas décadas, el agotamiento del ozono aumentaría después durante varios años.

## Control de los gases que agotan la capa de ozono

### P15. ¿Existen reglamentaciones relativas a la producción de gases que agotan el ozono?

Sí, la producción y el consumo de sustancias que agotan el ozono están regulados por el acuerdo internacional de 1987 conocido como "Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono" y sus subsiguientes enmiendas y ajustes. En el Protocolo, ya ratificado por los 197 Estados Miembros de las Naciones Unidas, se establecen disposiciones jurídicamente vinculantes sobre la producción y el consumo nacionales de sustancias que agotan el ozono. La producción y el consumo de las principales sustancias que agotan el ozono en los países desarrollados y en desarrollo se irán reduciendo paulatinamente y se habrán eliminado casi por completo de aquí a mediados del siglo XXI.

### P16. ¿El Protocolo de Montreal ha permitido reducir los gases que agotan el ozono en la atmósfera?

Sí. Como resultado de la adopción del Protocolo de Montreal, la cantidad global de sustancias que agotan el ozono en la atmósfera viene disminuyendo desde hace unos diez años. Si las naciones del mundo continúan cumpliendo las disposiciones del Protocolo, esa disminución proseguirá a lo largo del siglo XXI. La presencia de algunos gases, como el halón 1301 y el



HCFC-22, continúa aumentando en la atmósfera, pero empezará a disminuir en las próximas décadas si se sigue respetando el Protocolo. Hasta después de mediados de siglo la cantidad de sustancias que agotan el ozono no volverá a registrar los valores previos a la observación del agujero de ozono antártico a comienzos de la década de 1980.

## Efectos del agotamiento del ozono

### P17. ¿El agotamiento de la capa de ozono aumenta la radiación ultravioleta en la superficie de la Tierra?

Sí, la radiación ultravioleta que llega a la superficie de la Tierra crece cuando la cantidad de ozono total disminuye, ya que el ozono absorbe la radiación ultravioleta del sol. Las mediciones hechas por instrumentos desde la superficie terrestre y las estimaciones a partir de los datos de los satélites demuestran que la radiación ultravioleta a nivel del suelo ha aumentado en extensas zonas geográficas en respuesta al agotamiento del ozono.

### P18. ¿El agotamiento de la capa de ozono es la principal causa del cambio climático?

No, el agotamiento del ozono no es de por sí la principal causa del cambio climático. Ahora bien, los cambios en el ozono y en el clima están directamente relacionados, ya que el ozono absorbe la radiación solar y es también un gas de efecto invernadero. El agotamiento del ozono estratosférico y el aumento del ozono troposférico a nivel mundial registrados en las últimas décadas contribuyen de forma opuesta al cambio climático. El agotamiento del ozono, aunque da lugar al enfriamiento de la superficie, contribuye en pequeña medida al cambio en comparación con los demás gases de efecto invernadero, que provocan el calentamiento de la superficie. El forzamiento total causado por esos otros gases de efecto invernadero es la principal causa del cambio climático observado y previsto. El agotamiento del ozono y el cambio climático están indirectamente relacionados porque tanto las sustancias que agotan el ozono como sus sustitutos son gases de efecto invernadero.

### P19. ¿La reducción de las sustancias que agotan el ozono llevada a cabo en cumplimiento del Protocolo de Montreal ha contribuido también a proteger el clima del planeta?

Sí. Todas las sustancias que agotan el ozono son también gases de efecto invernadero que contribuyen al forzamiento del clima cuando se acumulan en la atmósfera. En las dos últimas décadas, las medidas de control establecidas en el Protocolo de Montreal han hecho que disminuyan considerablemente las emisiones de sustancias que agotan el ozono, lo cual ha tenido el doble efecto positivo de reducir la contribución humana al cambio climático y proteger la capa de ozono. Sin las medidas de control del Protocolo de Montreal, la contribución del forzamiento del clima debido a las emisiones anuales de sustancias que agotan el ozono podría ser diez veces mayor de lo que es actualmente, lo que representaría una proporción importante del forzamiento climático debido a las actuales emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

## El futuro del ozono estratosférico

### P20. ¿Qué cambios se prevén en la capa de ozono en las próximas décadas?

Suponiendo que se respete el Protocolo de Montreal a nivel mundial, está previsto que hacia mediados del siglo XXI la capa de ozono se haya recuperado considerablemente de los efectos de las sustancias que agotan el ozono. La recuperación se producirá gracias a la disminución de esas sustancias y de los gases halógenos reactivos en las próximas décadas. Además de estar condicionadas por las sustancias que agotan el ozono, en el futuro las cantidades de ozono se verán cada vez más influidas por los cambios previstos en el clima. Los cambios resultantes en el ozono estratosférico dependerán en buena medida de la región geográfica. Durante el largo periodo de recuperación, podrían producirse grandes erupciones volcánicas que reducirían temporalmente las cantidades mundiales de ozono durante varios años.

