

El presente trabajo ha sido elaborado por la Oficina Programa Ozono, de la Dirección Nacional de Gestión Ambiental de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, con el fin de divulgar los aspectos más importantes relacionados con el agotamiento de la capa de ozono.

No se intenta describir ni abarcar la totalidad de la fenomenología del Agujero de la Capa de Ozono, razón por la cual no se encontrará un desarrollo exhaustivo de la físico química del proceso, ni tampoco los aspectos de la salud humana y animal, así como los todos los efectos sobre el medio ambiente.

Se lleva a cabo, a efectos de que el público en general, sea capaz de comprender los aspectos globales del fenómeno.

Se ha tomado para su ejecución material de divulgación general, publicado en Internet por la Secretaría del Ozono, el Servicio Meteorológico Nacional de Argentina, la Organización Meteorológica Mundial, la Universidad de Cambridge, NASA y la Oficina Programa Ozono.

## **Preguntas Frecuentes sobre la Capa De Ozono**

|                                                                                                                                                                                                                    |         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 1. ¿Qué es el ozono y dónde está en la atmósfera?                                                                                                                                                                  | Pag. 1  |
| 2. ¿Cómo se forma el ozono en la atmósfera?                                                                                                                                                                        | Pag. 3  |
| 3. ¿Porqué nos preocupamos por el ozono atmosférico?                                                                                                                                                               | Pag. 4  |
| 4. ¿Está el ozono distribuido uniformemente sobre el globo terráqueo?                                                                                                                                              | Pag. 7  |
| 5. ¿Cómo se mide el ozono en la atmósfera?                                                                                                                                                                         | Pag. 8  |
| 6. ¿Cuáles son las principales emisiones de las actividades humanas que disminuyen el ozono?                                                                                                                       | Pag. 8  |
| 7. ¿Cuáles son las principales etapas de la disminución del ozono estratosférico, causada por actividades humanas?                                                                                                 | Pag. 11 |
| 8. ¿Cuáles son los gases halógenos reactivos que destruyen el ozono estratosférico?                                                                                                                                | Pag. 11 |
| 9. ¿Cuáles son las reacciones del cloro y bromo que destruyen el ozono estratosférico?                                                                                                                             | Pag. 12 |
| 10. ¿Porqué ha aparecido el "agujero del ozono" por encima de la Antártida, si los gases que agotan el ozono están presentes en toda la estratosfera y su liberación ocurre principalmente en el hemisferio norte? | Pag. 13 |
| 11. ¿Cuál es la gravedad del agotamiento de la capa de ozono en la Antártida?                                                                                                                                      | Pag. 17 |
| 12. ¿Hay agotamiento de la capa de ozono en el Artico?                                                                                                                                                             | Pag. 18 |
| 13. ¿Qué tan grande es el agotamiento de la capa de ozono global?                                                                                                                                                  | Pag. 20 |
| 14. ¿Los cambios en el sol y las erupciones volcánicas afectan la capa de ozono?                                                                                                                                   | Pag. 21 |
| 15. ¿Hay regulaciones para la producción de gases que agotan el ozono?                                                                                                                                             | Pag. 22 |
| 16. ¿Cómo se están eliminando gradualmente las sustancias que agotan el ozono?                                                                                                                                     | Pag. 27 |

|                                                                                                          |         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 17. ¿Ha sido exitoso el Protocolo de Montreal en reducir los gases que reducen el ozono en la atmósfera? | Pag. 28 |
| 18. ¿El agotamiento de la capa de ozono incrementa la radiación ultravioleta que llega a la tierra?      | Pag. 30 |
| 19. ¿ El agotamiento de la capa de ozono es el principal motivo del cambio climático?                    | Pag. 32 |
| 20. ¿Cómo se detectará la recuperación de la capa de ozono?                                              | Pag. 34 |
| 21. ¿Cuándo se espera que la capa de ozono esté recuperada?                                              | Pag. 35 |
| 22. ¿Cuál ha sido la contribución de los países en desarrollo al agotamiento del ozono?                  | Pag. 36 |
| 23. ¿Qué se ha hecho en nuestro país?                                                                    | Pag. 37 |

## **El principio...**

Los científicos empezaron a preocuparse por este tema en 1970, año en el que el profesor Paul Crutzen señaló la posibilidad de que los óxidos de nitrógeno emanados por los fertilizantes y despedidos por las aeronaves supersónicas agotaran la capa de ozono.

En 1974, los profesores F. Sherwood Rowland y Mario J. Molina reconocieron que, cuando los CFC finalmente se desintegran en la atmósfera y liberan átomos de cloro, causan el agotamiento del ozono. Los átomos de bromo liberados por los halones tienen el mismo efecto. Los tres científicos recibieron el Premio Nobel de Química en 1995 por su labor de vanguardia.

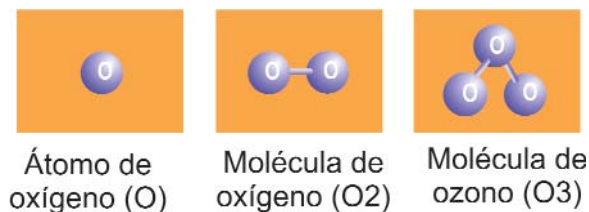
Personal del British Antarctic Survey efectuó las primeras mediciones del agujero en 1985, la caída en los niveles de ozono fue tan grande que los científicos pensaron que los instrumentos estaban descompuestos. Los instrumentos se reemplazaron y no fue hasta varios meses después que el adelgazamiento de la capa de ozono se aceptó como un hecho genuino.

Además, el satélite TOMS (espectrógrafo cartográfico del ozono total) no mostraba esa gigantesca pérdida de ozono porque el "software" de procesamiento de datos estaba programado para descartar los valores muy bajos de ozono, por considerarlos errores de medición. Análisis posteriores de los datos crudos del satélite al publicarse los resultados británicos, confirmaron esos valores y pudo mostrarse esa pérdida súbita y a gran escala sobre el continente antártico.

### **1. ¿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 3 átomos de oxígeno y se representa químicamente como O<sub>3</sub>. El ozono se encuentra principalmente en 2 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 10 -16 km). El ozono restante (90%) reside en la alta atmósfera o estratosfera, principalmente 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".*

El ozono es un gas de color azul y tiene olor fuerte. Este gas venenoso es sumamente raro en la atmósfera y es mucho menos común que el oxígeno normal que respiramos, ya que de cada 10 millones de moléculas de aire, alrededor de 2 millones son de oxígeno normal y sólo 3 moléculas son de ozono.

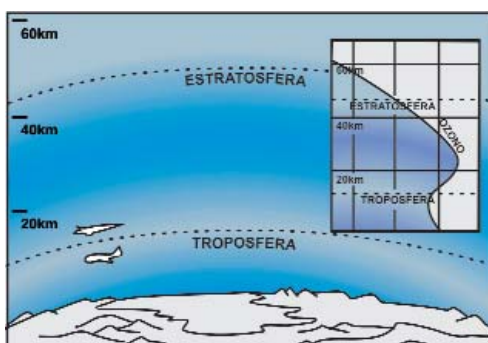


Sin embargo, esa pequeña cantidad de ozono juega un papel clave en la atmósfera. La capa de ozono absorbe una porción de la radiación del sol, evitando que llegue a la superficie del planeta. Más importante aún, absorbe la porción de luz ultravioleta beta (UVB), que ha sido relacionada con muchos efectos nocivos, incluyendo varios tipos de cáncer de piel, cataratas oculares y daños a ciertos cultivos, algunos materiales y ciertas formas de vida marina.

La atmósfera de la Tierra se compone de varias capas. La región más baja, la **troposfera**, se extiende desde la superficie de la Tierra hasta unos 10 Km. de altura. Prácticamente, todas las actividades humanas ocurren en la troposfera y es donde ocurren la mayoría de los fenómenos meteorológicos como lluvia, nubes, nieve, etc.. El Monte Everest, la montaña más alta del planeta alcanza una altura inferior a los 9 Km. de altura. Por encima se encuentra la estratosfera, una región muy importante continua desde los 10 y hasta los 50 Km., donde se originan fenómenos como el agujero de ozono y el calentamiento global. La mayor parte del tráfico de las aerolíneas comerciales sucede en la parte más baja de la estratosfera. Los aviones supersónicos vuelan en la baja estratosfera, mientras que los aviones comerciales subsónicos lo hacen comúnmente en la troposfera. Una delgada región que limita esas dos capas recibe el nombre de **tropopausa**.

El ozono se encuentra primariamente en 2 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 10 - 16 Km.). El ozono terrestre, en la parte inferior de la troposfera, es un contaminante perjudicial derivado de los escapes de los automóviles y de otras fuentes. El ozono restante (90%) reside en la alta atmósfera o estratosfera, entre 10 y 50 km

sobre la Tierra. Esta concentración de ozono en la estratosfera se denomina comúnmente la **"capa de ozono"**.



Cerca de la superficie de la Tierra (la troposfera), el ozono es un contaminante que causa muchos problemas; forma parte del smog fotoquímico y de la mezcla de contaminantes que se conoce como la lluvia ácida. Pero en la seguridad de la estratosfera, este gas es tan importante para la vida, como el propio oxígeno.

El ozono forma un frágil escudo, en apariencia inmaterial pero muy eficaz. Está tan esparcido por los 35 km. de espesor de la estratosfera que, si se lo comprimiera, formaría una capa en torno a la Tierra, no más gruesa que medio centímetro. La concentración del ozono estratosférico varía con la altura, pero nunca es mayor de una cienmilésima de la atmósfera en que se encuentra.

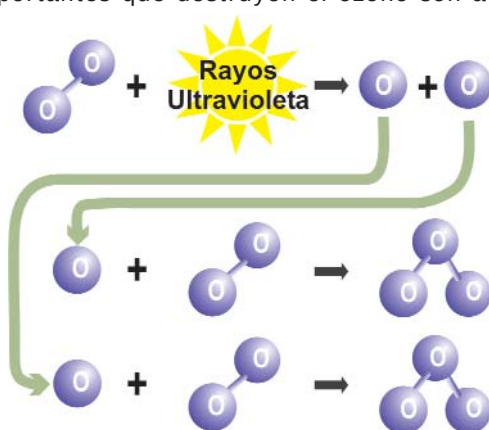
## 2. ¿Cómo se forma el ozono en la atmósfera?

*El ozono se forma naturalmente en la atmósfera por acción de la radiación solar sobre las moléculas de oxígeno, mediante un proceso llamado fotólisis. El proceso comienza en la estratosfera con la ruptura de una molécula de oxígeno (O<sub>2</sub>) por la radiación ultravioleta del sol. En la baja atmósfera (troposfera), el ozono se forma mediante una serie de reacciones químicas diferentes, que involucran hidrocarburos y gases que contienen nitrógeno.*

Por medio de procesos atmosféricos naturales, las moléculas de ozono se crean y se destruyen continuamente. El ozono es un gas inestable y es muy vulnerable a ser destruido por los compuestos naturales, que contienen nitrógeno, hidrógeno y cloro.

En la estratosfera, el proceso comienza con la ruptura de una molécula de oxígeno (O<sub>2</sub>) por la radiación ultravioleta del sol, en dos átomos de oxígeno (O). El oxígeno atómico rápidamente se combina con otras moléculas de oxígeno para formar ozono. Esta reacción ocurre continuamente en la presencia de radiación ultravioleta. Como resultado, la máxima producción de ozono ocurre en la estratosfera.

La producción de ozono estratosférico está balanceada por su destrucción en reacciones químicas. El ozono reacciona continuamente en la estratosfera con una amplia variedad de sustancias químicas naturales y producidas por el hombre. En cada reacción, se pierde una molécula de ozono y se producen otros compuestos químicos. Los gases reactivos importantes que destruyen el ozono son aquellos que contienen cloro y bromo. El ozono



global ha disminuido en las últimas décadas debido a que las cantidades de gases reactivos que contienen cloro y bromo han aumentado en la estratosfera.

En la baja atmósfera (troposfera), el ozono se forma a través de diferentes reacciones químicas que involucran gases que ocurren naturalmente y otros provenientes de fuentes de contaminación. Las reacciones de producción involucran hidrocarburos y gases que contienen nitrógeno y requieren luz solar. La producción de ozono superficial no contribuye significativamente al

ozono estratosférico. De la misma forma que en la estratosfera, la destrucción de ozono involucra reacciones químicas que ocurren naturalmente y otras que involucran sustancias químicas producidas por el hombre.

Las abundancias de ozono en la estratosfera y troposfera están determinadas por el balance entre los procesos químicos que producen y destruyen el ozono. El balance de estas reacciones combinado con los movimientos del aire atmosférico, determinan la distribución global de ozono en escalas de tiempo de días a varios meses.

### **3. ¿Porqué nos preocupamos por el ozono atmosférico?**

*El ozono en la estratosfera absorbe parte de la radiación ultravioleta del sol biológicamente dañina. Por ese rol beneficioso, el ozono estratosférico es considerado "ozono bueno". En contraste, el ozono de la superficie de la tierra que se forma por acción de los contaminantes es considerado "ozono malo", dado que puede ser dañino para la vida de los seres humanos, de las plantas y los animales. Parte del ozono se genera naturalmente en la baja atmósfera, en donde es beneficioso porque el ozono ayuda a eliminar contaminantes de la atmósfera.*

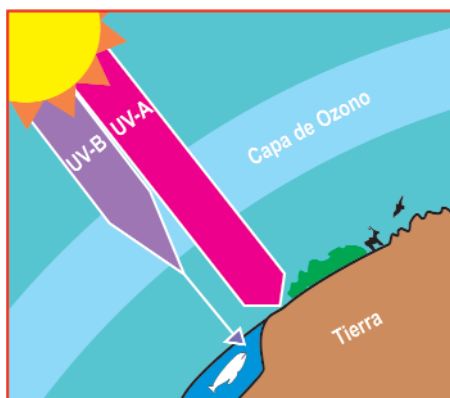
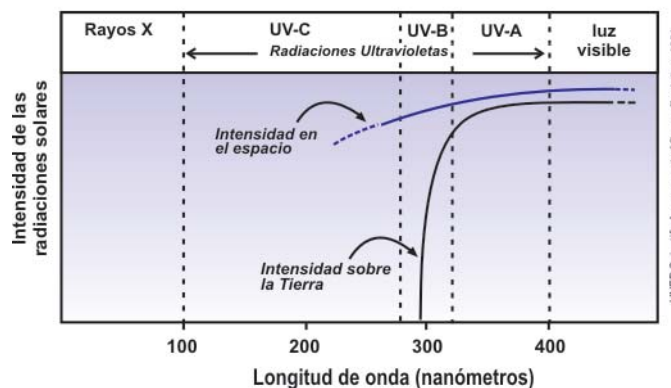
Todas las moléculas de ozono son químicamente idénticas, cada una conteniendo 3 átomos de oxígeno. Sin embargo, el ozono en la estratosfera tiene consecuencias ambientales muy diferentes para los seres humanos y otras formas de vida que el ozono troposférico cercano a la superficie terrestre.

El ozono estratosférico es considerado "bueno" para los seres humanos y otras formas de vida, porque absorbe la radiación ultravioleta (UV-B) del sol. Cualquier aumento de la radiación UV-B que llegue hasta la superficie de la Tierra puede provocar daños al medio ambiente y a la vida terrestre.

La capa de ozono es importante porque absorbe las radiaciones ultravioletas (UV) del Sol, impidiendo que la mayor parte llegue a la superficie terrestre. El efecto inmediato que provoca la disminución del ozono estratosférico, en la región sobre la que se produce, es el aumento de la radiación UV-B que llega a la superficie de la tierra.

Las radiaciones del espectro UV tienen longitudes de onda mucho más breves que las de la luz visible. Las radiaciones UV con longitudes de onda de 280 a 315 nanómetros (un nanómetro representa un millonésimo de milímetro) se denominan UV-B, y son nocivas para casi todas las formas de vida. Al absorber la mayor parte de las radiaciones UV-B antes de que alcancen la superficie de la Tierra, la capa de ozono protege al planeta de los efectos perniciosos de las radiaciones. El ozono estratosférico también influye en la distribución térmica de la atmósfera, desempeñando así una función reguladora del clima terrestre.

### La capa de ozono es el filtro solar de la Tierra



Cuanto menor es la longitud de la onda de la luz ultravioleta, más daño pueda causar a la vida, pero también es más fácilmente absorbida por la capa de ozono. La radiación ultravioleta de menor longitud, conocida como UVC, es letal para todas las formas de vida y es bloqueada casi por completo. La radiación UVA, de mayor longitud, es relativamente inofensiva y pasa casi en su totalidad a través de la capa. Entre ambas está la UVB, menos letal que la UVC, pero peligrosa que es absorbida en su mayor parte por la capa de ozono.

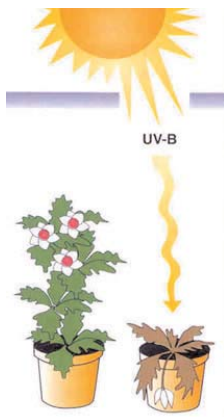
Uno de los efectos más evidentes de la radiación UV-B sobre el hombre es la quemadura del sol, conocida bajo la denominación técnica de eritema. Las personas de piel oscura están protegidas de la mayoría de estos efectos, por el pigmento de sus células cutáneas. Los rayos UV-B también pueden dañar el material genético de dichas células y causar cáncer. Para las personas de piel clara, la exposición a lo largo de la vida, a elevados niveles de UV-B, aumenta el peligro de cáncer cutáneo sin melanoma. Los investigadores han sugerido que este tipo de cáncer podría aumentar en un 2%, cada vez que disminuye el ozono estratosférico en un 1%. Existen indicaciones de que una mayor exposición a las UV-B, en especial durante la infancia, puede agravar el riesgo de desarrollar cánceres cutáneos con melanoma, más peligrosos.

En los seres humanos, la exposición a radiaciones UV-B inusuales puede causar una ceguera similar a la que causa el reflejo de la nieve - queratitis actínica-, una dolorosa inflamación aguda de la córnea. La exposición crónica también puede dañar al ojo. Niveles más altos de UV-B podrían provocar cataratas-un empañamiento del cristalino que dificulta la



visión-en un mayor número de personas. Las cataratas son una de las principales causas de la ceguera.

La exposición a los rayos UV-B puede suprimir las respuestas inmunológicas de los seres humanos y los animales. Por consiguiente, un aumento de estas radiaciones reduciría la resistencia humana a una serie de enfermedades, entre ellas los cánceres, las alergias y algunas enfermedades infecciosas. En las zonas del mundo en las que las enfermedades infecciosas constituyen un grave problema, el estrés adicional derivado de una mayor radiación UV-B podría tener repercusiones significativas. Esto se aplica especialmente a enfermedades como la leishmaniasis, la malaria y el herpes, contra las cuales la principal defensa del cuerpo se halla en la piel. La exposición a las UV-B también puede afectar a la capacidad del cuerpo para responder a las vacunaciones contra enfermedades. Los efectos de las UV-B sobre el sistema inmunitario no dependen del color de la piel. Las personas de piel oscura corren el mismo peligro que las de piel clara.



Muchas especies y variedades de plantas son sensibles a las UV-B, aun en sus niveles actuales. Una mayor exposición podría tener efectos directos e indirectos complejos, tanto sobre los cultivos como sobre los ecosistemas naturales. Los experimentos han demostrado que cuando cultivos como el arroz y la soja están más expuestos a los rayos UV-B, las plantas son más pequeñas y el rendimiento más bajo. El aumento de la radiación UV-B podría alterar químicamente las plantas agrícolas, reduciendo su valor nutritivo o aumentando su toxicidad.

Las consecuencias para los ecosistemas naturales si bien son difíciles de predecir, podrían ser considerables. Las radiaciones UV-B tienen una serie de efectos indirectos sobre las plantas, tales como la alteración de su forma, la distribución de la biomasa en las distintas partes de la planta y la producción de sustancias químicas que impiden el ataque de los insectos. El aumento de la radiación UV-B podría, por lo tanto, provocar efectos a nivel del ecosistema, como cambios en el equilibrio competitivo entre las plantas, los animales que las comen y los agentes patógenos y las plagas de las plantas.

En los ríos y mares afecta la vida submarina, provocando daños hasta 20 metros de profundidad en aguas claras. Es muy perjudicial para organismos pequeños, al igual que para las plantas acuáticas. Puesto que todos estos organismos forman parte de la cadena alimenticia marina, su disminución puede ocasionar asimismo una reducción en el número de peces.

La absorción de radiación UV-B por el ozono es una fuente de calor en la estratosfera. Esto ayuda a mantener a la estratosfera como una región estable de la atmósfera con temperaturas que aumentan con la altitud. Como resultado, el ozono juega un rol fundamental en el control de la temperatura en la atmósfera terrestre.

El ozono producido por contaminantes es "malo", porque una mayor cantidad de ozono entra en contacto con los seres humanos, las plantas y animales. El aumento de la contaminación del aire en las últimas décadas ha ocultado cualquier incremento de la radiación, pero esta salvaguardia podría desaparecer si los esfuerzos para limpiar la atmósfera tienen éxito.

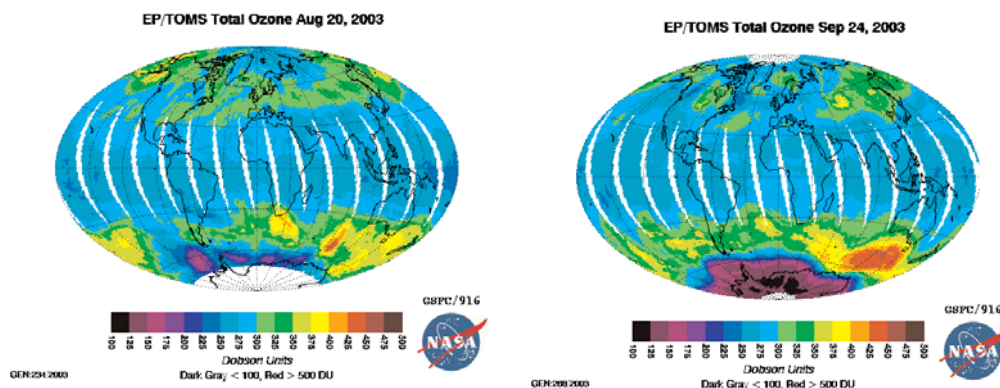
#### 4. ¿Está el ozono distribuido uniformemente sobre el globo terráqueo?

*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 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 los patrones estacionales de vientos en la estratosfera.*

La cantidad de ozono atmosférico total, por encima de un punto en la superficie terrestre, se mide en unidades Dobson. Los valores típicos varían entre 200 y 500 UD. Un valor de 500 UD, por ejemplo, es equivalente a una capa de ozono puro sobre la superficie terrestre de un espesor de tan sólo 0,5 centímetros.

El ozono total varía con la latitud, longitud y estación, con los mayores valores presentes en las latitudes altas y los menores valores en las regiones tropicales. Esto se debe a que los vientos que hacen circular el aire en la estratosfera, movilizan el aire tropical rico en ozono hacia los polos en el otoño e invierno. Los valores mínimos de ozono total (excepto en la Antártida en primavera) ocurren en los trópicos en todas las estaciones, en parte debido a que el espesor de la capa de ozono es menor en los trópicos. Su valor es de aproximadamente 260 UD cerca de los trópicos y mayores en otros lados, con grandes variaciones estacionales.

#### Mapas Satelitales Globales de Ozono Total



Como resultado de la destrucción química de ozono por los gases cloro y bromo, se presentan en las latitudes polares en invierno y primavera regiones de bajo ozono total.

## 5. ¿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 las características únicas de absorción de la luz del ozono en la atmósfera. En ese caso, la luz del sol o de un láser, es medida con precisión después de atravesar una porción de la atmósfera que contenga ozono.*

Se utilizan fundamentalmente estaciones terrenas ubicadas en sitios clave del continente antártico y sus inmediaciones y satélites como el TOMS. Los medios utilizados incluyen:

- ▶ instrumentos capaces de medir la radiación UVB incidente sobre la superficie terrestre y transformar esta medida en columna total de ozono, como el espectrofotómetro Dobson y el Brewer.

- ▶ ozonosondas, es decir, globos meteorológicos que portan una carga útil capaz de registrar los valores de ozono punto a punto. Este procedimiento permite obtener perfiles de la concentración de ozono con la altura.

- ▶ medidas satelitales: El TOMS es un instrumento montado en satélite que se utiliza para obtener una imagen global de los niveles de ozono. Este instrumento registra niveles de ozono a partir de la radiación solar reflejada, específicamente en el rango ultravioleta. Mide bandas de longitudes de onda centradas en 312.5, 317.5, 331.3, 339.9, 360.0 y 380.0 nanómetros. Las cuatro primeras longitudes son absorbidas por el ozono y las dos últimas se toman para tener el valor de reflectividad. Durante el invierno antártico (Mayo - Julio), no hay datos ya que el polo se encuentra en oscuridad.

## 6. ¿Cuáles son las principales emisiones de las actividades humanas que disminuyen el ozono?

*Algunos procesos industriales y productos de consumo generan emisiones atmosféricas de "gases que son fuente de halógenos". Estos gases contienen átomos de cloro y bromo, que son los dañinos a la capa de ozono. Por ejemplo, los clorofluorocarbonos (CFCs) y los hidroclorofluorocarbonos (HCFCs), una vez usados en casi todos los sistemas de refrigeración y aire acondicionado, llegan a la estratosfera donde 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", los cuales se usan en extinguidores de incendio y que contienen átomos de bromo que destruyen el ozono. La producción y consumo de estos gases generados por actividades humanas y que son fuente de halógenos, están reguladas en todo el mundo por el Protocolo de Montreal.*

Los gases que contienen carbono, cloro y flúor se denominan "clorofluorocarbonos" y

usualmente se abrevian como CFC. Los CFC, junto con el tetracloruro de carbono y el metil cloroformo son los gases más importantes emitidos por actividades humanas que contienen cloro y destruyen el ozono estratosférico.

Durante medio siglo, las sustancias químicas más perjudiciales para la capa de ozono fueron consideradas de una utilidad incomparable para la industria y los consumidores e inocuas para los seres humanos y el medio ambiente. Inertes, muy estables, no inflamables



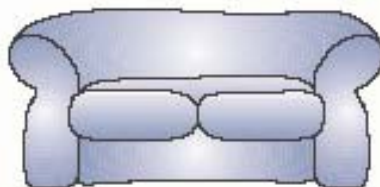
ni venenosos, fáciles de almacenar y baratos de producir, los cloro-fluorocarbonos (CFC) parecían ideales para el mundo moderno. No sorprende, entonces, que su uso se haya generalizado tanto.

Inventados casi por casualidad en 1928, se los usó inicialmente como líquido refrigerante de los refrigeradores. A partir de 1950, fueron usados como gases propulsores en los aerosoles, aunque en la actualidad han sido reemplazados en la mayoría de los usos por otras sustancias propelentes. La revolución informática permitió que se usaran como solventes de gran eficacia, debido a que pueden limpiar los circuitos delicados sin dañar sus bases de plástico.

Y la revolución de la comida al paso los utilizó para dar cohesión al material alveolar de los vasos y recipientes desechables.

En la industria de fabricación de espumas plásticas, los CFC se han utilizado como agentes espumantes tanto para las espumas rígidas (aislantes) como flexibles (estructurales).

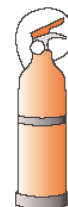
La mayor parte de los CFC producidos en el mundo se utilizan en refrigeradores, congeladores, acondicionadores de aire, aerosoles y plásticos expandibles, que tienen múltiples usos en la construcción, la industria automotriz y la fabricación de envases, muebles, la limpieza y funciones similares.



El tetracloruro de carbono, que se usa como disolvente, para combatir incendios, y para los pesticidas, la limpieza en seco y los fumigantes para cereales, es algo más destructivo que el más dañino de los CFC.

El metilcloroformo muy usado para la limpieza de metales como disolvente, no es tan perjudicial, pero igualmente representa una amenaza, ya que su uso se duplica cada diez años.

Otra categoría de gases fuente de halógenos contienen bromo; los más importantes son los halones y el bromuro de metilo. Los halones se usan principalmente como extintores de incendios, para proteger equipos grandes de computación, equipos militares y aviones comerciales. Debido a estos usos son liberados directa-



mente a la atmósfera. Estos producen un efecto aún más dañino, ya que el bromo puede reaccionar con el ozono entre 10 y 100 veces más que el cloro. Las concentraciones de halones si bien son muy pequeñas se duplican en la atmósfera cada cinco años.

El bromuro de metilo se utiliza como fumigante de cosechas de gran valor, para la lucha contra las plagas y para el tratamiento en cuarentena de productos agrícolas básicos en espera de su exportación. El consumo anual mundial total asciende a unas 70.000 toneladas, en su mayor parte en los países industrializados.

A diferencia de los CFC y los halones, el bromuro de metilo y el metil cloroformo también ocurren en la naturaleza. Las fuentes naturales de estos gases contribuyen alrededor del 27-42% del bromo y el 16% del cloro en la estratosfera.

El tiempo necesario para remover alrededor del 60% del gas de la atmósfera o participar en una reacción de conversión, se denomina "tiempo de vida". Las sustancias químicas más peligrosas tienen una vida muy larga, variando de 1 a 100 años, como se muestra en la siguiente tabla. Esto les da tiempo suficiente para ascender a la estratosfera y permanecer allí, destruyendo el ozono.

| Gas fuente de halógeno  | Tiempo de vida (años) | Potencial de agotamiento de ozono (PAO) |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------------------------|
| <b>Cloro</b>            |                       |                                         |
| CFC 12                  | 100                   | 1                                       |
| CFC 113                 | 85                    | 1                                       |
| CFC 11                  | 45                    | 1                                       |
| Tetracloruro de carbono | 26                    | 0,73                                    |
| HCFC                    | 1-26                  | 0,02-0,12                               |
| Metil cloroformo        | 5                     | 0,12                                    |
| <b>Bromo</b>            |                       |                                         |
| Halon 1301              | 65                    | 12                                      |
| Halon 1211              | 16                    | 6                                       |
| Bromuro de metilo       | 0,7                   | 0,6                                     |

Los gases con menores tiempo de vida (HCFC, bromuro de metilo) son destruidos mayoritariamente en la troposfera, y por lo tanto sólo una fracción de los gases emitidos contribuye a la disminución de ozono en la estratósfera.

Las sustancias que agotan la capa de ozono se comparan en su efectividad para destruir el ozono estratosférico usando el "**Potencial de agotamiento de ozono**". Un gas que tiene un PAO más grande tiene mayor posibilidad de destruir el ozono durante su vida en la atmósfera. El PAO se calcula para cada gas en relación al CFC-11, que tiene un PAO

definido como 1. Los halones tienen un PAO mucho más grande que el de los CFC debido a que el bromo es casi 45 veces más efectivo que el cloro en destruir el ozono.

Otros gases que influyen en el ozono estratosférico y cuya abundancia ha aumentado como consecuencia de las actividades humanas incluyen el gas metano y el óxido nitroso. Los óxidos nitrosos, liberados por los fertilizantes nitrogenados y por la quema de combustibles fósiles, destruyen el ozono y tienen larga vida, pero sólo llegan a la estratosfera en proporciones muy pequeñas.

## **7. ¿Cuáles son las principales etapas de la disminución del ozono estratosférico, causada 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 agotan el ozono conteniendo cloro y bromo. La mayor parte de estos gases se acumula en la baja atmósfera, dado que no reaccionan y no se disuelven en la lluvia o la nieve. Luego son desplazados a la estratosfera donde son convertidos a gases más reactivos que contienen cloro y bromo. Estos gases más reactivos son los que luego participan en las reacciones que destruyen el ozono. Finalmente, cuando el aire retorna a la baja atmósfera, esos gases reactivos con cloro y bromo son removidos por la lluvia y la nieve de la atmósfera terrestre.*

El proceso empieza con la emisión a la atmósfera de gases fuente de halógenos en la superficie terrestre provenientes de actividades humanas, que incluyen gases que contienen cloro y bromo, tales como los clorofluorocarbonos. Estos gases se acumulan en la atmósfera baja (troposfera) debido a que la mayoría de los mismos no reaccionan, y son eventualmente transportados a la estratosfera.

Los gases fuente de halógenos no reaccionan directamente con el ozono sino, que una vez en la estratosfera, son convertidos químicamente a gases halógenos reactivos por la radiación ultravioleta del sol. Estos gases reactivos son los que destruyen el ozono. Luego de varios años, el aire en la estratosfera devuelve estos gases halógenos reactivos a la troposfera, donde son removidos de la atmósfera por la lluvia y la humedad de las nubes, y depositados en la superficie terrestre.

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

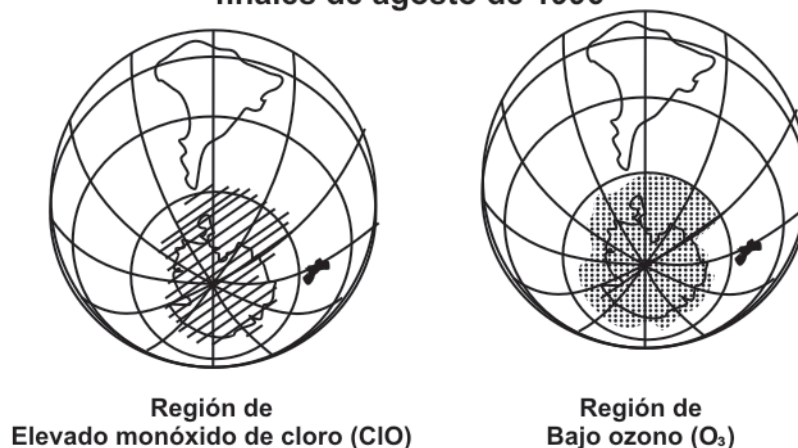
*Hay emisiones de actividades humanas y procesos naturales que son grandes fuentes de gases que contienen cloro y bromo y van a la atmósfera. Cuando son expuestos a la luz ultravioleta del sol, estos gases que son fuente de halógenos, son convertidos a gases más reactivos que también contienen cloro y bromo.*

Las formas más reactivas de gases son el monóxido de cloro (ClO) y el monóxido de bromo (BrO), y los átomos de cloro y bromo. Estos y otros gases reactivos participan en ciclos

de reacciones "catalíticas" que destruyen el ozono eficientemente. Los volcanes pueden emitir algunos gases que contienen cloro, pero estos gases son disueltos rápidamente en el agua de lluvia y hielo, y son normalmente eliminados de la atmósfera antes de que lleguen a la estratosfera.

Los mapas obtenidos por satélite que se muestran en la figura siguiente relacionan la acumulación de monóxido de cloro observada por encima de la Antártida y el subsiguiente agotamiento del ozono que ocurre rápidamente unos pocos días después sobre zonas muy semejantes.

### **Monóxido de cloro y el agujero de ozono de la Antártida: finales de agosto de 1996**



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

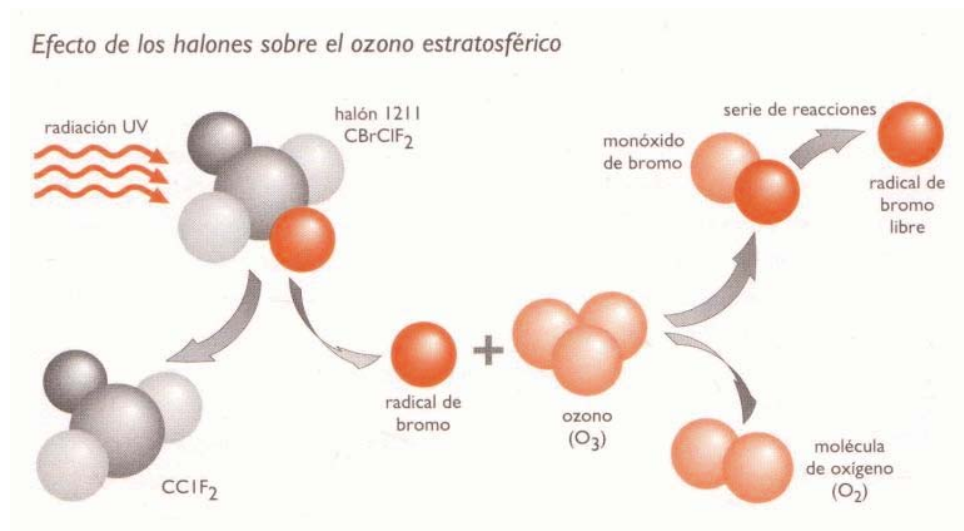
*Los gases reactivos que contienen cloro y bromo destruyen el ozono estratosférico en ciclos "catalíticos" constituidos por 2 o más reacciones separadas. Como resultado, un solo átomo de cloro o bromo puede destruir varios cientos de moléculas de ozono antes de que reaccione con otro gas, rompiendo el 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 monóxido de cloro alcanza altos niveles de concentración durante el invierno y la primavera.*

La estructura estable de las sustancias que agotan el ozono, tan útil en la Tierra, les permite atacar la capa de ozono. Sin cambio alguno, flotan lentamente hasta la estratosfera, donde la intensa radiación UVC rompe sus enlaces químicos. Así se libera el cloro (o bromo), que captura un átomo de la molécula de ozono y lo convierte en oxígeno común. Las moléculas de ozono se descomponen dando oxígeno y monóxido de cloro o bromo (por



combinación de un radical de cloro o bromo con un átomo de oxígeno del ozono), disminuyendo así su concentración. Los radicales de cloro y bromo pueden poner en marcha una reacción destructiva en cadena, perjudicando a otros gases de la estratósfera, incluido el ozono; y dando lugar a otro radical simple de cloro o de bromo, que puede dar lugar a otras 100.000 reacciones similares antes de ser finalmente expulsado de la estratósfera y pasar a la tropósfera.

El cloro (o bromo) actúa como catalizador y provoca esta destrucción sin sufrir ningún cambio permanente él mismo, de modo que puede repetir el proceso. En estas condiciones, cada molécula de CFC destruye miles de moléculas de ozono.



Aunque la radiación UV sigue creando constantemente ozono a partir del oxígeno, la presencia de cloro/bromo acelera la destrucción del ozono, pero no su creación, con lo que se reduce la concentración global de ozono.

**10. ¿Porqué ha aparecido el "agujero del ozono" por encima de la Antártida, si los gases que agotan el ozono están presentes en toda la estratosfera y su liberación ocurre principalmente en el hemisferio norte?**

*La 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 globo. Las temperaturas muy frías de la estratosfera Antártica crean nubes de hielo llamadas nubes estratosféricas polares (NEP). 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. Sin embargo, y como consecuencia de las reacciones especiales que ocurren en ellas, 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.*

Los CFC llegan a la estratosfera porque la atmósfera de la tierra está siempre en movimiento y mezcla las sustancias químicas que se le añaden. En realidad las moléculas de CFC son varias veces más pesadas que el aire. No obstante, miles de mediciones de globos, aeronaves y satélites demuestran que los CFC están realmente presentes en la estratosfera. Esto se debe a que los vientos y otros movimientos del aire mezclan la atmósfera hasta altitudes por encima de la parte superior de la estratosfera con mucha más velocidad que aquella a la que las moléculas pudieran depositarse por su peso. Los gases, como los CFC, que no se disuelven en agua, y que no reaccionan en la atmósfera inferior, se mezclan con relativa rapidez y por consiguiente llegan a la estratosfera sea cual fuere su peso.

El 90% de las emisiones humanas de clorofluorocarbonos (CFC) y de halones han ocurrido principalmente en el Hemisferio Norte en las latitudes que corresponden a Europa, Rusia, Japón y América del Norte. Estos gases que son insolubles en agua y que no reaccionan fácilmente se mezclan en un plazo de un año o dos por toda la atmósfera inferior. En este aire bien mezclado se levantan de la atmósfera inferior hacia la estratosfera, principalmente, en las latitudes tropicales. Los vientos impulsan esta masa de aire hacia los polos, tanto al Polo Norte como al Polo Sur, desde los trópicos, de forma tal que el aire en toda la estratosfera del globo contiene aproximadamente las mismas cantidades de cloro y de bromo.

Cada año, durante la primavera del Hemisferio Sur (septiembre a noviembre), el nivel de ozono acelera su disminución en la Antártida por acción del cloro y del bromo presentes en la estratósfera. El agotamiento severo de la capa de ozono antártica conocido como el "agujero de ozono" se forma por condiciones climáticas especiales que existen allí y no en otro lugar del globo. El agujero se agrava en el Polo Sur, debido a que gran parte de estos gases se desplazan hasta la Antártida por efecto de los vientos. Un efecto similar, pero más débil, se ha detectado en el Ártico debido a que no existen condiciones similares por encima del Ártico. Las temperaturas invernales en la estratosfera Ártica no son constantemente bajas durante muchas semanas, como ocurre en la Antártida, lo cual lleva a un agotamiento consiguientemente menor del ozono.

El Polo Sur es parte de una gran masa terrestre (la Antártida) que está completamente rodeada por los océanos. Esta simetría se refleja en las condiciones meteorológicas, que permiten la formación de una región muy fría en invierno en la estratosfera, por encima del continente Antártico, aislado por una banda de vientos fuertes que circulan alrededor del polo cerca del paralelo de 65°S.

La siguiente figura muestra esquemáticamente lo que sucede sobre la Antártida en invierno. Durante el invierno, en gran parte de la Antártida reina la noche polar, y durante ella se preparan las condiciones meteorológicas (intensificación del vórtice polar y enfriamiento

to estratosférico), que establecen el escenario necesario para el desarrollo del agujero de ozono. Durante la noche polar invernal, la luz del sol no alcanza el Polo Sur. Un fuerte viento circumpolar se desarrolla en la media y baja estratósfera. Este viento es conocido como el **vórtice polar**, y tiene el efecto de aislar el aire sobre la región polar.



El Vórtice polar Antártico encierra a la región donde se registran las temperaturas más bajas y donde se produce la mayor destrucción del ozono, comparando con lo que ocurre en cualquier otro lugar del mundo.

Puesto que no hay luz solar, el aire dentro del vórtice polar permanece muy frío. Las bajísimas temperaturas de la estratosfera antártica dan lugar a la formación de nubes especiales, cuando la temperatura del aire desciende hasta unos 80 o 90 °C bajo cero. Estas son las llamadas nubes estratosféricas polares (NEP), que no son como las nubes de gotas de agua que habitualmente vemos. Las NEP están formadas originalmente por ácido nítrico trihidratado.

Si la temperatura continúa bajando, pueden formarse grandes gotas de agua/hielo con ácido nítrico disuelto en su interior. Sin embargo, su exacta composición es aún objeto de intenso estudio científico. Estas NEP son cruciales para que ocurra la pérdida de ozono.

Las nubes estratosféricas polares son las responsables de las modificaciones químicas que promueven la producción de cloro y bromo químicamente activos. Las reacciones especiales que ocurren en esas nubes y el relativo aislamiento del aire polar estratosférico, dan lugar a reacciones del cloro y del bromo que producen el agujero de ozono en la primavera antártica. Cuando retorna la luz del sol a la región polar en la primavera, el cloro se transforma rápidamente en cloro atómico, que conlleva a la destrucción súbita del ozono. Las bajas temperaturas activan los procesos químicos; esta activación del cloro y del bromo lleva seguidamente a una pérdida rápida del ozono, cuando la luz del sol vuelve a la Antártida en septiembre y octubre de cada año, lo cual lleva seguidamente al agujero antártico de ozono.

Las temperaturas deben ser lo suficientemente bajas para que se formen las nubes estratosféricas polares (NEPs) y se inicien las reacciones químicas. Con temperaturas inferiores a los -78°C se pueden producir NEPs, mientras que con temperaturas inferiores a -85°C se pueden acelerar los procesos químicos.

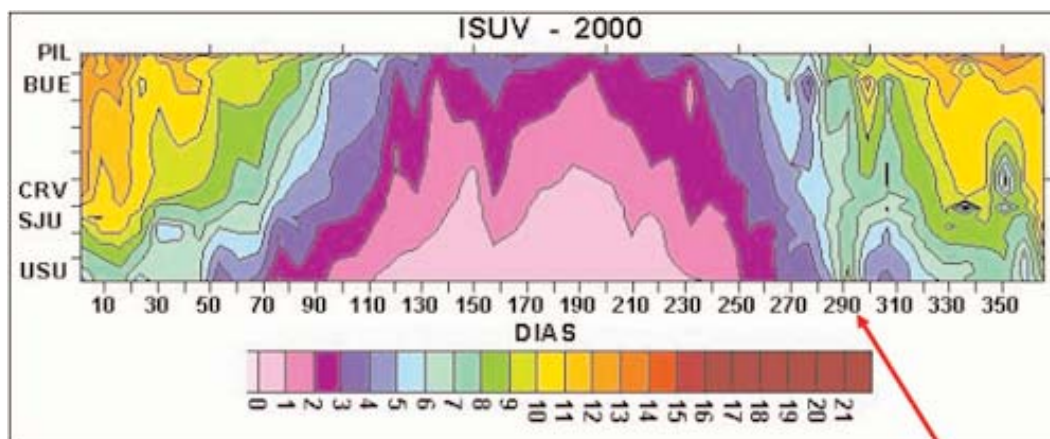
Estas nubes polares estratosféricas permiten las reacciones químicas que transforman las especies de cloro que no causan agotamiento del ozono, en especies que sí lo causan. Entre los últimos se cuenta el monóxido de cloro que inicia la destrucción del ozono en pre-

sencia de la luz del sol. La cantidad de cloro reactivo en tales regiones es, por consiguiente, mucho más elevada que la observada en latitudes medias, lo que lleva a una destrucción química mucho más rápida del ozono.

Por consiguiente, durante los períodos en que el "agujero de ozono" se encuentra sobre la Antártida o pasa sobre el sur de América del Sur, los seres humanos, la flora y la fauna en dicha región están expuestas a valores de radiación UV-B superiores a los valores normales para esas latitudes y época del año. Sin embargo, esos valores son similares a los que normalmente se registran en igual período en el centro y norte de la Argentina, son de igual magnitud o ligeramente superiores a los que normalmente se registran en esas latitudes en diciembre y enero, y son siempre inferiores a los que se registran durante el verano en la región central y norte de la Argentina, zona más poblada del país y lugares de veraneo estival, tal como puede observarse en la evolución de la Intensidad de Radiación Solar Ultravioleta (ISUV) durante el año 2000 realizado entre Pilar (Córdoba) y Ushuaia.

La ISUV da una indicación del riesgo de sobre-exposición al sol, con valores y calificaciones que son correlacionados con el tiempo mínimo en minutos necesarios de exposición a los rayos solares para producir enrojecimiento (y eventualmente quemadura) de la piel.

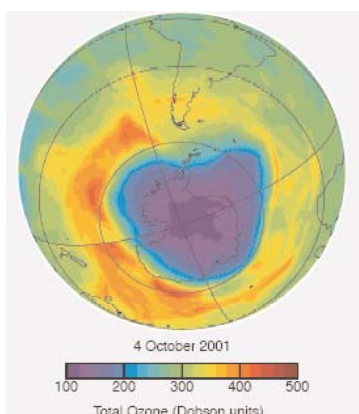
En consecuencia, las incidencias o las implicancias que este fenómeno pueda tener sobre la salud de los habitantes del sur de nuestro continente, serán similares a las que pueden experimentarse en las regiones anteriormente mencionadas.



*En octubre, durante el pasaje del agujero de ozono por el sur del continente Sudamericano, se interrumpió el período de bajos valores de ISUV, alcanzándose a medir valores similares a los que se registran normalmente en verano en esas latitudes*

## 11. ¿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, ocurriendo primariamente a fines del invierno y primavera (agosto-noviembre). El pico de esta disminución ocurre en octubre cuando el ozono frecuentemente es completamente destruido en un rango de altitudes, reduciendo el ozono total hasta casi dos tercios en algunas localidades. Esta disminución severa crea el "agujero de ozono" en imágenes de ozono total Antártico realizadas desde el espacio como puede observarse en la siguiente figura. Casi todos los años el área máxima del agujero de ozono excede el tamaño del continente Antártico.*



Las imágenes satelitales tomadas durante el invierno y primavera antárticos muestran una gran región con un centro cercano al Polo Sur en el cual la disminución de ozono ha sido elevada. El Agujero de Ozono es la región polar en la que la cantidad de ozono total es inferior a 220 UD.

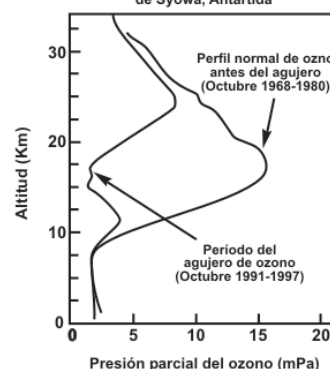
Los valores mínimos de ozono total en el agujero del ozono han llegado a valores tan bajos como 100 UD comparadas con los valores normales de primavera de 300 UD.

El promedio de ozono observado durante los meses de septiembre, octubre y noviembre sobre la estación de vigilancia del Antártico británico en Halley, Antártida, reveló una disminución notable por primera vez a principios de los años 80, comparada con los datos obtenidos anteriormente a partir de 1957. La capa de ozono situada sobre la Antártida se ha diluído progresivamente desde que se hicieron estas primeras mediciones. La cifra más baja registrada en el Polo Sur fue de 86 Unidades Dobson (UD) el 12 de octubre de 1993.

Como muestra la figura, la magnitud de la pérdida del ozono ha crecido desde entonces a medida que han aumentado en la atmósfera las cantidades de compuestos que agotan la capa de ozono de origen humano. En los últimos años, el agujero ha aparecido cada año, excepto en 1988.

El problema es gravísimo sobre esta parte del globo, el agujero ha crecido casi todos los años desde 1979, y en la mayoría de los años el área máxima del agujero de ozono usualmente excede

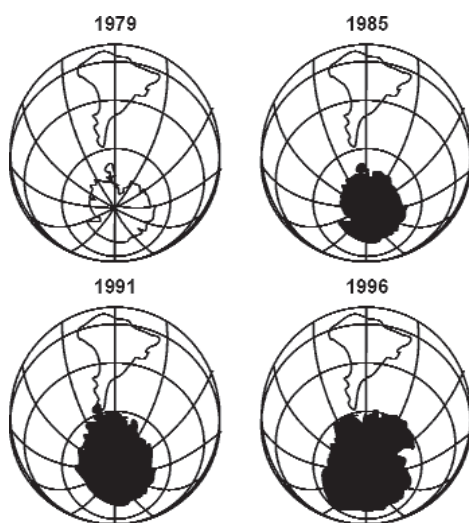
Agotamiento primaveral de la capa de ozono por encima de Syowa, Antártida



el tamaño del continente antártico. La superficie terrestre situada bajo el agujero de ozono alcanzó más de 20 millones de Km<sup>2</sup> a principios del decenio de 1990 y, desde entonces, ha variado entre los 20 y los 29 millones de Km<sup>2</sup>.

En octubre de 1998 las mediciones indicaron que el agujero era tan grande como el continente africano, alcanzando el sur de Chile y Argentina. En esta misma fecha, el agotamiento de la capa de ozono en la Antártica fue el mayor observado hasta ese entonces en esa época del año cubriendo un área de más de 25 millones de Km<sup>2</sup> comparada con la media tradicional de 20 millones registrada en años anteriores y superior a los valores máximos de 22 millones de Km<sup>2</sup> de 1993. Entre los 15 y los 22 Km de altitud, la pérdida de ozono alcanzó el 80%; sin embargo esta medida permaneció estable en comparación con el año anterior. Las evaluaciones de la capa de ozono en los puestos de observación Marambio, Neumayer y Syowa, determinaron niveles de ozono por debajo del 25%, más bajos que los del mismo período en 1997.

#### **Esquema del crecimiento del agujero antártico de ozono**



En el año 2000, el área del agujero del ozono alcanzó la extensión sin precedentes de 29 millones de Km<sup>2</sup> el día 12 de septiembre. Si bien se trató del agujero de ozono más grande y profundo registrado durante el mes de septiembre, se disipó a principios de octubre, es decir, con mayor antelación que cualquier otro año desde 1991.

En el año 2003, el área del agujero del ozono se situó en los 25 millones de Km<sup>2</sup> aproximadamente. Aunque no aparecieron agujeros en otros lugares, en esa primavera ártica la capa de ozono situada sobre el Polo Norte llegó a diluirse hasta un 30%, mientras que el agotamiento sobre Europa y otras latitudes altas osciló entre el 5% y el 30%.

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

Si, se han observado importantes disminuciones del contenido de ozono en la estratosfera por encima del Ártico, durante el período de fines del invierno y principios de la primavera (enero - abril) en seis de los últimos nueve años. Sin embargo, estas disminuciones,

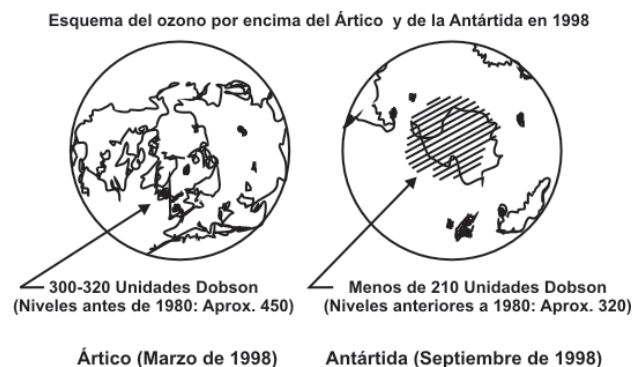
ordinariamente del 20 al 25% son muy inferiores a las observadas actualmente cada primavera por encima de la Antártida y varía más de un año a otro. En el Ártico no se ha encontrado un "agujero de ozono" grande y recurrente como en la Antártida.

Las observaciones de la destrucción de la capa de ozono en el Hemisferio Norte, no son menos inquietantes que en la región Antártica. Si bien no hay agujero en el Ártico debido a ciertos factores meteorológicos, en enero de 1993 la cantidad de ozono de todo el Hemisferio Norte sobre la franja que va de los 45° a los 65° de latitud Norte había disminuido entre el 12% y el 15%, durante casi todo el mes de febrero de 1993, los niveles sobre América del Norte y muchas partes de Europa estuvieron un 20% por debajo de lo normal.

La diferencia entre el contenido de ozono en las dos regiones polares (véase la figura inferior) proviene de pautas meteorológicas distintas. La Antártida es un continente de gran extensión rodeado por océanos. Estas condiciones simétricas producen temperaturas estratosféricas muy bajas en una región meteorológicamente aislada, denominada vortex polar, que llevan a su vez a la formación de las nubes estratosféricas polares, que son las que promueven cambios químicos que llevan a la producción de cloro y bromo químicamente activos que destruyen rápidamente el ozono. Las condiciones que mantienen niveles elevados de cloro y bromo químicamente activos persisten hasta septiembre y octubre en la Antártida cuando la luz del sol vuelve a iluminar la región para iniciar el agotamiento del ozono.

Las condiciones meteorológicas invernales en el Hemisferio Norte, lo mismo que en el Hemisferio Sur, llevan a la formación de una región aislada limitada por vientos fuertes en la que la temperatura es también lo suficientemente fría para que se formen nubes estratosféricas polares. Sin embargo, la simetría geográfica en torno al Polo Norte no lo es tanto

como en torno al Polo Sur. En consecuencia, los fenómenos meteorológicos perturban la corriente del viento que es menos estable por encima de la región Ártica que por encima de la Antártida. Estas perturbaciones impiden que la temperatura en la estratosfera Ártica sea tan fría como en la estratosfera Antártica, y, por consiguiente, se forman menos nubes estratosféricas polares. No obstante, los compuestos de cloro y bromo químicamente activos se forman también por encima del Ártico, lo mismo que por encima de la Antártida, como consecuencia de reacciones en la



superficie de las nubes. Pero es raro que las condiciones frías persistan hasta marzo, cuando se dispone de luz solar suficiente para iniciar un gran agotamiento del ozono.

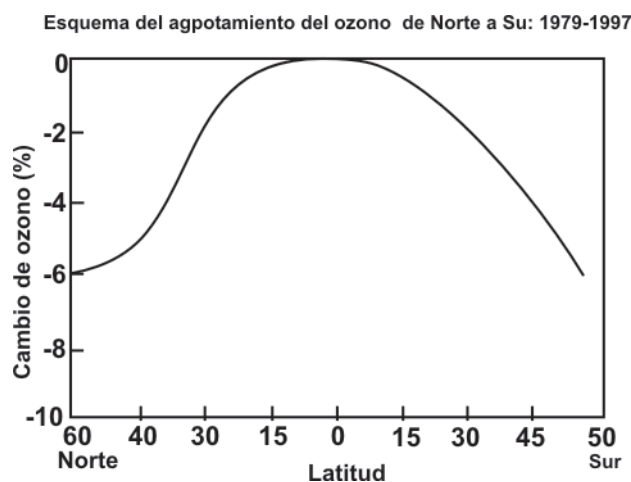
En años recientes, ha habido una cadena de inviernos desacomodadamente fríos sobre el Ártico, si se comparan con los de los treinta años precedentes. El frío y las condiciones persistentes han llevado a un mayor agotamiento del ozono, puesto que las concentraciones atmosféricas de gases que agotan la capa de ozono han sido también relativamente grande durante estos años. Por consiguiente, aunque ha habido un agotamiento importante del ozono en el Ártico en años recientes, es difícil predecir lo que nos espera, puesto que el clima futuro de la estratosfera del Ártico no puede predecirse con confianza.

### 13. ¿Qué tan grande es el agotamiento de la capa de ozono global?

*La capa de ozono se ha agotado gradualmente desde 1980 y ahora es aproximadamente en promedio un 3% menor en todo el globo. El agotamiento, que excede las variaciones naturales de la capa de ozono, es muy pequeño cerca del Ecuador y se incrementa con la latitud hacia los polos.*

Como muestra la figura, la magnitud del agotamiento del ozono varía de una región a otra de la tierra. Por ejemplo, apenas ha habido agotamiento del ozono en los trópicos. La magnitud del agotamiento depende también de la estación del año. El agotamiento del ozono en la Antártida es estacional, teniendo lugar principalmente durante fines del invierno y la primavera (agosto-noviembre).

El pico de agotamiento ocurre en octubre, cuando el ozono es a menudo completamente destruido en un rango de altitud, reduciendo el ozono total en 2 tercios en algunos lugares. Este severo agotamiento crea el "agujero de ozono".





En relación con las abundancias de 1980 anteriores al agujero en el ozono, las pérdidas de 1997 a 2001 en la columna de ozono total son las siguientes:

- ▶ Cerca del 4% en las latitudes medias septentrionales en invierno/primavera.
- ▶ Cerca del 2% en las latitudes medias septentrionales en verano/otoño.
- ▶ Y cerca del 6% en las latitudes medias meridionales todo el año.

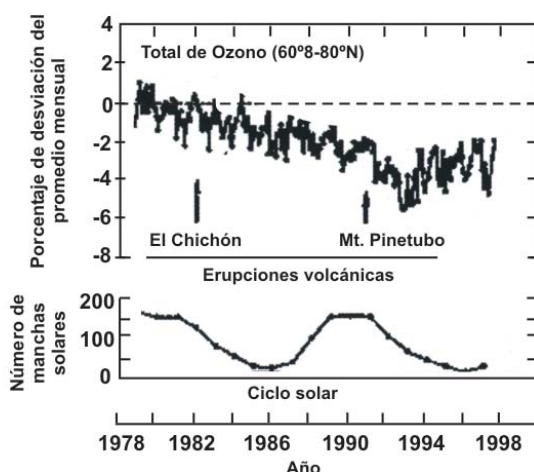
#### 14. ¿Los cambios en el sol y las erupciones volcánicas afectan la capa de ozono?

*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 por varios años luego de la erupción.*

Aunque hay fuerzas naturales que causan fluctuaciones en las cantidades de ozono, no existe ninguna prueba de que haya cambios naturales que contribuyan de forma importante a la tendencia observada de la disminución del ozono a largo plazo.

El ozono estratosférico se crea primariamente mediante la luz ultravioleta (UV) procedente del sol. Por consiguiente, los rayos solares influyen en el ritmo al que se produce el ozono. La liberación de energía solar (tanto la luz UV como partículas cargadas tales como electrones y protones), varía especialmente en función del ciclo de manchas solares bien conocido de 11 años. Como se muestra en la figura siguiente, desde 1978 la cantidad de energía solar (número de manchas solares) ha pasado por los valores máximos aproximados, observados en 1980 y en 1991 y por los valores mínimos aproximados, observados en 1985 y 1996. En el año 2002 se observó nuevamente un máximo.

**Tendencia mundial del ozono, grandes erupciones volcánicas y ciclos solares**





Las observaciones a lo largo de varios ciclos solares desde 1960 muestran que los niveles totales de ozono han variado en 1,2% desde su valor máximo, hasta su valor mínimo en un ciclo ordinario. Sin embargo, los cambios en la radiación solar no pueden ser responsables de los cambios observados en el ozono a largo plazo, puesto que la tendencia en el ozono ha sido siempre descendente durante todo este período siendo superiores al 1-2%. Las tendencias del ozono presentadas en esta y en otras evaluaciones científicas internacionales anteriores ha sido obtenida evaluando las modificaciones a largo plazo en el ozono después de tener en cuenta la influencia solar (como se ha hecho en la figura anterior).

Las grandes erupciones volcánicas explosivas pueden acelerar la disminución del ozono pero sus efectos tienen una vida relativamente corta. Estas erupciones pueden inyectar directamente materiales en la capa de ozono. Las reacciones químicas dentro y en la superficie de las partículas volcánicas inyectadas a la estratosfera inferior llevan a una mayor destrucción del ozono aumentando la concentración de moléculas de cloro químicamente activas que provienen de compuestos producidos por el hombre tales como cloro-fluorocarbonos (CFC). Podemos citar como ejemplos las erupciones de Mt. Agung (1963), Mt. Fuego (1974), El Chichón (1982) y particularmente Mt. Pinatubo (1991).

En 1991, la erupción del Monte Pinatubo en Filipinas inyectó unas 20 millones de toneladas de dióxido de azufre en la atmósfera, que contribuyeron a niveles sin precedentes de agotamiento del ozono en 1992 y 1993. En la atmósfera el dióxido de azufre se convirtió rápidamente en aerosol de ácido sulfúrico, intensificando la destrucción del ozono. Sin embargo, las concentraciones de aerosol estratosférico disminuyeron a menos de una quinta parte de su nivel máximo en menos de dos años. En comparación, algunos CFC pueden permanecer en la atmósfera durante más de cien años; la vida atmosférica del CFC-115 es de 1700 años.

Dado que las partículas se suprimen de la estratosfera en un período de 2 a 5 años, la anomalía en el ozono es solamente temporal y tales episodios no pueden ser la causa de las modificaciones observadas a largo plazo. Las observaciones y los cálculos indican que los niveles de ozono más bajos registrados que se observaron en 1992-1993 reflejan la importancia del número relativamente grande de partículas producidas por la erupción de Mt. Pinatubo, junto con la cantidad relativamente elevada de cloro estratosférico producido por el hombre en el decenio de 1990, por comparación con los valores registrados en anteriores erupciones volcánicas.

Las observaciones y los cálculos con modelos indican que las partículas volcánicas no pueden por sí mismas agotar el ozono. Solamente la interacción del cloro producido por el hombre con las superficies de las partículas es la que hoy en día aumenta el agotamiento del ozono en la atmósfera.

## **15. ¿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 sobre sustancias que agotan la capa de*

*ozono" y sus subsecuentes Enmiendas y Ajustes. El Protocolo, ahora ratificado por más de 180 naciones, establece controles legales sobre la producción y el consumo de los gases que agotan el ozono. La producción y el consumo de estos gases serán reducidas significativamente o eliminadas antes de mediados del siglo XXI, tanto por las naciones desarrolladas como por las en desarrollo.*

El Consejo de Administración del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) examinó, por primera vez, la cuestión del agotamiento del ozono en el año 1976. En 1977 se organizó una reunión de expertos en la capa de ozono y, posteriormente, el PNUMA y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) crearon el Comité Coordinador sobre la Capa de Ozono para que evaluara periódicamente el agotamiento del ozono. En 1981 dieron comienzo las negociaciones intergubernamentales sobre un acuerdo internacional para eliminar gradualmente las sustancias que agotan el ozono, que concluyeron en marzo de 1985 con la aprobación del **Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono**.

Mediante esta Convención las naciones convinieron en adoptar "medidas apropiadas ... para proteger la salud humana y el medio ambiente contra los efectos adversos resultantes o que puedan resultar de las actividades humanas que modifiquen o puedan modificar la capa de ozono;" pero las medidas no se especifican.

No se hace mención a sustancias que podrían dañar la capa de ozono, y los CFC solamente aparecen hacia el final del anexo al tratado, donde se mencionan como productos químicos que se deben vigilar.

El principal cometido del Convenio era establecer una base jurídica general a nivel internacional para la protección de la capa de ozono, alentando la investigación, la cooperación entre los países y el intercambio de información. Aún así, se tardó 4 años en prepararlo y acordarlo. En el Convenio se estipulan futuros protocolos y se determinan los procedimientos para su enmienda y la solución de controversias.

El Convenio de Viena sentó un precedente importante. ***Por primera vez las naciones convinieron en hacer frente a un problema ambiental mundial, antes de que sus efectos se generalizaran, o incluso se demostrasen científicamente.***

Tras el descubrimiento del agujero de ozono de la Antártida a fines de 1985, los gobiernos reconocieron la necesidad de adoptar medidas más estrictas para reducir la producción y el consumo de cierto número de CFC (CFC 11, 12, 113, 114 y 115) y de varios halones. El **Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono** fue aprobado en septiembre de 1987.

El Protocolo fue concebido de forma que los calendarios de eliminación progresiva pudieran revisarse en función de las evaluaciones científicas y tecnológicas de carácter periódico. A raíz de esas evaluaciones, se ajustó el Protocolo en Londres en 1990, Copenhague en 1992, Viena en 1995, Montreal en 1997 y Beijing en 1999 para acelerar esos calendarios e implan-

tar medidas de control adicionales y agregar nuevas sustancias controladas a la lista.

La Enmienda de Londres de 1990 incluyó otros CFCs y los dos disolventes (tetracloruro de carbono y metilcloroformo), mientras que la Enmienda de Copenhague de 1992 añadió el bromuro de metilo, los hidrobromofluorocarbonos (HBFC) que no se utilizaban mucho, pero se quiso impedir que se les dieran nuevos usos, y los hidroclorofluorocarbonos (HCFC) que se fabricaron como primer gran producto sustitutivo de los CFC. Aunque son mucho menos destructivos que los CFC, los HCFC también contribuyen al agotamiento del ozono.

La Enmienda de Montreal de 1997 ajustó los calendarios para eliminar el bromuro de metilo. La Enmienda de Beijing en 1999 incluyó el bromoclorometano para su eliminación inmediata ya que se trataba de una nueva sustancia que agota el ozono que algunas empresas trataron de introducir en el mercado en 1998 a fin de impedir su utilización, e implantó medidas de control para la producción de los HCFC, así como para el comercio con Estados no Partes.

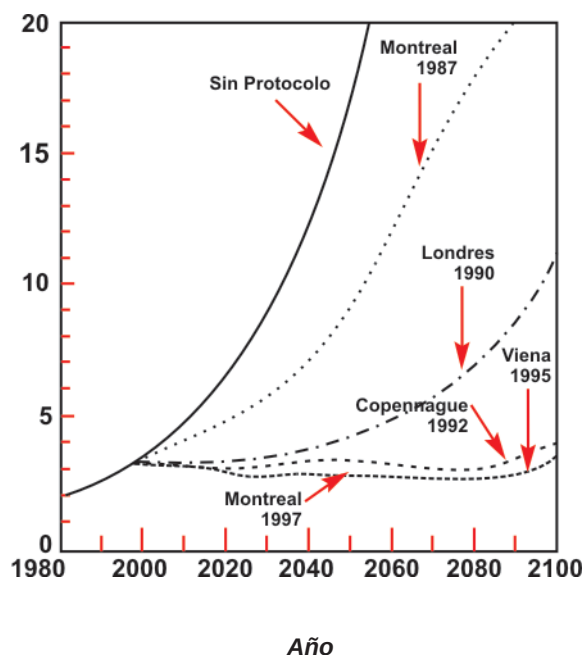
Noventa y seis (96) productos químicos están fiscalizados actualmente por el Protocolo de Montreal. Las Partes continúan estudiando medidas para impedir la comercialización de nuevas sustancias que agotan el ozono y que hasta ahora no están incluidas en el Protocolo.

| SUSTANCIAS                                    | PAISES ARTICULO 2                                                                                  | PAISES ARTICULO 5                                                                 |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Anexo A</b>                                |                                                                                                    |                                                                                   |
| Grupo I<br>CFC-11, 12, 113, 114, 115          | Año base: 1986<br>Congelación en 1989<br>75% en 1994<br>100% en 1996                               | Año base: 1986<br>Congelación: 1999<br>50% en 2005<br>85% en 2007<br>100% en 2010 |
| Grupo II<br>Halón 1201, 1301, 2402            | Año base: 1986<br>Congelación en 1992<br>100% en 1994                                              | Año base: 1996<br>Congelación: 2002<br>100% en 2004                               |
| <b>Anexo B</b>                                |                                                                                                    |                                                                                   |
| Grupo I<br>Otros CFCs                         | Año base: 1989<br>20% en 1993<br>75% en 1994<br>100% en 1996                                       | Año base: 1999<br>20% en 2003<br>85% en 2007<br>100% en 2010                      |
| Grupo II<br>Tetracloruro de carbono           | Año base: 1989<br>85% en 1995<br>100% en 1996                                                      | Año base: 1999<br>85% en 2005<br>100% en 2006                                     |
| Grupo III<br>Metil-cloroformo (tricoloretano) | Año base: 1989<br>Congelación en 1993<br>50% en 1994<br>100% en 1996                               | Año base: 1999<br>Congelación: 2003<br>50% en 2004<br>100% en 2006                |
| <b>Anexo C</b>                                |                                                                                                    |                                                                                   |
| Grupo I<br>HCFCs                              | Año base: 1989<br>Congelación en 1996<br>35% en 2004<br>65% en 2010<br>90% en 2015<br>100% en 2020 | Año base: 2015<br>Congelación: 2016<br>100% en 2040                               |
| Grupo II<br>HBFCs                             | Año base: 1991<br>Congelación en 1995                                                              |                                                                                   |
| <b>Anexo E</b>                                |                                                                                                    |                                                                                   |
| Bromuro de metilo                             | Año base: 1991<br>Congelación en 1995<br>25% en 1999<br>50% en 2001<br>75% en 2003<br>100% en 2005 | Año base: promedio 1995-1998<br>Congelación: 2002<br>20% en 2005<br>100% en 2015  |

En el siguiente cuadro se presentan los calendarios de eliminación gradual para los países desarrollados y los países en desarrollo. Como puede observarse, los países en desarrollo disponen de un período de gracia (10 años) antes de que deban poner en marcha sus calendarios de eliminación. De esa forma se reconoce que los países desarrollados son los responsables de la mayor parte de las emisiones totales a la atmósfera y que cuentan con más recursos financieros y tecnológicos para adoptar productos sustitutivos.

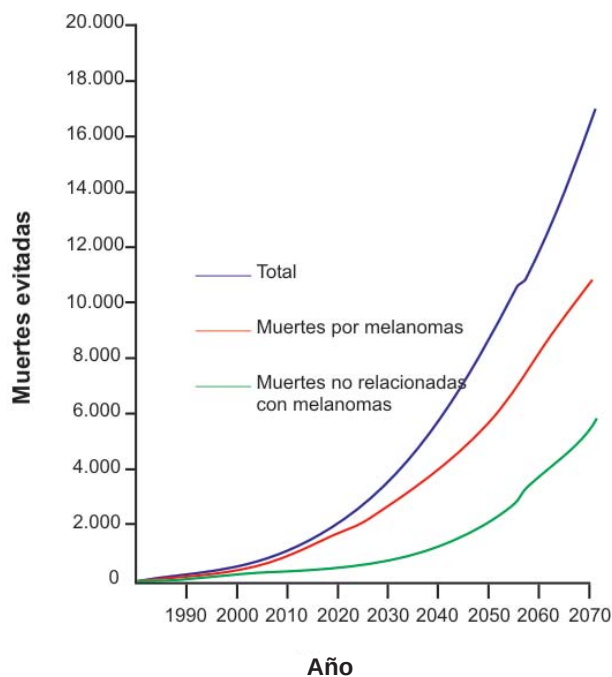
Los calendarios de eliminación gradual se refieren tanto, a la producción como al consumo, de las sustancias controladas. Los países están autorizados a producir cantidades limitadas, incluso después de la eliminación gradual, para poder atender a los usos esenciales para los que todavía no se han encontrado alternativas, como por ejemplo, la utilización de CFC en aerosoles medicinales tales como los inhaladores de dosis medidas para el asma.

En la figura siguiente se muestran las cantidades de cloro y de bromo estratosféricos del pasado y las previstas si no se hubiera firmado el Protocolo y las correspondientes si se aplicaran las disposiciones originales del Protocolo y los acuerdos subsiguientes. Si no existiera el Protocolo, para el año 2050 el agotamiento del ozono habría aumentado como mínimo hasta el 50% en las latitudes medias del hemisferio norte y el 70% en las latitudes medias meridionales, o sea, unas 10 veces en comparación con las cantidades correspondientes a 1980. En consecuencia, la radiación UV-B que llega a la Tierra en las latitudes medias boreales se habría duplicado y, en el sur, se habría cuadruplicado. La cantidad de productos químicos que agotan el ozono de la atmósfera habría sido cinco veces mayor. Tales cantidades elevadas de cloro y de bromo hubieran llevado a grandes pérdidas del ozono, que hubieran producido un agotamiento muy superior que hubieran producido un agotamiento muy superior al observado en la actualidad.



***Pérdidas de ozono: Proyección de lo que habría ocurrido sin el Protocolo***

Las secuelas de todo esto habrían sido terribles: 19 millones más de casos de cáncer no melanómico, 1,5 millones de casos de cáncer melanómico y 130 millones más de casos de cataratas oculares.



**Proyecciones sobre fallecimientos anuales en el mundo debidos a cáncer de piel melanómico y no melanómico que se evitaron gracias al Protocolo de Montreal**

En contraste, en virtud de los acuerdos internacionales vigentes, a partir del año 1995 han empezado a disminuir las emisiones de gases que agotan la capa de ozono provenientes de las actividades humanas. Aunque se requieren de 3 a 6 años para que las mezclas pasen de la troposfera a la estratosfera, las cantidades estratosféricas de cloro han empezado a llegar a un nivel constante y disminuirán lentamente de aquí en adelante.

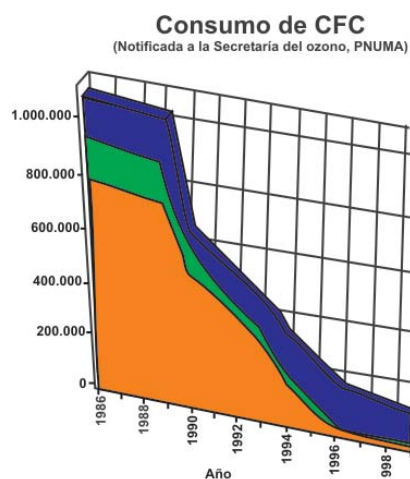
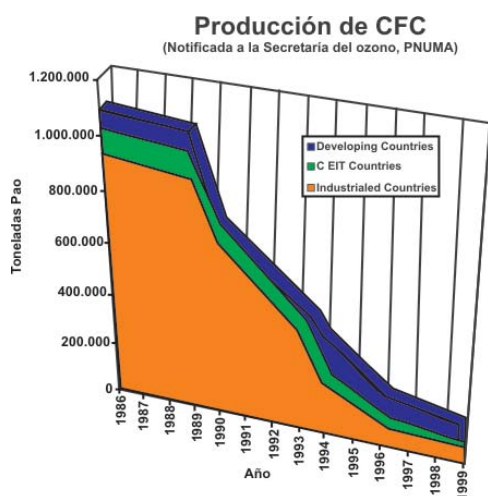
Si se llega a un cumplimiento pleno, los acuerdos internacionales llevarán a eliminar la mayoría de las emisiones de los principales gases que agotan la capa de ozono. Permaneciendo constantes todos los demás elementos, se espera que la capa de ozono llegue a su situación normal a mediados del próximo siglo. Esta lenta recuperación, si se compara con la irrupción relativamente rápida del agotamiento del ozono, está relacionada fundamentalmente con el tiempo requerido para que tengan lugar los procesos naturales de eliminación de los CFC y de los halones en la atmósfera. Cabe recordar que, la

mayoría de los CFC y de los halones tienen tiempos de permanencia atmosférica de aproximadamente 50 a varios centenares de años.

En 1986 el consumo mundial total de CFC se aproximó a 1,1 millones de toneladas PAO; para 1999 esa cifra había descendido a unas 150.000 toneladas. La mayor parte del total correspondiente a 1986, o sea, 0,9 millones de toneladas PAO, se consumió en países desarrollados, pero, para 1999 el consumo de estos países había disminuido a tan sólo 24.000 toneladas, incluidas las exenciones aprobadas por las Partes.

Entre 1986 y 1999 los países en desarrollo redujeron su consumo aproximadamente en un 13%. Tres de los 130 países en desarrollo (Brasil, China y la República de Corea), absorbieron más del 50% del consumo de ese grupo correspondiente a 1999, mientras que otros siete países (Argentina, India, Indonesia, Irán, México, Nigeria y Tailandia), consumieron otro 25%.

Se ha calculado que sin el Protocolo de Montreal el consumo mundial habría alcanzado unos 3 millones de toneladas en el año 2010 y 8 millones de toneladas en el año 2060, lo que hubiera resultado en un agotamiento del 50% de la capa de ozono para 2035.



## 16. ¿Cómo se están eliminando gradualmente las sustancias que agotan el ozono?

*Existen muchas opciones para las aplicaciones de sustancias que agotan el ozono, que requieren productos químicos de sustitución y tecnologías alternativas. En los usos existentes de las SAO, la conservación, la recuperación, el reciclado y la prevención de las pérdidas son recursos importantes para reducir las emisiones a corto plazo.*

En la refrigeración y la climatización, la principal alternativa a las SAO consiste en utilizar un refrigerante sin CFC, como un hidrocarburo o amoníaco. En algunas aplicaciones se utilizan HCFC, pero solamente como recurso momentáneo o 'sustancia de transición' puesto que también se han de eliminar con el tiempo, a causa de su potencial de agotamiento del ozono. También se emplean algunos hidrofluorocarbonos (HFC) que no contienen cloro y son inocuos para el ozono. Sin embargo, son poderosos gases con efecto de invernadero.

Para los equipos existentes de refrigeración y climatización, un mantenimiento adecuado puede reducir considerablemente los escapes, lo que también disminuye los costos. Algunos equipos se pueden adaptar al uso de productos químicos alternativos. Es cada vez más frecuente que los CFC de antiguos refrigeradores y acondicionadores de aire se recuperen y reciclen antes de descartar esos aparatos.

Actualmente están muy difundidos varios agentes espumantes alternativos, entre ellos los HCFC, los hidrocarburos, el cloruro de metileno, el dióxido de carbono y el agua.

Varias SAO que se han utilizado como agentes de limpieza (el CFC-113, el tetracloruro de carbono y el metilcloroformo) se están sustituyendo de muy diversas maneras.

Productos alternativos como los alcoholes, los terpenos o el agua han resultado eficaces para muchas necesidades industriales. En la industria electrónica nuevas técnicas han permitido eliminar la limpieza en algunas operaciones.

Los CFC 11 y 12 se han utilizado ampliamente como propulsores en los aerosoles. En muchos países, incluida la Argentina, este uso ha prácticamente cesado. Otros propulsores como los hidrocarburos han sustituido casi todos los usos anteriores de CFC. Además, se han creado bombas mecánicas que no requieren propulsor químico.

Los halones extintores de incendios se han sustituido con otros componentes que apagan el fuego como el agua, el dióxido de carbono o la espuma. Se están elaborando nuevos vapores de agua de alta presión para extinguir los fuegos ocasionados por petróleo y gasolina. Los gases inertes, como el argón o el nitrógeno, constituyen opciones posibles para las aplicaciones en que las demás soluciones presentan graves inconvenientes. Los halones de los equipos extintores de incendios existentes se están regenerando cada vez más y almacenando en bancos de halones a fin de conservar reservas, impedir emisiones a la atmósfera y disponer de existencias para 'usos esenciales', de conformidad con el Protocolo de Montreal.

#### **17. ¿Ha sido exitoso el Protocolo de Montreal en reducir los gases que reducen el ozono en la atmósfera?**

*Sí, como resultado del Protocolo de Montreal, la cantidad total de los gases que reducen el ozono en la atmósfera ha comenzado a disminuir en los años recientes. Si las naciones del mundo continúan cumpliendo con el Protocolo de Montreal, la disminución continuará*

*durante el Siglo XXI. Algunos gases individuales como los halones y los hidroclorofluorocarbonos (HCFC) aún se están incrementando en la atmósfera, pero comenzarán a disminuir en las próximas décadas si continúa el cumplimiento del Protocolo de Montreal. A mediados del siglo, la cantidad de gases que reducen el ozono debería caer a los valores existentes antes de que el "agujero de ozono" Antártico comenzara a formarse acomienzos de los años 80.*

En la troposfera (atmósfera inferior), las observaciones indican que la abundancia efectiva total de compuestos destructores del ozono sigue bajando lentamente del punto máximo alcanzado en 1992-1994. El total de cloro está disminuyendo, pero el bromo de los halones industriales sigue en aumento, si bien a una tasa inferior de lo que ocurría anteriormente.

Las observaciones en la estratosfera indican que la abundancia total de cloro ha alcanzado o está por alcanzar su punto máximo, mientras que las abundancias de bromo probablemente sigan aumentando. La suma de cloruro de hidrógeno (HCl) y nitrato de cloro (ClONO<sub>2</sub>) es un sustituto efectivo de la abundancia de cloro estratosférico. Una serie cronológica extensa de mediciones basadas en tierra revela que las cantidades de estas especies en la columna estratosférica total, que han aumentado constantemente por decenios, se han estabilizado en los últimos años. El total de cloro troposférico de los clorocarbonos de permanencia larga y corta era en el año 2000 inferior en un 5%, aproximadamente, en relación al punto máximo observado en 1992-1994.

La reciente disminución ha sido un poco más lenta que a mediados de los años 90, debido a que la influencia dominante anterior del metilcloroformo en esta reducción total se ha visto disminuida debido a que la abundancia de este compuesto está bajando drásticamente. La rápida caída en la emisión mundial de metilcloroformo provocó una disminución exponencial desde 1998. La tasa de disminución del metilcloroformo observada durante el año 2000 fue de alrededor de dos tercios de la observada en el año 1996.

En el año 2000, siguieron disminuyendo las abundancias atmosféricas de CFC-11 y CFC-113, al tiempo que fue más lenta la tasa de aumento de CFC-12. Las abundancias observadas de CFC, hidroclorofluorocarbonos (HCFC) y metilcloroformo en la troposfera siguen siendo coherentes con la producción registrada y las emisiones estimadas. Se ha comprobado que siguen aumentando los HCFC en la atmósfera inferior. Los HCFC se cuentan entre los gases utilizados como sustitutos de transición de los CFC, los halones y los solventes clorinados. En el año 2000, los HCFC representaban el 6% de la abundancia total de cloro de gases antropogénicos en la atmósfera inferior. La tasa de aumento de cloro de los HCFC ha permanecido constante en 10 partes por billón entre los años 1996 a 2000. Existen indicaciones de que las abundancias de bromo en la estratosfera aumentaron durante el decenio de 1990, pero los cambios en el bromo estratosférico no están tan bien tipificados como los del cloro estratosférico. El total de bromo troposférico de los halones siguió aumentado a una tasa de 3% al año, que es aproximadamente dos tercios de la tasa correspondiente a 1996.



Los datos indican que existen considerables fuentes naturales de bromuro de metilo atmosférico (CH<sub>3</sub>Br); también indican aumentos a lo largo del siglo XX, pero éstos no permiten hacer una cuantificación inequívoca de la fracción industrial de las emisiones de bromuro de metilo de los últimos años. La estimación de dicha fracción, basada en una evaluación de la acumulación de ese gas, sigue siendo de 10% a 40%.

Las reducciones considerables en las emisiones de sustancias que agotan el ozono durante los años 90, están de acuerdo con los controles de producción y consumo del Protocolo de Montreal enmendado y ajustado. El consumo en los países en desarrollo es ahora un factor importante de las emisiones mundiales. El año 1999 fue el primero en el que se limitó la producción y consumo de una clase de sustancias que agotan el ozono (los CFC) en todas las Partes en el Protocolo de Montreal.

Se estima que el contenido atmosférico de halógenos volverá a mediados del XXI, a los niveles desde 1980 anteriores al agujero de la capa de ozono de la Antártida, siempre que continúe la adhesión al Protocolo de Montreal plenamente enmendado y ajustado.

#### **18. ¿El agotamiento de la capa de ozono incrementa la radiación ultravioleta que llega a la tierra?**

*Si, 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 se ha incrementado cuando se observa agotamiento del ozono.*

Los científicos están de acuerdo en que la disminución del ozono atmosférico lleva consigo aumentos de la radiación UV a nivel del suelo.

El sol emite radiación en una amplia gama de energía, aproximadamente el 2% en forma de alta energía, radiación ultravioleta (UV). Parte de esta radiación UV (UV-B) es particularmente eficaz en dañar a los seres humanos, por ejemplo, quemaduras de sol, cáncer cutáneo y daños oftalmológicos. La cantidad de radiación UV solar recibida en cualquier lugar particular sobre la superficie de la tierra depende de la posición del sol sobre el horizonte, de la cantidad de ozono en la atmósfera y de las condiciones de nubosidad y contaminación locales.

Las disminuciones mayores del ozono durante los últimos quince años se han observado por encima de la Antártida, especialmente durante los meses de septiembre y octubre cuando se forma el agujero de ozono. En los últimos años, se han efectuado mediciones simultáneas de la radiación UV y del ozono total en varias estaciones antárticas. A finales de la primavera, la radiación ultravioleta biológicamente nociva en partes de la Antártida puede exceder a la observada en San Diego California, donde el sol está mucho más elevado por encima del horizonte.

En zonas en las que el agotamiento del ozono es menor, es más difícil detectar los aumentos de radiación UV-B. En particular, la detección de las tendencias en la radiación UV-B asociadas a disminuciones del ozono puede ser más complicada por modificaciones en la nubosidad, por la contaminación local y por dificultades en mantener el instrumento de detección precisamente en las mismas condiciones durante muchos años.

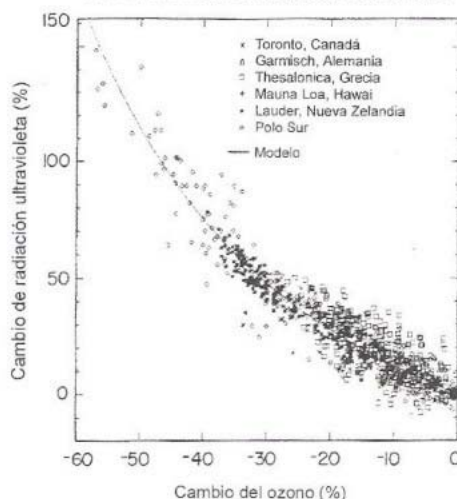
Antes de finales de los años 80, no se disponía de instrumentos con la necesaria precisión y estabilidad para medir las tendencias pequeñas a largo plazo de la radiación UV-B a nivel del suelo. Por consiguiente, los datos de lugares urbanos obtenidos con instrumentos más antiguos y menos especializados proporcionan información mucho menos confiable, especialmente porque no se dispone de mediciones simultáneas de los cambios de nubosidad o de contaminación locales.

Las nuevas mediciones siguen confirmando que las reducciones en las cantidades de ozono contribuyen a aumentar la radiación ultravioleta UV. Los cálculos de radiación UV basados en las relaciones con el ozono total y la irradiación total (tomadas de los piranómetros) indican que la radiación UV -la irradiación eritérmica media anual-, aumentó de un 6% a un 14% en los últimos 20 años, en más de 10 sitios distribuidos en latitudes medias y altas de ambos hemisferios. En algunos sitios, aproximadamente la mitad de los cambios son atribuibles al cambio en el ozono total.

Cuando se han efectuado mediciones de elevada calidad de la radiación en otras zonas alejadas de las ciudades importantes y de la correspondiente contaminación del aire, las disminuciones de ozono han ido regularmente acompañadas de aumentos en la radiación UV-B. Esto se muestra en la figura siguiente, en la que las mediciones realizadas en condiciones de cielo despejado en seis distintas estaciones demuestran que las disminuciones del ozono llevan a un aumento de la radiación UV-B en la superficie, en proporciones que están bastante bien de acuerdo con las previstas en los cálculos (la curva "modelo").

En varios emplazamientos en Europa, América del Norte y América del Sur, la Antártida y Nueva Zelandia, se han observado con mediciones espectrales aumentos de radiación UV asociados con la reducción del ozono. Siguen registrándose episodios de elevada radiación UV asociada con bajas cantidades de ozono total durante la primavera en latitudes medias y altas.

**Aumentos de la radiación ultravioleta eritérmica (quemaduras de sol) debidos a la disminución del ozono**



Los cambios a largo plazo en la radiación UV no son causados únicamente por el ozono, sino también por cambios en la nubosidad, los aerosoles y el albedo de superficie. La importancia relativa de esos factores depende de las condiciones locales. Los resultados de estudios que se han realizado con instrumentos en tierra y desde aeronaves, indican que la influencia de los aerosoles troposféricos sobre la radiación UV tal vez sea mayor de lo que se pensaba y afecte extensas superficies del mundo.

En la Antártida, el agotamiento del ozono ha sido el factor dominante de los aumentos en la radiación UV. Por consiguiente, se prevé que la evolución futura de la radiación UV siga a la recuperación del ozono. Sin embargo, debido a los cambios en otros factores influyentes, como la nubosidad, los aerosoles, el manto de nieve o hielo, es posible que la radiación UV no recupere exactamente los valores anteriores al agujero en la capa de ozono.

### **19. ¿ 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 de clima. De todos modos, los cambios en el ozono y en el clima están muy relacionados. El agotamiento del ozono estratosférico y el aumento del ozono troposférico que ha ocurrido en décadas recientes contribuyen al cambio climático. Estas contribuciones al cambio climático son significativas, pero menores si se las compara con las de los demás gases "efecto invernadero". El ozono y cambio climático están indirectamente relacionados porque los gases que agotan el ozono, como los CFCs, HCFCs y halones, también contribuyen al cambio climático.*

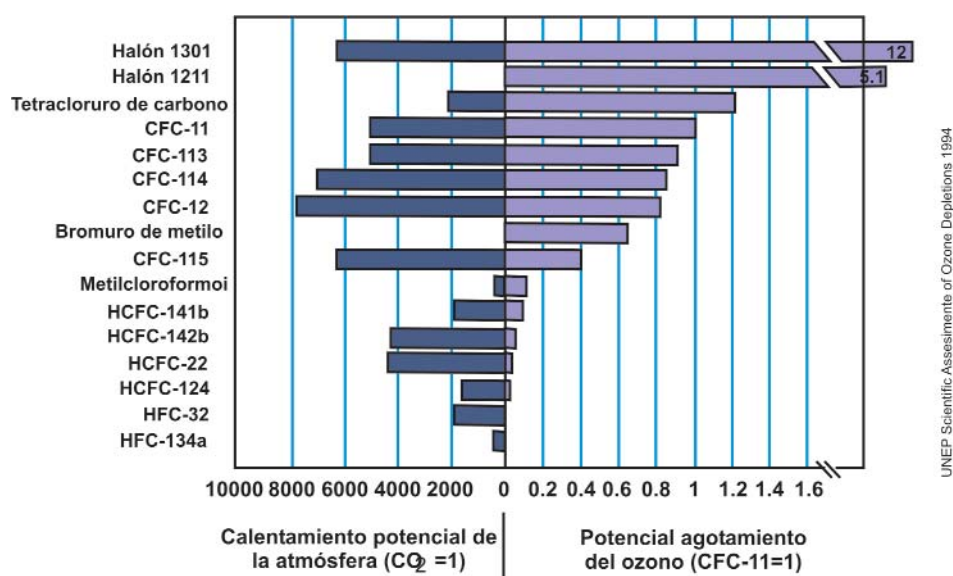
El agotamiento del ozono y el cambio climático están relacionados de varios modos, pero el agotamiento del ozono no es una causa importante del cambio climático.

Las actividades humanas han llevado a la acumulación en la atmósfera de varios gases de larga vida conocidos como "gases de efecto invernadero". El ozono es un gas de efecto invernadero junto con el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>), el óxido nitroso (NO) y gases fuente de halógenos. La acumulación de estos gases cambia el balance radiativo de la atmósfera de la Tierra entre la radiación solar entrante y la radiación infrarroja saliente. Los gases efecto invernadero generalmente cambian el balance absorbiendo la radiación saliente, provocando el calentamiento de la superficie de la Tierra. Este cambio en el balance de la radiación de la Tierra es lo que se conoce como forzamiento por radiación del cambio climático.

Como se indica en la siguiente figura, el mayor forzamiento por radiación proviene del dióxido de carbono, seguido por el metano, el ozono troposférico, los gases que contienen halógenos y el óxido nitroso. Todos estos forzamientos son positivos, lo cual lleva al calentamiento de la Tierra. En contraste, la disminución de ozono estratosférico representa un pequeño forzamiento negativo, que lleva aun enfriamiento de la superficie terrestre.

Según lo indicado en la figura, el aumento de dióxido de carbono es el aporte principal al cambio climático. Las concentraciones de dióxido de carbono están aumentando en la atmósfera primariamente como resultado de la quema de carbón, petróleo, y gas natural para energía y transporte. En la actualidad, la abundancia en la atmósfera de dióxido de carbono es un 30% mayor aproximadamente de la que existía hace 150 años.

El ozono atmosférico influye de dos formas en el equilibrio de las temperaturas de la tierra. Absorbe la radiación ultravioleta solar que calienta la estratosfera y también absorbe la radiación infrarroja emitida por la superficie de la tierra, atrapando de forma eficaz el calor en la troposfera. Por consiguiente, el impacto en el clima de las modificaciones en las concentraciones del ozono varía con la altitud a la que ocurren estos cambios del ozono.



Las pérdidas importantes del ozono que han sido observadas en la estratosfera inferior, debidas a los gases que contienen cloro y bromo producidos por el hombre, han tenido un efecto de enfriamiento de la superficie de la tierra. Por otro lado, los aumentos del ozono que se estima que han ocurrido en la troposfera, debidos a los gases que contaminan la superficie, tienen un efecto de calentamiento de la superficie de la tierra, por lo que contribuyen al efecto de invernadero.

Un factor adicional que enlaza indirectamente el agotamiento del ozono con el cambio climático es el forzamiento por radiación de los gases fuente de halógenos. Esto significa que muchos de los mismos gases que están produciendo el agotamiento del ozono contribuyen también al cambio climático.

Los clorofluorocarbonos (CFC), los hidroclorofluorocarbonos (HCFC), los hidrofluorocarbonos (HFC) y halones, contribuyen al efecto invernadero, y pueden causar el calentamiento de la Tierra. Sin embargo, se desconoce el efecto neto sobre el calentamiento de la Tierra de la emisión a la atmósfera de las sustancias dañinas para el ozono y la destrucción ulterior de la capa de ozono. El enfriamiento por radiación provocado por la pérdida del ozono estratosférico inferior podría compensar el calentamiento causado por las sustancias químicas destructoras del ozono. No obstante, el delicado equilibrio de la atmósfera no debe someterse a prueba porque no podemos pronosticar las consecuencias con seguridad absoluta.

A medida que las abundancias atmosféricas de los CFC disminuyen en virtud de las disposiciones del Protocolo de Montreal, se reducirá su contribución al calentamiento debido al efecto invernadero.

Por otra parte, el uso de hidrofluorocarbonos (HFC) y HCFC como sustitutos de los CFC, haría que aumentaran las contribuciones de estos nuevos compuestos al calentamiento por el efecto invernadero. Las observaciones mundiales de muchos HFC y HCFC, así como del fluoruro de hidrógeno, confirman que estas contribuciones van en aumento. Los CFC están siendo sustituidos por HFC, que tienen un elevado potencial de calentamiento mundial y se han incluido en el grupo de gases de efecto invernadero controlado por el Protocolo de Kyoto de la Convención sobre el Cambio Climático. En la actualidad, los países tratan de minimizar sus emisiones de HFC.

Algunas modificaciones climáticas de la tierra podrían influir en el futuro de la capa de ozono, dado que el ozono estratosférico está influenciado por modificaciones de las temperaturas y vientos en la estratósfera. El cambio climático puede incrementar el agotamiento del ozono y agravar sus consecuencias dado que la estratosfera se enfriaría con gran probabilidad en respuesta a cambios climáticos, por lo que persistirían por un tiempo más largo las condiciones que llevan al agotamiento del ozono en la atmósfera inferior, particularmente en las regiones polares, con el consiguiente incremento de los efectos que dependen de la acumulación de dosis UV a lo largo de un período prolongado, como el cáncer de piel y las cataratas.

En la actualidad, no han sido todavía evaluados, la amplitud y extensión de tal enfriamiento y, por consiguiente, tampoco se ha evaluado la demora en la recuperación de la capa de ozono. Y, debido a que el agotamiento del ozono ocasiona el enfriamiento del sistema climático, la recuperación de la capa de ozono en los próximos decenios contribuirá al calentamiento del sistema climático.

## **20. ¿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 comparaciones de las últimas mediciones con los valores anteriores. 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.*

La recuperación de la capa de ozono se basará en las comparaciones de los valores de ozono más recientes con los valores medidos en el pasado. Debido a su importancia, el ozono continuará midiéndose en un futuro. Los científicos buscarán mejoras en ciertos factores relacionados con la distribución de ozono, tales como:

- ▶ una disminución en la declinación del ozono total u ozono a altitudes específicas en la estratosfera
- ▶ un aumento en la cantidad de ozono total hacia valores medidos antes de 1980 cuando las abundancias de las fuentes de gases halógenos en la atmósfera eran mucho más bajas que hoy en día
- ▶ una reducción sostenida en el tamaño máximo del agujero de ozono "Antártico"
- ▶ un aumento sostenido del valor mínimo de ozono encontrado en el agujero de ozono Antártico
- ▶ menos disminución de ozono en los inviernos Árticos durante los cuales las temperaturas estén por debajo de las temperaturas de formación de nubes estratosféricas polares (NEP)

## **21. ¿Cuándo se espera que la capa de ozono esté recuperada?**

*Asumiendo un cumplimiento global del Protocolo de Montreal, se espera que la capa de ozono esté recuperada a mediados del Siglo XXI. Los gases que contienen cloro y bromo, y son la causa del agotamiento del ozono decrecerán en los tiempos venideros de acuerdo al Protocolo. De todas maneras, las erupciones volcánicas en las próximas décadas podrían demorar la recuperación del ozono por algunos años, y la influencia del cambio climático podría acelerar o demorar la recuperación del ozono.*

Se espera que el agotamiento del ozono causado por los compuestos de cloro y de bromo de producción humana desaparezca gradualmente a mediados del siglo XXI a medida que estos compuestos se retiran lentamente de la estratosfera mediante procesos naturales.

Los científicos pronostican que el agotamiento del ozono alcanzará su peor fase durante los próximos años y, seguidamente, disminuirá poco a poco hasta que la capa de ozono recupere la normalidad alrededor del año 2050, suponiendo que se dé plena aplicación al Protocolo de Montreal.

La capa de ozono se encuentra actualmente en su estado más vulnerable. Pese a la disminución de las emisiones de CFC, las concentraciones estratosféricas siguen en aumento (aunque disminuyen en la atmósfera baja) porque los CFC de largo tiempo de vida emitidos en años anteriores siguen subiendo a la estratosfera. Está disminuyendo la abundancia atmosférica de determinados CFC (sobre todo CFC 11 y CFC 113), de tetracloruro de

carbono y de metilcloroformo. La abundancia de la mayoría de los halones sigue en aumento. Naturalmente, las concentraciones de HCFC y HFC están aumentando, ya que se utilizan como sucedáneos de los CFC que se van eliminando gradualmente.

La protección de la capa de ozono ha tenido éxito gracias a que la ciencia y la industria han podido elaborar y comercializar alternativas de los productos químicos que agotan el ozono. Los países desarrollados pusieron fin a la utilización de CFC con más rapidez y a menor costo de lo que en un principio se previó. Los sucedáneos han resultado especialmente importantes en la electrónica. El sector de producción de espumas ha utilizado agua, dióxido de carbono e hidrocarburos, así como HCFC. El sector de la refrigeración y el acondicionamiento de aire ha utilizado en gran medida HCFC como alternativas, pero el nuevo equipamiento utiliza cada vez más sustitutivos con un potencial de agotamiento del ozono nulo, incluidos los hidrofluorocarbonos (HFC), el amoníaco y los hidrocarburos.

## **22. ¿Cuál ha sido la contribución de los países en desarrollo al agotamiento del ozono?**

*Históricamente, en los países en desarrollo la utilización de SAO y la fabricación o importación de equipos que contienen esas sustancias han sido muy limitadas. En 1986 los países en desarrollo de Asia, África y América Latina representaban solamente 21 % del consumo mundial de CFC y halones. Los países en desarrollo eran responsables de una proporción aún menor de emisiones; dado que el 90 % de los CFC se emitían en latitudes que corresponden a América del Norte, Europa y Japón.*

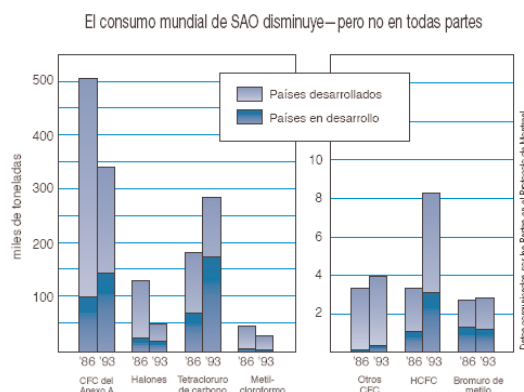
Reconociendo la necesidad de expansión económica de los países en desarrollo y que su consumo de CFC era relativamente bajo, se asumieron las responsabilidades comunes a este efecto, pero diferenciadas de acuerdo a su incidencia en el fenómeno global. El Protocolo de Montreal les concedió un plazo de diez años adicionales al plazo que se aplica a los países desarrollados, para poner en práctica las medidas de reducción y eliminación gradual exigidas por el Protocolo. Además, en su reunión de 1990 en Londres, las Partes crearon un mecanismo financiero encargado de prestar asistencia técnica y económica a los países en desarrollo para la ejecución de sus programas de protección del ozono. Hasta el momento esta asistencia se brinda a los países en desarrollo en carácter de donaciones.

Para tener derecho a recibir apoyo en el marco de ese mecanismo, las Partes deben ser países en desarrollo y consumir menos de 0,3 kg por persona y por año de sustancias controladas. Más de 100 países reúnen estos criterios; se los denominan países Partes en el 'Artículo 5' pues es esa cláusula del Protocolo de Montreal la que define su situación.

No obstante, a medida que los países desarrollados eliminan las SAO y otros se industrializan, la participación de los países en desarrollo en el consumo va en aumento. El consumo de los países desarrollados era de 65 % en 1986 pero solamente de 47 % en 1992.

La contribución de Asia al consumo ascendió durante el mismo periodo de 19 a 30 % mientras que la de Europa Oriental pasaba de 14 a 21 %.

La evolución de la distribución geográfica de las emisiones de SAO indica que las políticas de los países en desarrollo en materia de SAO cobrarán cada vez mayor importancia para el medio ambiente mundial. Varios países en desarrollo, amparados por el Artículo 5, se están industrializando rápidamente con las nuevas alternativas a las sustancias que agotan la capa de ozono.



### 23. ¿Qué se ha hecho en nuestro país?

*En nuestro país fue creada la Oficina Programa Ozono que es la encargada de llevar adelante todas las acciones necesarias a las que el país se ha comprometido a nivel internacional para cumplir con los requisitos establecidos en el Protocolo de Montreal.*

Frente a la problemática del adelgazamiento de la capa de ozono, la República Argentina suscribió el Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono de 1985 y lo aprobó mediante Ley N° 23.724, sancionada el 23 de septiembre de 1989. Por esta ley, la República Argentina se obliga a tomar las medidas apropiadas para proteger la salud humana y el medio ambiente contra los efectos adversos resultantes o que pueden resultar de las actividades humanas que modifiquen o puedan modificar la capa de ozono.

También aprobó el Protocolo de Montreal por Ley N° 23.778 sancionada el 10 de mayo de 1990, el cual identifica a las SAO y establece un programa para su reducción y eliminación. Asimismo, ha ratificado las enmiendas de Londres en 1993 por Ley N° 24.167, la de Copenhague en 1994 por Ley N° 24.418, y la de Montreal en 2000 por Ley N° 25.389.

La Ley N° 24.040 sancionada el 27 de noviembre de 1991 regula la aplicación de las restricciones al Consumo de Sustancias Controladas del Anexo A del Protocolo de Montreal en lo que respecta al uso de CFCs, establece sanciones de carácter penal, tales como apercibimiento, multas, inhabilitación y clausura de establecimientos en caso de incumplimiento.

El Decreto N° 177/92, del 24 de enero de 1992 establece en su artículo 4° que la autoridad de aplicación de la Ley 24040 será la ex-Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable, actual Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable.



El Decreto N° 265/96, creó en el ámbito de la hoy Dirección Nacional de Gestión Ambiental de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (S.AyD.S.) la Oficina Programa Ozono, a los fines de facilitar la coordinación y efectividad del Plan de Acción del Gobierno Nacional para el cumplimiento del Protocolo de Montreal. La financiación de su actividad será realizada con los recursos que provengan del FMPM para el fortalecimiento institucional, ejecutado a través del PNUD.

Por Resolución N° 745/99 - S.R.N.yD.S se crea en el ámbito de la Subsecretaría de Ordenamiento Ambiental, Dirección Nacional de Ordenamiento Ambiental, el Programa Ozono, que tiene a su cargo el desarrollo de todas las actividades relacionadas con la aplicación del Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono, el Protocolo de Montreal y las funciones asumidas por la OPROZ.

La Resolución N° 894/99 - S.R.N.yD.S. declaró de interés ambiental el Día Internacional de la Protección de la Capa de Ozono.

La Resolución N° 620/2002 - S.A.yD.S. autorizó la comercialización de Halón 1301, Halón 1211 y Halón 2402 como agentes extintores de fuego para instalaciones fijas y/o portátiles en los casos considerados de "usos críticos".

Por Resolución N° 296/03 - S.A.yD.S. se amplió el listado de sustancias que quedan comprendidas en las disposiciones de la Ley N° 24.040.

En el ámbito de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable se encuentra ubicada la **Oficina Programa Ozono** (OPROZ), creada por el Decreto PEN 265/96 y constituida por un representante del Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio Internacional y Culto, uno de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable del Ministerio de Salud, y un tercero de la Secretaría de Industria, Comercio, Minería y de la Pequeña y Mediana Industria del Ministerio de Economía y Producción.

Como lo señala el art. 2 inciso a) del mencionado Decreto, la función específica de la OPROZ es asesorar a los organismos técnicos competentes en la implementación del PROGRAMA PAIS. Se destaca que la ubicación institucional de la citada Oficina en el ámbito del organismo ambiental nacional, otorga a esta Secretaría una mayor competencia sobre los temas tratados y una mayor responsabilidad en el cumplimiento de los objetivos. Lo expuesto queda reafirmado con el "rol" de Autoridad de Aplicación que tiene este organismo con las Leyes 23.778 y 24.040, que guardan relación con el Protocolo de Montreal.

El objetivo esencial perseguido es dar cumplimiento a lo establecido en el PROGRAMA PAIS, presentado y aprobado por el Comité Ejecutivo del Fondo Multilateral del Protocolo de Montreal (CEFMPM) en su 13° Reunión en julio de 1994. El Programa de reducción incluido en este Programa País refleja los objetivos del Gobierno y la industria para reducir el consumo de sustancias controladas en la Argentina y al mismo tiempo, procura minimizar y compensar el costo social derivado del cumplimiento de las obligaciones contraídas por el país con el Protocolo de Montreal.

El **Programa País** establece, entre otros, un programa de reconversión industrial de las empresas que emplean sustancias que agotan la capa de ozono (SAO) hacia el uso de tecnologías alternativas. Los proyectos son financiados con fondos provenientes del Fondo Multilateral del Protocolo de Montreal (FMPM) y ejecutados por cuatro Agencias de Implementación:

- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)
- Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI)
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)
- Banco Mundial.

El Fondo Multilateral del Protocolo de Montreal -FMPM- es el mecanismo financiero establecido en el marco del Protocolo de Montreal en la Enmienda de Londres (1990), que respalda las políticas, los programas y los proyectos de inversión relacionados con la eliminación de SAO en los países del Artículo 5. Las empresas que resultan elegibles son aquellas constituídas por capital nacional o de algún país en vías de desarrollo (países que operan al amparo del párrafo 1 del art. 5 del Protocolo de Montreal). El Fondo satisface los costos incrementales en que incurren estos países para aplicar las medidas de control del Protocolo y financia asistencia técnica, información, capacitación, así como proyectos de reconversión.

La OPROZ lleva adelante programas de reconversión industrial y de sectores agrícolas a tecnologías que no afecten la capa de ozono, así como de capacitación de los sectores involucrados, con asistencia del Fondo Multilateral del Protocolo de Montreal. El objetivo de los proyectos de reconversión industrial es la sustitución de las tecnologías que dependen del uso de Sustancias que Agotan la Capa de Ozono (SAOs) por otras que no afectan la capa de ozono, o que lo hacen en menor medida hasta lograr una sustitución definitiva.

En el marco del proyecto, el uso de CFCs en sectores diferentes sectores industriales está siendo reemplazado por otras sustancias alternativas. A fines del año 2003, en nuestro país ya se habían reconvertido o estaban en proceso de reconversión 165 empresas de distintos sectores industriales distribuidas en todo el país. El FMPM aprobó hasta la fecha, para la Argentina, más de 134 proyectos por un monto superior a U\$S 65.000.000, tales como:

- ▶ Reconversión industrial en los sectores espumas (36 proyectos en la fabricación de colchones, aislaciones térmicas, etc.), refrigeración (24 para la fabricación de heladeras domésticas, comerciales e industriales), solventes (4), aerosoles industriales (2), esterilización (1), aire acondicionado automotor (5)
- ▶ Reconversión agrícola para la eliminación del uso de bromuro de metilo (3 proyectos demostrativos y 2 de inversión)
- ▶ Cierre de producción de CFCs
- ▶ Puesta en marcha del banco de Halones
- ▶ Sistema de licencias de importación/exportación de SAOs
- ▶ Capacitación en buenas prácticas para técnicos en refrigeración

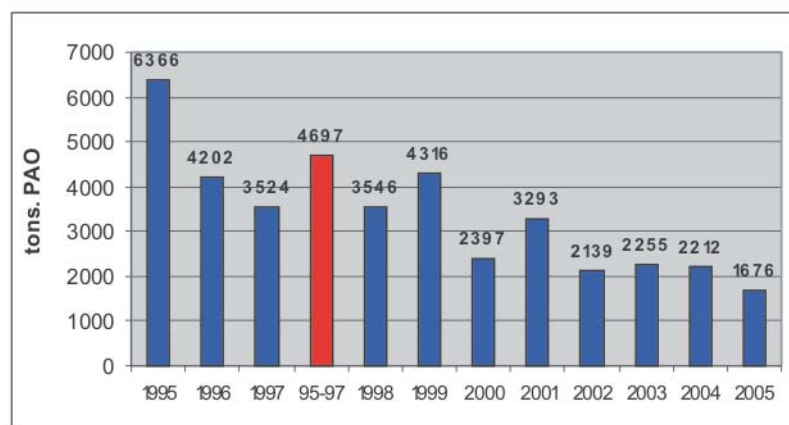
- ▶ Capacitación de Funcionarios Aduaneros
- ▶ Plan nacional de recuperación y reciclado de CFC

Asimismo, en el ámbito de la Dirección Nacional de Gestión Ambiental (DNGA), fue creado el PROGRAMA OZONO a través de la Resolución N°745/99, con el objeto de cumplimentar, entre otras, las tareas relacionadas con la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable ante la OPROZ.

La Oficina Programa Ozono (OPROZ) es asistida por los Grupos Consultivos del Ozono (GRUCO), de carácter honorario, que tendrán por objeto asesorar y proponer iniciativas sobre temas relacionados con el cumplimiento del Protocolo de Montreal.

En relación al **Logro del Cumplimiento** de los objetivos, los datos sobre consumo de CFCs en la Argentina revelan una clara tendencia decreciente desde 1995 debido a la implementación de varios proyectos, principalmente la reconversión industrial de empresas que fabrican espumas y de aquellas dedicadas a la refrigeración, de tecnologías con CFC a otras que no utilizan estas sustancias, y debido también a las actividades de monitoreo de la Oficina Programa Ozono (OPROZ).

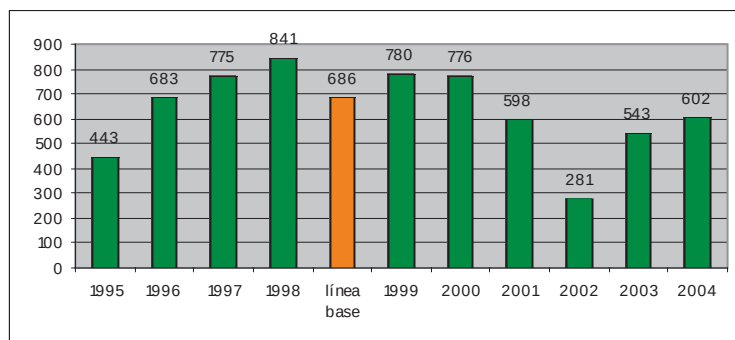
La línea base de consumo de CFCs para los años 1995-97 es de 4697 toneladas PAO por año. En el año 2000, el consumo en el país cayó a 2397 toneladas, un 45% menos que en los años correspondientes a la línea base. La caída importante en el consumo de CFC-11 y CFC-12 en comparación con el año anterior, se debió a un excesivo almacenamiento por parte de DuPont Argentina a fines de 1999, con vistas al cierre de su planta proveedora en Brasil (DuPont Brasil). No obstante, puede observarse en el siguiente gráfico que los niveles de consumo de CFC están disminuyendo gradualmente por debajo de los valores permitidos por el Protocolo de Montreal.



Al considerar los diferentes segmentos, hubo algunos usos finales en los que la caída fue más significativa, el CFC-11 en la fabricación de refrigeradores de uso doméstico y el CFC-12 en los aire acondicionados nuevos y en la reparación de los ya existentes.

Desde fines de 1996 se prohibió la importación de halones mediante la Ley 24.040. Desde entonces no se han informado a la OPROZ importaciones de halones. Se encuentra en ejecución el Programa Nacional de Banco de Halones y la reglamentación para su operación está siendo procesada. Se promulgó en el año 2002 una norma para los usos críticos de halones (Resolución 620/2002).

El consumo **de bromuro de metilo** para aplicaciones no relacionadas con cuarentena y pre-embarque se encontraba por encima de la línea base (promedio de 1995-98) en los años 1999 y 2000 como puede observarse en la siguiente figura. Para cumplir con los niveles de congelamiento en el uso de bromuro de metilo para el 2002 debía reducirse su consumo en otras 54.6 toneladas de PAO. A fin de cumplir con esta meta, la Argentina debía lograr una reducción adicional de casi un 12% con respecto al nivel de consumo del año 2000.



Por ello, desde entonces, el país ha realizado grandes esfuerzos por revertir la tendencia a un mayor consumo en la fumigación de suelos, a través de reuniones con las partes interesadas y programas de sensibilización, y con la implementación de los proyectos de demostración y de inversión aprobados por el FMPP para los sectores de frutillas, flores y vegetales, tabacalero y en el cultivo de vegetales a campo abierto, así como tratamiento pos-cosecha de cítricos y algodón. En este sentido, la implementación de proyectos de inversión es un factor clave para asegurar el cumplimiento con el nivel de congelamiento.

Los países desarrollados son los principales responsables de las emisiones de SAO a la atmósfera y, por ende, la responsabilidad debe ser común, pero diferenciada.

Para un país en desarrollo, en el cual la pobreza sigue siendo la principal causa generadora de problemas ambientales, la aplicación de las medidas de control tiene impactos sobre la industria y los componentes económicos y sociales involucrados.

Es por ello que el gobierno argentino siempre ha tenido en cuenta esas implicancias y ha emprendido las acciones necesarias de prevención pero, al mismo tiempo, ha considerado prioritariamente los impactos que en el sector productivo ellas pueden comprometer.

Como conclusión, la Argentina ha logrado un gran avance en la protección de la salud humana y del medio ambiente, salvaguardando, además, los intereses de los sectores productivos nacionales, conjugando de esta manera la debida protección al ambiente, con los legítimos intereses económicos en juego.

El logro obtenido es el fruto de una larga gestión por parte de los organismos técnicos nacionales, y de la adecuada negociación intergubernamental, coordinada por la OPROZ, confluyendo así en un trabajo que toma en cuenta los intereses actuales y futuros de los sectores productivos industriales y agropecuarios afectados por la problemática del uso de las SAO.

## **BIBLIOGRAFIA**

1. Twenty Questions and Answers About the Ozone Layer. Scientific Assessment of Ozone depletion: 2002. OMM, Comisión Europea, PNUMA, ANOA, NASA. Marzo 2003.
2. NOTA INFORMATIVA: Hechos y datos básicos sobre la ciencia y la política de la protección del ozono, Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, julio de 2002.
3. GACETILLA N° 5 - AÑO 2002. Estación de Vigilancia Atmosférica Global, Ushuaia -Argentina. Fuerza Aerea Argentina y Servicio Meteorologico Nacional.
4. Preguntas frecuentes: Grupo de evaluación de los efectos ambientales del gotamiento del ozono coordinadas por Janet F. Bornman y Jan C. van der Leun. <http://www.unep.org/ozone/faq-env-sp.shtml>
5. Síntesis de los Informes de 2002 del Grupo de Evaluación Científica, el Grupo de Evaluación de Efectos Ambientales y el Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica del Protocolo de Montreal. Julio de 2003. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
6. Página web de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable: <http://www.medioambiente.gov.ar/ozono/default.htm>
7. Salvar la Capa de Ozono: cada acción cuenta. Programa Acción Ozono. PNUMA, 1996
8. Cuidemos la Capa de Ozono. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable Programa Ozono, 2002.