

**Síntesis
de los
Informes de los Grupos de evaluación
científica, de efectos ambientales,
tecnológica y económica
del Protocolo de Montreal**

**Decenio de evaluaciones
destinadas a
los que adoptan decisiones respecto a la
protección de la capa de ozono:
1988-1999**



**Programa de las Naciones Unidas para el
Medio Ambiente
Secretaría del Ozono**

Equipo de redacción de la Síntesis de los Informes

Daniel L. Albritton

Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos

Stephen O. Andersen

Organismo para la Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos

Piet J. Aucamp

Ptersa Environmental Consultants, Sudáfrica

Suely Carvalho

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)

Lambert Kuijpers

Universidad Técnica, Eindhoven, Países Bajos

Gérard Mégie

Service d Aéronomie du CNRS, Francia

Xiaoyan Tang

Universidad de Beijing, China

Manfred Tevini

Universidad de Karlsruhe, Alemania

Jan C. van der Leun

Hospital Universitario, Utrecht, Países Bajos

Robert T. Watson

Banco Mundial, EUA

Secretaría: Nelson Sabogal

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (Secretaría del Ozono)

Índice

PREFACIO	VII
1. EL PASADO DECENIO: - EL PROTOCOLO DE MONTREAL Y LOS GRUPOS DE EVALUACIÓN.....	1
A. Antecedentes: Puesta en escena.....	1
B. Los primeros signos en la búsqueda de datos	2
C. Los años de debate: Es digno de atención el asunto del agotamiento del ozono.....	3
D. El Convenio de Viena de 1985 y el Protocolo de Montreal de 1987	4
E. Después de 1987: El primer decenio del Protocolo y los grupos de evaluación	5
2. LA CAPA DEL OZONO EN LA ACTUALIDAD Y SU PROTECCIÓN: LOS AVANCES EN SU COMPRENSIÓN.....	13
A. Principales resultados de la investigación: "Evaluación científica del agotamiento del ozono: 1998"	13
B. Principales resultados de la investigación: "Informe del grupo de evaluación de efectos ambientales: 1998"	15
C. Principales resultados de la investigación: "Informe del grupo de evaluación tecnológica y económica: 1998"	17
3. NUESTRA FUTURA CAPA DE OZONO	25
A. Panorama de un mundo que logramos evitar.....	25
B. El mundo que tenemos por delante: La situación actual	27
C. El mundo que tenemos por delante: Opciones de cambio	29
D. Epílogo.....	32

Prefacio

Objetivo. El objetivo del presente informe es doble: i) Presentar a modo de síntesis los principales resultados y conclusiones a los que llegaron en 1998 los tres Grupos de evaluación del Protocolo de Montreal, y ii) encuadrar esta información en el contexto del pasado decenio en el transcurso del cual se han presentado evaluaciones a las Partes en el Protocolo.

Origen. La génesis de los tres grupos de evaluación se encuentra en el texto del Protocolo de Montreal en virtud del Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono. En el Artículo 6, "Evaluación y examen de las medidas de control", se establece el siguiente proceso de evaluación:

"A partir de 1990, y por lo menos cada cuatro años en lo sucesivo, las Partes evaluarán las medidas de control previstas en el Artículo 2, teniendo en cuenta la información científica, ambiental, técnica y económica de que dispongan. Al menos un año antes de hacer esas evaluaciones, las Partes convocarán grupos apropiados de expertos competentes en las esferas mencionadas y determinarán la composición y atribuciones de tales grupos. En el plazo de un año a contar desde su convocación, los grupos comunicarán sus conclusiones a las Partes, por conducto de la Secretaría."

Grupos de evaluación. Mediante esta decisión se separó el proceso de evaluación del proceso político (es decir, de toma de decisiones) y se determinó el proceso por el cual se encaminan las comunicaciones desde las Partes y hacia las Partes. En su primera reunión, celebrada en Helsinki en Mayo de 1989, las Partes decidieron, de conformidad con el Artículo 6, dar su apoyo al establecimiento de los cuatro siguientes grupos de evaluación:

Grupo de evaluación científica

Grupo de evaluación ambiental

Grupo de evaluación técnica, y

Grupo de evaluación económica.

A partir de 1990, se fusionaron los dos últimos grupos para constituir el grupo de evaluación tecnológica y económica.

Métodos. Los tres grupos de evaluación en funciones desempeñan periódicamente su tarea de evaluar los adelantos logrados en la comprensión de los fenómenos, de la siguiente manera:

- *Grupo de evaluación científica.* Los cuatro copresidentes, con los datos recopilados por un grupo especial directivo de investigadores internacionales, planifican el ámbito y el contenido y designan a los encargados de redactar el próximo informe de evaluación. Los copresidentes y los redactores principales seleccionados se reúnen para concretar los planes y coordinar el contenido de los capítulos y la preparación de los primeros borradores. Los redactores cuentan con la ayuda de los datos que aporta un gran número

de investigadores de todo el mundo. El anteproyecto resultante es objeto de una revisión por correo de los colegas (en la que intervienen varios revisores por cada capítulo) y de una revisión subsiguiente, de una semana de duración, durante la cual se llega a un acuerdo sobre las conclusiones de los capítulos y se dan los últimos toques al resumen ejecutivo.

- *Grupo de evaluación de efectos ambientales.* El grupo de evaluación de efectos ambientales está constituido por 25 miembros. Se trata de científicos en los campos de la fotobiología y de la fotoquímica, que trabajan principalmente en universidades e institutos de investigación. Los miembros del grupo redactan los diversos capítulos, a veces con la ayuda de colegas para temas especializados. Los redactores de un capítulo revisan los capítulos redactados por los otros, y el grupo en conjunto asume la responsabilidad de toda la evaluación. Se remite un proyecto de evaluación a revisores científicos externos de todo el mundo. Entre una y otra evaluación principal, el grupo se reúne por lo menos una vez al año e informa a las Partes acerca de los nuevos acontecimientos.
- *Grupo de evaluación tecnológica y económica.* Pertenecen al grupo desde 1990 cinco Comités de opciones técnicas: aerosoles, esterilizantes, y usos varios; espumas rígidas y flexibles; halones; refrigeración, aire acondicionado y bombas de calor; y solventes, revestimientos y adhesivos. Se sumó a los cinco comités en 1991 el Comité Económico y en 1993 el Comité de opciones técnicas sobre metilbromuro. Preparan los informes periódicos de evaluación Comités permanentes de la industria, del gobierno, y de expertos académicos y los textos son en gran parte revisados por la comunidad técnica en sentido amplio. El grupo de evaluación tecnológica y económica publica informes en los que se incluyen los resúmenes ejecutivos de los informes técnicos y éstos son objeto de una revisión interna. Además, el grupo, con sus 23 miembros procedentes de 17 países, se ha convertido en un "grupo asesor permanente" acerca de un elevado número de asuntos técnicos y económicos, ya que las Partes solicitaban su aporte antes de adoptar una creciente diversidad de decisiones. Por consiguiente, el grupo ha publicado anualmente informes generales de actualización, así como informes acerca de numerosos temas.

En el Apéndice A se presenta una lista de 60 informes de evaluación destinados a las Partes y preparados por los tres Grupos de evaluación en el transcurso del pasado decenio: 1988 - 1999. En el Apéndice B se presenta la lista de los expertos de todo el mundo que ayudaron a preparar estas evaluaciones de los adelantos logrados en la comprensión de los fenómenos. En su experiencia y conocimientos se basa la información presentada a las Partes.

Los informes de 1998. La síntesis del presente informe se ha deducido de los informes recientemente completados por los tres grupos de evaluación:

"Evaluación científica del agotamiento del ozono: 1998" (~750 pp)

"Efectos ambientales del agotamiento del ozono: evaluación de 1998" (~200 pp)

"Informe del grupo de evaluación tecnológica y económica, 1998" (~300 pp)

En el Apéndice C se reproducen el índice y el resumen ejecutivo de cada uno de los tres informes de 1998.

Cómo emplear esta síntesis: A continuación se explica brevemente a modo de guía el formato de esta síntesis:

- En la *Sección I* se presenta el "contexto histórico", ilustrando la forma en la que las decisiones sucesivas adoptadas por las Partes se basaban en los informes previos de evaluación y reflejaban su contenido.
- En la *Sección II* se presentan los resúmenes de los resultados importantes en 1998 de la investigación de los tres grupos de evaluación.
- La *Sección III* se concentra en el "futuro" analizando ejemplos de opciones para el estudio de posibles medidas de política destinadas a la protección de la capa de ozono. Concretamente, se describen en esta sección las reacciones atmosféricas previstas en función de una u otra de estas opciones y la viabilidad técnica y económica de aplicarlas. Se describe también en esta sección la forma en que los cambios atmosféricos que no están relacionados con compuestos químicos de cloro y de bromo pudieran influir en la recuperación de la capa de ozono.
- *Apéndices:* Además de proporcionar detalles en apoyo de lo indicado anteriormente, se incluyen dos conjuntos de "preguntas frecuentes" acerca de la ciencia de los cambios del ozono y de sus efectos. Estas preguntas que son directamente una nueva reproducción impresa de los informes de 1998 del grupo de evaluación científica y del grupo de evaluación de efectos ambientales son las que plantea con más frecuencia el público acerca del tema de la capa de ozono. Las respuestas se basan en la información que figura en las evaluaciones pero han sido redactadas para lectores que no necesariamente poseen conocimientos técnicos.

El pasado es el prólogo del futuro. En la última sección del presente informe, los grupos introducen una pausa para describir "el mundo que debemos evitar"; es decir, presentan un pronóstico de lo que pudiera haber ocurrido de no existir el Protocolo de Montreal. La índole de "dicho mundo" subraya el elevado valor de los esfuerzos de tantas personas en todo el mundo que lucharon enfrentándose a decisiones y acciones retardadoras asociadas al asunto del agotamiento de la capa de ozono. Los grupos de evaluación se sienten orgullosos y satisfechos de haber proporcionado a lo largo del pasado decenio la información en la que se basó el proceso histórico del Protocolo de Montreal y no han cesado en su dedicación a este proceso evolutivo.

El pasado decenio: El Protocolo de Montreal y los grupos de evaluación

A. Antecedentes: Puesta en escena

La capa de ozono estratosférica de la Tierra es una característica natural de la atmósfera de nuestro planeta. Se formó como parte de la temprana evolución de la atmósfera. Empezando en el decenio de 1880 y continuando en los primeros decenios del Siglo XX, los científicos descubrieron que existía la capa de ozono, empezaron a explorar sus características y trataron de explicar su existencia. En el decenio de 1930, los investigadores explicaron progresivamente los mecanismos químicos por los que se mantiene la capa de ozono. Existe, por decirlo así, un equilibrio entre i) la producción del ozono a partir del oxígeno como efecto de la radiación solar y ii) la destrucción del ozono por reacciones químicas con sustancias químicas que existen naturalmente en la atmósfera (por ejemplo, hidrógeno y nitrógeno). El hecho de que esta pérdida de ozono sea consecuencia de reacciones "catalíticas" significa que solamente una cantidad relativamente pequeña de sustancias químicas rectoras puede retirar masas importantes de ozono sin que desaparezcan ellas mismas. Se reconoció también muy pronto que los movimientos del aire distribuyen el ozono por todo el mundo para desplegar las configuraciones observadas. (En realidad, la vigilancia mundial de la capa de ozono se inició en el decenio de 1950 para utilizar el ozono en parte como "trazador" para estudiar la circulación atmosférica a gran escala.)

Junto con estos avances en la comprensión de la capa de ozono propiamente dicha se profundizó el conocimiento de su importancia para la vida sobre la Tierra. Se sabía ya en épocas muy tempranas (decenio de 1880) que la capa de ozono absorbía la mayor parte de la radiación ultravioleta solar de onda corta, UV-B. Además, los estudios biológicos caracterizaban los impactos positivos y negativos de la radiación UV-B en diversas formas vivientes. Aunque se observó que la radiación UV-B estimularía la formación de vitamina D en la piel humana (1937) y destruiría las bacterias (1929), también se descubrió que tenía efectos nocivos en el hombre, tal como quemaduras de sol (1922) y cáncer cutáneo (1928), y que causaría daños importantes en las plantas (1965).

En 1928, la industria química elaboró un compuesto no inflamable y no tóxico denominado clorofluorocarbono (CFC), en sustitución de compuestos peligrosos (tales como el cloruro de metilo y el dióxido de azufre) que se utilizaban en aquella época en los refrigeradores domésticos. En el decenio de 1950, se extendió el uso de los CFC. Las aplicaciones de los CFC crecieron aún más en el decenio de 1970 por razón del éxito alcanzado, de su reducido costo y de su popularidad: refrigerantes, aire acondicionado, agentes de espumación, disolventes y usos médicos, con muy pocas otras alternativas conocidas en tales fechas. Del

mismo modo, se elaboraron e introdujeron con agresividad en el mercado como medios de protección contra incendios los halones (compuestos que contienen bromo) por razón de su eficacia y bajo costo. Además, más de la mitad de la producción de CFC se dedicaba a aplicaciones de "valor inferior", particularmente productos de tocador aplicados mediante aerosoles, plaguicidas, generadores de ruidos, pulverizadores, y juguetes. Aunque se disponía de alternativas, estas no se propagaron por varios motivos, por ejemplo, por falta de una motivación importante en cuanto al costo y por razón de la seguridad.

A principios del decenio de 1970 se aplicó en diversos lugares de la superficie de la tierra una técnica analítica sensible recientemente elaborada. Se comprobó que el uso de los CFC, dada su producción industrial, su consumo y sus emisiones constituía ya una parte importante de la atmósfera mundial.

El resultado fue que, "se levantó el telón" del "drama" de la capa de ozono cuyas escenas se desenvolverían en el transcurso de los últimos veinticinco años del Siglo XX. Se descubrió a principios del decenio de 1970 que los ciclos químicos naturales, tales como los del hidrógeno y del nitrógeno, constituían un factor en el mantenimiento de los niveles ambientales de la capa de ozono. Se supo que la capa de ozono ambiental, apantallaba la radiación UV-B solar nociva y que esto era de suma importancia para el bienestar de la humanidad. Se supo que estábamos produciendo y utilizando más cantidades de nuevos compuestos químicos que estaban surgiendo en la atmósfera inferior. Lo que *todavía no se sabía* era que i) estábamos provocando exageradamente un tercer ciclo químico, el del cloro que hasta entonces había constituido un factor despreciable para la capa de ozono e ii) nuestras actividades podrían llevar a disminuciones importantes del ozono y a un aumento de la radiación UV-B. Pero todavía no se habían dado las últimas pinceladas de información para completar este cuadro.

B. Los primeros signos en la búsqueda de datos

Al abrirse la posibilidad de rutas estratosféricas para la aviación supersónica las reacciones químicas catalíticas de la atmósfera pasaron de ser un tema puramente científico a uno que estaba en el núcleo de las preocupaciones medioambientales. Al iniciarse el decenio de 1970 los investigadores de la atmósfera del medio ambiente y de la técnica empezaron a examinar el impacto posible en el medio ambiente de una flota mundial de aeronaves supersónicas. En estos estudios se destacó el hecho de que los compuestos de nitrógeno reactivo en los gases de escape de los motores pudieran aumentar el efecto químico catalítico del nitrógeno estratosférico. Estas emisiones aumentarían este componente del ciclo de nitrógeno en la pérdida del ozono y, por consiguiente, incorporarían un "desequilibrio" a los procesos que crean y destruyen el ozono, y que en definitiva llevan a una capa de ozono más delgada.

Como se indicó anteriormente, la comunidad científica reconocía las consecuencias nocivas de una capa de ozono más delgada. La posibilidad de que esto ocurriera y de que se causaran efectos nocivos para los seres humanos y para otros organismos atrajo la atención del público al debate sobre el transporte supersónico y planteó el asunto de la protección de la capa de ozono.

A mediados del decenio de 1970, se levantó aún más el telón del drama del ozono con dos nuevos descubrimientos. El primero fue que la *química del cloro* pudiera también intervenir en

la destrucción catalítica del ozono estratosférico. En segundo lugar se adujo que la descomposición de los CFC en la estratosfera por la radiación solar intensificaría la química catalítica del cloro por lo que el uso creciente de los CFC llevaría a un adelgazamiento de la capa de ozono, a la que seguirían los efectos nocivos de la radiación UV-B. Además, puesto que se había demostrado que los CFC tenían tiempos de residencia en la atmósfera (de decenios a siglos), esto significaba que la pérdida del ozono continuaría por muchos años después de que se redujeran las emisiones de CFC a la atmósfera.

Veinte años más tarde, recibieron en 1995 el Premio Nobel de Química tres científicos que reconocieron la importancia de la química atmosférica para la creación y la pérdida del ozono, particularmente por la función que desempeñan la química del nitrógeno y los CFC.

C. Los años de debate: Es digno de atención el asunto del agotamiento del ozono

Desde mediados del decenio de 1970 hasta mediados del de 1980 se iniciaron actividades completas de laboratorio, de observaciones de campo y de modelos de predicción en las ciencias de la atmósfera, de la biología y de la salud, así como en la caracterización tecnológica del agotamiento del ozono. El cúmulo de resultados y el mosaico resurgente de comprensión de diversas evaluaciones estaban llevando a una caracterización importante de la relación entre la capa del ozono y la humanidad. Se destacan como ejemplos varios hitos importantes a lo largo de esta senda, constituidos en primer lugar como hipótesis y más tarde como comprensión predictiva.

Se observaron en la estratosfera las cantidades pronosticadas de los CFC. Se observó también directamente el cloro como sustancia importante de la reacción en cadena de pérdida del ozono. Se descubrió que el influjo del bromo en la destrucción del ozono era varias veces superior al del cloro. Las observaciones por todo el mundo de la presencia de los CFC y de los halones en la atmósfera manifestó aumentos anuales constantes (de varias cifras de porcentaje anual). Se comprobó que un aumento del agotamiento del ozono llevaba a un mayor porcentaje de los impactos (p. ej., cáncer cutáneo) correspondientes a una mayor radiación UV-B. Se señaló la serie de compuestos que agotaban el ozono y su fabricación, y se inició la cuantificación e inventario de sus tasas de liberación a la atmósfera, por ejemplo, pérdidas de CFC de los equipos de aire acondicionado de vehículos. Se indicó que era posible utilizar hidrofluorocarbonos (HCFC) como alternativas de los CFC y se caracterizaron las propiedades pertinentes a la refrigeración de algunos hidrofluorocarbonos (HFC).

El público intervino en los debates sobre políticas. Se evaluaron y notificaron los resultados de un decenio de investigación concentrada. Por ejemplo, en 1985 aunque no podía todavía distinguirse inequívocamente el agotamiento del ozono producido por los CFC de la variación natural de la capa de ozono, se pronosticó que si continuaran aumentando en el futuro las emisiones de CFC, entonces i) continuarían probablemente ocurriendo en los decenios venideros pérdidas importantes del ozono, ii) los plazos de recuperación de la capa de ozono serían inevitablemente de una duración de decenios a siglos, iii) la radiación resultante elevada de UV-B a lo largo de períodos tan prolongados causaría impactos significativos en los seres humanos, animales y plantas que se manifestarían en los decenios venideros. Además, se notificó en 1985, un descubrimiento sorprendente en dichas fechas;

es decir, se estaba comportando de una forma inesperada la capa del ozono sobre "el último lugar de la Tierra", la Antártida. Por otro lado, se señaló que: i) los CFC y los halones eran factores importantes en el actual desarrollo económico, en el bienestar de los consumidores y en la salud pública, e ii) no había por el momento sustitutos disponibles y serían considerables los gastos asociados a evaluar la toxicidad y a hacer que se aceptaran ampliamente en el medio ambiente otros compuestos sustitutos.

El debate se realizaba en los foros nacionales y en el foro internacional. Además de la información sobre la situación, a mediados del decenio de 1980, de la capa de ozono y sus efectos y de los datos técnicos y económicos anteriormente mencionados, los encargados de adoptar decisiones estaban también asimilando y ponderando la forma de incorporar al proceso todo el conjunto de información de carácter gubernamental, jurídico, demográfico, social, ético y político. Por fin, en 1985 y en 1987 se adoptaron oficialmente algunas decisiones.

D. El Convenio de Viena de 1985 y el Protocolo de Montreal de 1987

Marzo de 1985, Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono. Basándose en la comprensión en esas fechas de la multitud de factores anteriormente indicados, este Convenio significaba i) el convencimiento de que el agotamiento del ozono era una realidad ii) un compromiso mundial de enfrentarse al problema e iii) un proceso convenido para hacerlo.

Septiembre de 1987, Protocolo de Montreal, relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono. Las decisiones se concretaron. Había ocurrido un acontecimiento trascendental: la comunidad internacional había decidido actuar acerca de un asunto mundial cuyos impactos, en gran parte se remontarían, según lo pronosticado, al futuro. Las naciones, basadas en la información de que disponían a mediados del decenio de 1980 confeccionaron un Protocolo en el que incluyeron la mayor parte de los CFC y de los halones de larga vida, una congelación de la producción y del consumo de los CFC y de los halones en años venideros y una subsiguiente reducción del 50%.

Los grupos de evaluación. El Protocolo además de señalar emisiones concretas y de adoptar medidas de mejora reconocía que la investigación era un ejercicio continuo cuya comprensión habría de mejorar, por lo tanto, continuamente y que los informes actualizados de la situación constituían aportes importantes para cualquier secuencia de evaluaciones y nuevas evaluaciones de la política. Concretamente, el Artículo 6 del Protocolo de Montreal estableció el proceso por el que las Partes adquirirían tal información actualizada por conducto de grupos de evaluación. Los informes de los grupos (Apéndice A) que se iniciaron en 1988 y que han continuado hasta el presente son la actualización de los conocimientos pertinentes a la capa de ozono, a sus efectos y a todos los aspectos afines de índole tecnológica y económica, presentados por los expertos de todo el mundo. Estos expertos procedentes de multitud de instituciones de muchos países (Apéndice B) han proporcionado la base de conocimientos que por más de un decenio han servido de base a las decisiones de las Partes en el Protocolo.

E. Después de 1987: El primer decenio del Protocolo y los Grupos de evaluación

En una serie sucesiva de informes, los grupos de evaluación han descrito el progreso logrado en la comprensión científica y en las soluciones técnicas. Según lo solicitaban las Partes, estos informes precedieron a los períodos en los cuales las Partes habían considerado la adopción de decisiones importantes. En la sección siguiente, se indican los resultados principales de la investigación de los grupos de evaluación junto con las decisiones importantes que las Partes han adoptado por más de un decenio desde el año 1987 hasta el presente. Para fines de referencia se presenta en el Apéndice A una lista desglosada por años de los informes de estos grupos.

¿Cómo puede seguirse la pista al progreso logrado con el Protocolo de Montreal? Es muy justo dirigir esta pregunta puesto que muchos consideran que rendir cuentas constituye un componente necesario de las empresas del hombre. Sin duda que hay muchas formas de indicar el progreso logrado. Una de las formas hace referencia a la secuencia inmediata de la relación de causa a efecto en el asunto del agotamiento del ozono y otra de las formas puede ser la de evaluar con gran precisión cuantitativa la presencia de sustancias que agotan la capa de ozono en la atmósfera. En la Figura 1 se ilustran: i) las cantidades observadas en el pasado de cloro atmosférico equivalente (incluido el bromo, con la ponderación adecuada) e ii) las cantidades futuras que hubieran estado asociadas a cada una de las etapas importantes en la toma de decisiones del Protocolo de Montreal. En cualquier año dado, se representa la magnitud del agotamiento del ozono por causas humanas en relación con las cantidades efectivas de cloro. Puesto que muchos de los efectos ambientales del agotamiento del ozono (por ejemplo, elevada incidencia de cáncer cutáneo en los seres humanos) procede de una exposición a largo plazo, tales impactos están relacionados con el área por debajo de cada una de las curvas, siendo el impacto ambiental tanto mayor cuanto mayor sea el área y viceversa. Por razón de estas asociaciones, el resumen siguiente está vinculado a la figura y a lo que ésta nos revela.

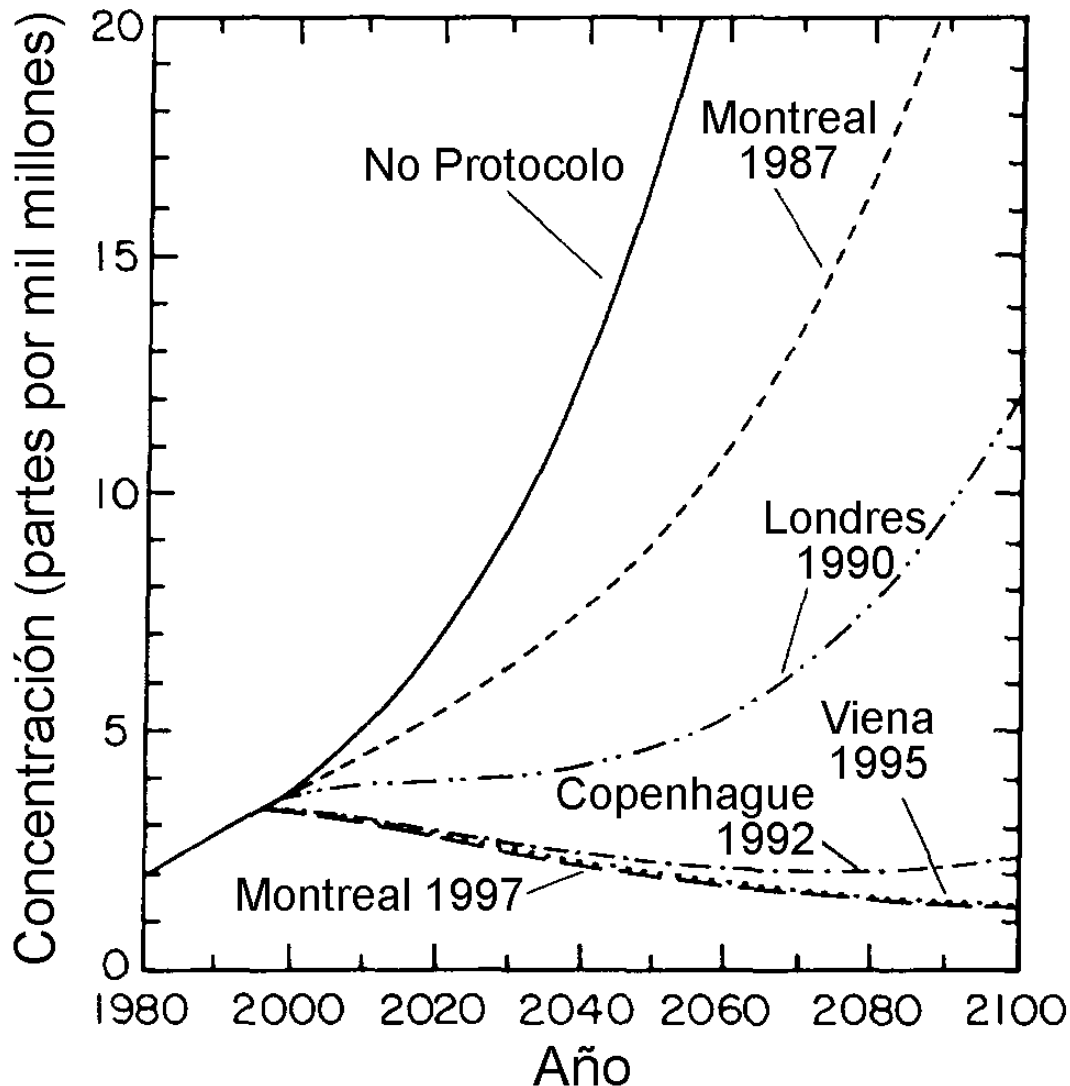


Figura 1. Influjos de los acuerdos internacionales en presencia en la estratosfera de cloro y de bromo, sustancias que agotan el ozono.

En la Figura 1 se ilustra también el motivo de optar por los plazos de tiempo empleados en la sección siguiente. La idea de ir más allá de la congelación prescrita en el Protocolo de 1987 pasando a introducir algunas eliminaciones (Londres, 1990) hizo que descendieran dramáticamente los índices de aumento eficaz de cloro pronosticados para el período del año 2000 al año 2040 (pero todavía era posible recaer más tarde en índices de crecimiento importantes). El adelanto de las fechas de eliminación y la adición de nuevas sustancias controladas (Copenhague, 1992) implicaron que, por primera vez, la cantidad eficaz de cloro en la atmósfera iba a llegar a su valor de cresta (pero todavía era posible recaer mucho más tarde en un crecimiento positivo). La fijación de valores máximos de producción y de consumo de todas las sustancias controladas que agotaban la capa de ozono extendida, pronto o tarde a todos los países (Viena, 1995) implicó (suponiéndose un cumplimiento total) la imposibilidad de recaer en índices positivos de crecimiento. La presentación de la información que figura en los informes de los grupos de evaluación y en las

correspondientes decisiones de política se ha organizado en función de estos hitos eficaces de eliminación del cloro .

1. Desde el Protocolo de Montreal (1987) hasta la enmienda de Londres (1990)

La ciencia del ozono:

- Se atribuye el agujero del ozono sobre la Antártida a los compuestos de cloro y de bromo de origen humano cuyo impacto se incrementa por razón de las nubes estratosféricas polares.
- Se detecta una tendencia mundial descendente de la cantidad de ozono durante los meses de invierno en las latitudes medias y altas del hemisferio norte.
- Propiedades favorables al ozono caracterizan, por ejemplo, los potenciales de agotamiento del ozono del primer conjunto de sustitutos de los CFC, es decir los hidroclorofluorocarbonos (HCFC).
- El grupo de evaluación científica del Protocolo de Montreal y el grupo intergubernamental sobre cambios climáticos (IPCC) recientemente constituido empiezan una interacción continua acerca de la evaluación de la comprensión de fenómenos atmosféricos que son comunes a ambos asuntos; por ejemplo, se evalúan conjuntamente los potenciales de calentamiento mundial provenientes de gases relacionados con el ozono.

Efectos ambientales:

- Las investigaciones demuestran que la radiación UV-B, especialmente la de onda más corta, tiene multitud de efectos y que la mayoría de ellos son nocivos: efectos en los ojos (cataratas y nifablepsia) y la supresión del sistema inmunológico; en las plantas (la mayoría de aquellas sometidas a estudio creció menos y tenía hojas más pequeñas bajo un aumento de la radiación UV-B); en los organismos acuáticos (especialmente en los más pequeños tales como fitoplanctones); y en los materiales (exposición a UV-B es la causa primaria de la degradación de plásticos al exterior).

Tecnología y economía:

- Las asociaciones de la industria inician la labor de estudiar la aceptación en el medio ambiente y la toxicidad de los sustitutos de los CFC y de los halones y los métodos para incorporar a los procesos industriales la eliminación de sustancias químicas.
- Se inician grandes esfuerzos de recuperación y reciclaje.
- Se inicia el desarrollo de métodos para adaptar el equipo a mezclas de sustancias químicas sin CFC.
- Se demuestra la viabilidad de propelentes no halogenados.

- Se identifican sustitutos de los CFC-113, no en especie, para la limpieza de equipo electrónico.
- Se demuestra la viabilidad de interrumpir la utilización de los halones para fines de capacitación y pruebas de equipo de extinción de incendios.

Política – Las enmiendas de Londres:

- Se añaden a las sustancias controladas otros CFC plenamente halogenados, el tetracloruro de carbono y el metilcloroformo.
- Se establece la eliminación de estas sustancias en fechas determinadas del futuro.
- Se incluyen los HCFC como sustancias de transición y se prescribe su notificación.
- Se establece un mecanismo financiero provisional para satisfacer los costos adicionales convenidos de la eliminación de la producción y consumo de sustancias que agotan el ozono en los países en desarrollo.

2. De la enmienda de Londres (1990) a la enmienda de Copenhague (1992)

Ciencia del ozono:

- Fuera de los trópicos se detectan y cuantifican tendencias mundiales descendentes del ozono en la estratosfera inferior, a las latitudes media y alta, en ambos hemisferios y en invierno, primavera y verano.
- Se intensifica el agujero del ozono sobre la Antártida.
- Se detectan en el Ártico pérdidas significativas pero variables del ozono.
- Se identifica el metilbromuro como un agotador importante del ozono.
- Se observa que van a la par los aumentos de radiación UV-B y grandes pérdidas del ozono sobre la Antártida.
- Se efectúa una evaluación preliminar de los efectos en la capa del ozono de la aviación, de los vehículos espaciales y de los cohetes.
- Se descubre que la pérdida de ozono en la estratosfera inferior tiene un efecto de enfriamiento en el sistema climático troposférico.

Efectos ambientales:

- Se predice que una disminución sostenida del 10% en el ozono está asociada a un aumento del 26% en cáncer cutáneo distinto a melanoma.

- Se demuestra en los seres humanos la inducción de la supresión inmunológica por razón de la radiación UV-B, incluidas las personas de intensa pigmentación.
- La investigación en la reacción de las plantas a la radiación UV-B subraya la inquietud respecto a ecosistemas controlados y naturales.
- Se demuestra que los ecosistemas acuáticos están ya sufriendo bajo la tensión de la radiación UV-B; por lo que existe la inquietud de que nuevas tensiones causen efectos perjudiciales.
- Se espera que las reacciones químicas en la troposfera aumenten como consecuencia de aumentos de la radiación UV-B.

Tecnología y economía:

- Se identifican en todos los sectores diversos sustitutos que permiten eliminar prácticamente los CFC en el período de 1995 a 1997.
- Muchas empresas multinacionales eliminan la utilización de sustancias químicas que agotan el ozono con mucha más rapidez que lo prescrito por el Protocolo.
- Se promueven análisis en los que se combinan consideraciones sobre el agotamiento del ozono y sobre el calentamiento mundial aplicando factores directos (sustancias químicas) e indirectos (producción de energía).
- Se introducen al mercado los primeros refrigeradores con HFC-134a.
- La disponibilidad de sustitutos de HCFC para diversos tipos de espumas lleva a una disminución rápida de la utilización para estos fines del CFC-11.
- Se introducen al mercado los primeros equipos de aire acondicionado de vehículos a base de HFC-134a.

Política – Enmiendas de Copenhague:

- Se adelantan las fechas de eliminación.
- Se incluye entre las sustancias controladas el metilbromuro (con excepciones), especificándose una fecha futura de congelación para países desarrollados.
- Se incluyen ahora los HCFC como sustancias controladas, especificándose una serie de máximos y de reducciones que lleven en un futuro lejano a la eliminación (es decir, confirmación de estos compuestos como sustancias de transición). Se incluyen los hidrobromofluorocarbonos (HBFC) como blanco de eliminación inmediata en los países desarrollados y en desarrollo.
- El Fondo Multilateral se convierte en un mecanismo financiero permanente.

- Se establecen mecanismos (en los que interviene el grupo de evaluación tecnológica y económica) para identificar usos esenciales de sustancias controladas.

3. De la enmienda de Copenhague (1992) a las enmiendas/ajustes de Viena/Montreal (1995/97)

Ciencia del ozono:

- Se detecta un ritmo más lento de crecimiento de los gases que agotan el ozono en la atmósfera inferior.
- Se documenta un aumento de los índices de crecimiento de sustitutos de CFC.
- Continúan las tendencias descendentes de ozono mundial.
- Se explica la función de partículas en los agujeros del ozono temporalmente aumentados por causa de los halógenos que siguieron a la erupción en 1991 del volcán del Monte Pinatubo.
- Continúan ininterrumpidamente las pérdidas de ozono sobre la Antártida.
- Se registran aumentos de UV-B fuera de los polos (cielo despejado) en relación con una menor cantidad de ozono por encima de las regiones no polares.
- Se cuantifica el impacto negativo en la capa de ozono de la producción ilícita de CFC.

Efectos ambientales:

- Se caracteriza durante el período de agotamiento del ozono la radiación UV-B que causa daños-DNA sobre la Antártida.
- Es probable que un aumento de la radiación UV-B cause aumentos importantes de incidencia de enfermedades oftalmológicas, cáncer cutáneo y otras enfermedades infecciosas cuyos riesgos han sido ahora cuantificados respecto a varios efectos (por ejemplo, cáncer cutáneo).
- Los investigadores han medido el aumento y penetración de la radiación UV-B en aguas del Antártico y han proporcionado pruebas concluyentes de los efectos directos en el fitoplancton relacionados con el ozono.
- En los ecosistemas terrestres, un aumento de la UV-B podría modificar la producción y descomposición del material de las plantas con los correspondientes cambios en trazas de gases en la atmósfera.

Tecnología y economía:

- Se identifican y someten a prueba muchas mezclas de HFC como sustitutos de los HCFC-22 para refrigeración.

- Entran al mercado los refrigeradores a base de hidrocarburos.
- Se conciben equipos comerciales de refrigeración de forma que puedan utilizarse sustitutos tales como amoníaco e hidrocarburos.
- Se desarrollan y comercializan espumas a base de ciclopentano y de mezclas de hidrocarburos.
- La identificación de exenciones para usos esenciales de los halones deja abierta la consideración de adelantar la eliminación.
- Se identifican aumentos considerables de la producción y consumo de halones en los países del Artículo 5(1).
- Se identifican alternativas al uso de metilbromuro, excepto para fines de cuarentena y de pre-embarque.
- Se incorporan al mercado inhaladores de dosis medidas a base de HFC-134a.

Política – Ajustes de Viena/Montreal:

- Se acelera la reducción y la eliminación de metilbromuro en los países desarrollados y se establece un calendario de fechas de eliminación para los países en desarrollo.
- Se fijan las fechas de eliminación de los CFC, halones, metilcloroformo, tetracloruro de carbono en los países en desarrollo adaptándolas al calendario de fechas para los países desarrollados que se adoptó en 1990, añadiendo diez años.
- Establecimiento de valores máximos inferiores y de usos limitados de HCFC en los países desarrollados y fechas de congelación y de eliminación en un futuro lejano para los países en desarrollo.
- Se establece un sistema de otorgamiento de licencias para controlar el comercio de metilbromuro. *(Por consiguiente, a partir de 1997, existen fechas de eliminación y valores máximos de todas las sustancias que agotan el ozono incluidas en la lista de sustancias controladas, y ello para todas las Partes.)*

La capa del ozono en la actualidad y su protección: Los avances en su comprensión

A solicitud de las Partes, los Grupos de evaluación han actualizado los adelantos logrados en la comprensión de la ciencia, los efectos, la tecnología y la economía asociados al asunto del ozono. En el Apéndice C se presentan el índice y los textos completos de los resúmenes ejecutivos de los informes de evaluación de los tres grupos, correspondientes a 1998. En la siguiente sección se presenta un resumen abreviado (subdividido por Grupos) de tales informes en los que se actualiza la comprensión de los problemas.

A. Resultados principales de la investigación: "Evaluación científica del agotamiento del ozono: 1998"

En la actualización de los adelantos en la comprensión científica de la capa de ozono intervinieron 304 investigadores de 35 países de todo el mundo. Se proyectó y preparó el informe de evaluación en un período de dos años, incluidas las revisiones por correo y revisiones mutuas de los grupos. Se resumen a continuación los principales resultados:

1. Gases que agotan el ozono

- *La cantidad combinada total de compuestos que agotan el ozono en la atmósfera inferior llegó, aproximadamente en 1994, a un valor de cresta y está ahora disminuyendo lentamente.* El total de cloro está disminuyendo pero todavía aumenta el total de bromo. Esta inversión se pronosticó en la evaluación de 1994. La disminución del cloro se atribuye en gran parte a disminuciones del metilcloroformo. El cloro procedente de los CFC todavía está ligeramente aumentando. Las cantidades de la mayoría de los halones continúan aumentando (por ejemplo, el halón 1211 casi a un ritmo del 6% anual). Las cantidades observadas de CFC y de cloro carbonos en la atmósfera inferior está en consonancia con las emisiones notificadas.
- *Están aumentando las cantidades observadas de sustitutos de los CFC.* En 1996, los HCFC contribuyeron aproximadamente al 5% del cloro troposférico procedente de gases de larga vida. El aumento de los HCFC, en términos de la cantidad total eficaz combinada, es de menor magnitud que la disminución de los otros gases que contienen cloro. Las cantidades atmosféricas de HCFC-22 y de HFC-134a coinciden con las previstas a partir de las emisiones notificadas, pero las observaciones atmosféricas de HCFC-141b y de HCFC-142b exceden de las previstas.

- *Se espera que la cantidad combinada de cloro y de bromo llegue a sus valores de cresta en la estratosfera antes del año 2000.* El retardo corresponde al promedio de tiempo necesario para que las emisiones se muevan desde la superficie hasta la estratosfera inferior. Aunque las observaciones de importantes compuestos de cloro en la estratosfera muestran una disminución del ritmo de crecimiento, también indican que en la fecha de esta evaluación todavía no han llegado a su valor de cresta.
- *Se considera en la actualidad que la función del metilbromuro como compuesto que agota el ozono es de menor importancia a lo estimado en la evaluación de 1994, aunque quedan por resolver importantes incertidumbres.* La mejor estimación vigente acerca del potencial de agotamiento del ozono (PAO) del metilbromuro es de 0,4, mientras que en 1994 se estimó que sería de 0,6. La modificación se debe en primer lugar a un aumento de los ritmos de supresión en medios oceánicos y terrestres. Sin embargo, es incompleta la comprensión actual de las crestas y depresiones del metilbromuro.

2. Tendencias del ozono

- *Las pérdidas totales observadas del ozono de la columna desde 1979 hasta el período de 1994-1997 son aproximadamente del 5%, del 3%, y del 5%, respectivamente en las tres siguientes zonas: las latitudes medias septentrionales en invierno y primavera; las latitudes medias meridionales en verano y primavera; y las latitudes medias meridionales en todas las estaciones del año. Pero el ritmo de disminución del ozono estratosférico es más lento en las latitudes medias; por consiguiente, las previsiones de pérdida del ozono realizadas en la evaluación de 1994 eran de mayor valor de lo que en realidad ha ocurrido.* A partir de 1991, no ha continuado la tendencia lineal descendente observada en años anteriores, sino que más bien se ha llegado a un valor casi constante después de la recuperación de las pérdidas adicionales ocasionadas por los aumentos provenientes de la erupción volcánica en 1991 del Monte Pinatubo.
- *Continúa sin disminuir el agujero del ozono primaveral sobre la Antártida.* La amplitud total del agotamiento del ozono ha permanecido esencialmente sin modificaciones desde principios del decenio de 1990. Se esperaba este comportamiento por razón de la destrucción actual casi completa del ozono primaveral en la estratosfera inferior sobre la Antártida. Se comprenden bien los factores importantes que contribuyen a la continuación del gran agotamiento del ozono primaveral por encima de la Antártida.
- *En el Ártico, los valores del ozono a finales del invierno y en la primavera han sido desacomodadamente bajos en 6 de los 9 últimos años, estando caracterizados estos 6 años por inviernos estratosféricos más fríos y prolongados que lo habitual.* Se predijo la posibilidad de tales agotamientos en la evaluación de 1989 (Apéndice A). Las temperaturas mínimas del Ártico se acercan al umbral para una gran activación química del cloro y, como resultado, la variabilidad de un año para el otro, impulsada principalmente por las condiciones meteorológicas, lleva a una gran variabilidad de la pérdida del ozono en relación con las cantidades actuales de cloro. Aunque no es posible pronosticar las condiciones de un invierno ártico en un año determinado, las grandes cantidades de cloro y de bromo previstas para el próximo decenio implican que el Ártico continuará siendo vulnerable a grandes pérdidas de ozono.

3. Consecuencias

- *Se ha afianzado aún más la comprensión de la relación entre un aumento de la radiación UV-B y una disminución del ozono de la columna, como consecuencia de las observaciones efectuadas en diversos lugares de todo el mundo.* Se comprenden mejor los influjos de otras variables además del ozono, tales como las nubes, partículas y reflectividad de la superficie. Los datos de los satélites indican que los aumentos máximos de UV-B ocurren durante la primavera a grandes altitudes en ambos hemisferios.
- *Las pérdidas de ozono estratosférico han llevado a un enfriamiento global de la estratosfera inferior mundial y a un promedio global negativo de radiación forzada del sistema climático.* Las simulaciones con modelos indican que la mayoría de las tendencias descendentes observadas en las temperaturas de la estratosfera inferior (aproximadamente 0,6°C por decenio desde 1979 hasta 1994) se deben a la pérdida del ozono en esta región. Los cálculos de radiación, mediante extrapolaciones basadas, como referencia, en las tendencias del ozono notificadas en la evaluación de 1994, indican que las pérdidas del ozono estratosférico a partir de 1980 pueden compensar aproximadamente el 30% de la radiación forzada positiva por razón de aumentos en los gases de invernadero bien mezclados durante el mismo plazo de tiempo. Todavía no se ha evaluado el impacto en el clima de las tendencias decrecientes del ozono en las latitudes medias y de pérdidas mayores de ozono sobre el Ártico.

B. Resultados principales de la investigación: "Informe del grupo de evaluación de efectos ambientales: 1998"

En la actualización de la comprensión científica de los efectos ambientales del agotamiento de la capa de ozono intervinieron 102 investigadores procedentes de 31 países de todo el mundo. El informe de evaluación se preparó a lo largo de un año, incluido un proceso de revisión de 70 revisores externos, en su mayoría por correo. A continuación se resumen los principales resultados:

1. Cambios de la radiación ultravioleta

- *Los pronósticos a largo plazo de los niveles futuros de radiación UV-B son difíciles e inseguros.* No obstante, las mejores evaluaciones del momento sugieren una recuperación lenta hacia los niveles anteriores al agotamiento del ozono durante el próximo medio siglo. La fase de recuperación de la radiación UV-B de superficie no será probablemente detectable hasta muchos años después de que se haya llegado a un mínimo en la capa de ozono debido a la variación de otros factores (tales como las nubes) que influyen en la radiación UV-B pero que no están directamente relacionados con el ozono.

2. Efectos en la salud de los seres humanos y de los animales

- *Es probable que los aumentos de la radiación UV-B asociados al agotamiento del ozono lleven a aumentos en la incidencia y en la gravedad de una diversidad de efectos a corto y a largo plazo en la salud, si no se modifican las prácticas actuales de exposición mediante cambios de comportamiento.* Los efectos perjudiciales en los ojos recaerán en todas las poblaciones, sea cual fuere el color

de su piel. Los efectos en los sistemas inmunológicos influirán también en todas las poblaciones pero serán tanto perjudiciales como beneficiosos. Entre los efectos perjudiciales se incluyen la resistencia disminuida a algunos tumores y enfermedades infecciosas. Entre los efectos en la piel podrían incluirse un aumento del fotoenvejecimiento (envejecimiento por acción de la luz) y del cáncer cutáneo, siendo mayor el riesgo en las personas de piel delicada. Es probable que los aumentos de UV-B aceleren el ritmo del fotoenvejecimiento.

3. Efectos en los ecosistemas terrestres

- *El aumento de la radiación UV-B puede dañar a los organismos terrestres incluidas las plantas y los microbios pero estos organismos tienen también procesos de protección y de reparación. El equilibrio entre daños y protección varía de una especie a otra y de una a otra variedad de especies de cosechas. La investigación de los últimos años indica que un aumento de la radiación UV-B lleva con más frecuencia a pautas alteradas de actividad genética que a otros daños.*

4. Efectos en los ecosistemas acuáticos

- *Los estudios recientes han continuado demostrando que las radiaciones UV-B y UV-A tienen efectos perjudiciales en el crecimiento, la fotosíntesis, el control de proteína y pigmentos y la reproducción del fitoplancton, por lo que afectan a la red alimentaria. Las algas marinas y macroalgas muestran una sensibilidad pronunciada a la radiación UV-B solar.*
- *La radiación UV-B es absorbida y descompone al carbón orgánico disuelto y al carbón orgánico en partículas. Este proceso dispone a los productos a la degradación bacterial y a la remineralización.*
- *Los ecosistemas marinos polares están en la región de máximo aumento de la radiación UV-B relacionada con el ozono. Por consiguiente, se espera que estos ecosistemas sean los ecosistemas oceánicos más influenciados por el agotamiento del ozono.*
- *Entre las consecuencias posibles de niveles superiores de exposición a la radiación UV-B de los ecosistemas acuáticos se incluye una reducida capacidad de absorción del dióxido de carbono atmosférico. Esto podría llevar a un aumento posible del calentamiento mundial.*

5. Efectos en los ciclos biogeoquímicos

- *Los estudios recientes de una gama de especies y de ecosistemas han confirmado los efectos de un aumento de la radiación UV-B en las emisiones de dióxido de carbono y de monóxido de carbono y en los ciclos minerales de la biósfera terrestre. Están realizándose respecto a ecosistemas naturales, exámenes de los efectos a largo plazo de la radiación UV-B en la captura y almacenamiento de carbón.*

6. Efectos en la calidad del aire

- *Los aumentos de la radiación UV-B harán que aumente la actividad química en la atmósfera inferior.* Los estudios con modelos sugieren que la radiación UV-B adicional reduce el ozono troposférico en ambientes limpios y aumenta el ozono troposférico en áreas contaminadas. Suponiendo que permanecen constantes otros factores, una radiación UV-B adicional aumentará el ritmo al que se retiran de la troposfera algunos contaminantes primarios.

7. Efectos en los materiales

- *Las características físicas y mecánicas de los polímeros están negativamente influenciadas por un aumento de la UV-B en la luz del sol.* Los fotoestabilizadores convencionales podrán probablemente mitigar los efectos de un aumento de los niveles de UV-B en la luz del sol.

C. Resultados principales de la investigación: "Informe del grupo de evaluación tecnológica y económica: 1998"

En la actualización de las opciones técnicas y económicas intervinieron 230 expertos técnicos procedentes de 46 países de todo el mundo y estos se organizaron en siete Comités de opciones técnicas y en el Grupo de evaluación tecnológica y económica. Los informes de los comités de opciones técnicas fueron preparados a lo largo de dos años, incluida una revisión mutua. El informe del grupo de evaluación fue preparado durante el año 1998. En el informe se incluyen los resúmenes ejecutivos de todos los informes de los Comités de opciones técnicas.

1. Aerosoles, esterilizantes, usos varios y tetracloruro de carbono

Los puntos clave del informe de 1998 del Comité de opciones técnicas sobre aerosoles (ATOC) son los siguientes:

- *Productos de aerosol.* El ATOC estima que el consumo de CFC en 1997 en el sector de aerosoles fue inferior a 15 000 toneladas en las Partes del Artículo 5(1) y en algunos países con economías en transición, excluido el uso de los inhaladores de dosis medidas. En el caso de los productos de aerosol que no sean los inhaladores de dosis medidas, no existe ninguna barrera técnica para la transición mundial a alternativas.
- *Inhaladores de dosis medidas.* Se utilizan anualmente en todo el mundo aproximadamente 500 millones de inhaladores de dosis medidas para el tratamiento del asma y de enfermedades crónicas de obstrucción pulmonar, empleándose aproximadamente una cantidad de 10 000 toneladas anuales de CFC. Es probable que en muchas naciones desarrolladas y en transición se adelantará la eliminación al año 2000 en una amplia gama de productos con cambio de fórmula. Se prevé que al año 2005 habrá una necesidad mínima de CFC para inhaladores de dosis medidas en las Partes que no son del Artículo 5(1).

- *Esterilizantes.* A principios de 1997, ya había prácticamente desaparecido el uso de CFC-12 en las Partes que no son del Artículo 5(1) para fines de esterilización (en una mezcla de gases esterilizantes con óxido de etileno). Se estima que el consumo mundial de CFC-12 en este sector es inferior a 1 500 toneladas. El uso estimado de sustitutos a base de HCFC es inferior a las 3 000 toneladas (unas 90 toneladas ponderadas en unidades de potencial de agotamiento del ozono).
- *Usos varios y usos para laboratorios y análisis.* Los CFC se utilizan en una diversidad de aplicaciones, de las cuales el aireado del tabaco es la más importante. Después de 1998, quizás sea China el único país que todavía utilice cantidades importantes de CFC para estos fines. Se espera que disminuyan los usos en ese país. Se ha estimado que el consumo mundial de sustancias controladas para aplicaciones de laboratorio y análisis no excede de 1 500 toneladas (actualmente rige una exención para usos esenciales).
- *Tetracloruro de carbono.* Se estimó que las emisiones a la atmósfera de tetracloruro de carbono en 1996 fueron de 41 000 toneladas, de las cuales 26 000 toneladas procedían de la producción de tetracloruro de carbono en Partes del Artículo 5(1) y en países con economías en transición. Técnica y económicamente pueden disminuir las emisiones de tetracloruro de carbono procedentes de aplicaciones de piensos y agentes de procesos, aunque en algunos casos, todavía quizás no se disponga de alternativas al uso de tetracloruro de carbono.

2. Espumas rígidas y flexibles

Los puntos clave del informe de 1998 del Comité de opciones técnicas sobre espumas son los siguientes:

- *El uso en todo el mundo de sustancias que agotan el ozono en forma de espumas rígidas ha disminuido casi en un 75% después de llegar a un valor máximo en 1989.* En gran parte se han eliminado todos los usos de CFC en países que no son del Artículo 5(1). El uso de HCFC (ponderación PAO) es inferior al 20% de la totalidad del sector de espumas rígidas, y apenas se utiliza en los sectores de espumas no rígidas.
- *Alternativas con potencial de agotamiento del ozono (PAO) nulo son los sustitutos preferidos en muchas aplicaciones incluido el empaquetado, cojines (flexibles) y algunas aplicaciones térmicas de espumas rígidas.* No ha surgido de la transición ninguna única solución y, por lo tanto, deben mantenerse las opciones de permitir llegar a soluciones óptimas para determinadas aplicaciones, en función de las características peculiares de los productores y de los países.
- *Continúa el desarrollo de sustitutos a base de los HFC para el HCFC-141b en espumas de poliuretano de aislamiento térmico, espumas de polisocianurato y espumas fenólicas.* Se prevé que productos tales como el HFC-245fa y el HFC-356mfc estarán disponibles en el comercio alrededor de principios del año 2002. No se ha identificado ningún asunto relativo a su toxicidad. Sin embargo, son objeto de un desarrollo lento debido a incertidumbres acerca de los costos, disponibilidad y gestión ambiental a largo plazo de los gases de invernadero.

- *Continúan evolucionando las tecnologías a base de pentano para espumas de poliuretano rígidas.* Han mejorado las características técnicas con el empleo de mezclas, siendo más competitivos en cuanto al costo los productos de espumación a base de hidrocarburos.
- *Continúan existiendo algunas barreras a la transición distanciándose de las sustancias que agotan el ozono.* Los usuarios de CFC y de HCFC se muestran reacios a completar la estrategia de transición hasta que estén más seguros acerca de la disponibilidad y adaptabilidad a largo plazo de los HFC. Además, en los países del Artículo 5(1) se dispone ampliamente de CFC-11 y estos son en general más baratos que las actuales alternativas. Otro factor que limita una rápida eliminación es que en esos países se fabrican muy pocas alternativas.

3. Halones

Los puntos clave del informe de 1998 del Comité de opciones técnicas sobre halones (HTOC) son los siguientes:

- *Los amplios trabajos de investigación y desarrollo de nuevas formas de halocarbonos líquidos y gaseosos en sustitución de los halones y acerca de la utilización de nuevos enfoques para alternativas, nuevas y existentes, han llevado a la disponibilidad de una amplia gama de opciones.* Ha cesado casi por completo el empleo de halón 1211 y de halón 1301 en países que no son del Artículo 5(1) y en muchas Partes del Artículo 5(1) para nuevas instalaciones, así como para muchas aplicaciones de adaptación de equipo. Los sistemas que permanecen están esencialmente libres de emisiones en circunstancias normales.
- *A pesar de este éxito continúan algunas inquietudes.* Predominan entre estas el uso de halón 1211 en Partes del Artículo 5(1). Se requiere la transferencia de tecnología para varias aplicaciones. Son esenciales en los países con economías en transición la implantación de sistemas eficaces de recuperación y reciclaje de halones, un programa de gestión del halón 2402 y la divulgación de información.
- *Las organizaciones militares en los países desarrollados han eliminado prácticamente todos los usos de halones, con algunas excepciones dignas de atención e importantes.* Las aplicaciones importantes respecto a las cuales no se dispone todavía de alternativas convenientes son los usos a bordo de buques, submarinos, aeronaves y vehículos tácticos. Aunque sigue en marcha la investigación sobre alternativas, estas aplicaciones probablemente dependerán por algún tiempo de los actuales bancos de halones.
- *Otros dos halones, 1011 y 1202, se empleaban con mucha menor amplitud.* Los aumentos recientemente notificados de la abundancia en la atmósfera de halón 1202 no pueden explicarse mediante su utilización como extintor de incendios. Quizás las Partes deseen examinar la posibilidad de una producción y liberación inadvertidas de halón 1202 durante la producción de halón 1211 en los países del Artículo 5(1).
- *Las necesidades de usuarios críticos que todavía necesitan halón 1301, entre las que se incluyen la aviación y algunas aplicaciones de defensa, petróleo y gases, y la marina, están siendo satisfechas mediante la gestión de las existencias actuales.* Existe aproximadamente un equilibrio que es importante

mantener. Hasta que haya un superávit claro de halón 1301, no puede recomendarse su destrucción generalizada.

- *Continúan siendo imperativos los esfuerzos para reducir a un mínimo las emisiones, particularmente durante el período inicial de máxima vulnerabilidad de la capa de ozono.* Las emisiones de halón 1211 y halón 1301 en unidades ponderadas de agotamiento, procedentes de países del Artículo 5(1) han llegado en la actualidad a un nivel aproximado de 23 000 toneladas de ponderación PAO y, por consiguiente, exceden de las de los países que no son del Artículo 5(1) que están ahora a un nivel aproximado de 22 000 toneladas de ponderación PAO. En 1992, los países que no son del Artículo 5(1), tenían emisiones que llegaban al doble de las de los países del Artículo 5(1).

4. Metilbromuro

Los puntos clave del informe de 1998 del Comité de opciones técnicas sobre metilbromuro (MBTOC) son los siguientes:

- *De la producción mundial en 1997 de 71 425 toneladas de metilbromuro, correspondían a cuarentena y pre-embarque unas 15 000 toneladas y lo equivalente al 22% del uso mundial como fumigantes.* El uso para fines de cuarentena está exento de control y es una aplicación de emisiones que no está reglamentada en virtud del Protocolo. Además, parece ser que este uso aumenta tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo. El MBTOC observó que hay alguna discrepancia en la interpretación de los términos cuarentena y pre-embarque lo cual puede llevar a que algunas Partes den una exención incorrecta para su uso. Están utilizándose múltiples aplicaciones cuando una sola aplicación de metilbromuro antes del embarque satisfaría los requisitos.
- *A pesar del uso extendido de metilbromuro como fumigante de suelos (al que corresponde aproximadamente el 75% de su uso mundial), el MBTOC no indicó ninguna sola cosecha que no pudiera producirse con éxito sin metilbromuro.* Aproximadamente el 12% del consumo mundial de metilbromuro se utiliza para tratamiento de artículos de consumo duraderos y aproximadamente el 3% para edificios. Las principales alternativas son el tratamiento con fosfina, al calor, al frío y con plaguicidas por contacto. En muchos casos, pueden sustituir al metilbromuro procedimientos de gestión integrada de plagas. El MBTOC no indicó ninguna alternativa existente de algunos usos para fines que no son de cuarentena y pre-embarque, pero es probable que estas lleven a un consumo inferior a 50 toneladas al año. Aproximadamente el 9% del consumo mundial de metilbromuro es para desinfección de artículos perecederos, siendo la mitad utilizada para desinfectar frutas con fines de cuarentena. Los tratamientos de alternativa después de la entrada al país son particularmente problemáticos puesto que no han sido desarrollados ni aprobados para tratar productos que entren a los puertos aéreos y marítimos por vía múltiple, ni tampoco serían fáciles de llevar a la práctica.
- *Los países en desarrollo consumen del 23% al 26% de la producción total de metilbromuro.* En algunos de estos países ha disminuido grandemente o se ha eliminado oficialmente el consumo de metilbromuro, mientras que en otros países ha aumentado notablemente su utilización y en algunos casos su producción.

- *Ha habido alguna nueva investigación limitada acerca del desarrollo de sistemas de recuperación y reciclaje de metilbromuro, la mayoría dirigida a la recuperación después de fumigar los artículos. Solamente hay unos pocos ejemplos especiales de equipo de recuperación que se utilice actualmente en el comercio.*
- *El MBTOC no pudo encontrar ninguna alternativa existente del metilbromuro respecto aproximadamente a 2 500 toneladas anuales de esta sustancia utilizada para tratamientos que no son de cuarentena ni de pre-embarque. Existen alternativas en forma de tratamientos no químicos o químicos y procedimientos que son técnicamente viables para controlar las plagas con lo que se evitaría y sustituiría el uso de metilbromuro. En base a este consumo relativamente pequeño, el MBTOC consideraba que había alternativas para más del 95% del tonelaje actual de metilbromuro excluidos los fines de cuarentena y de pre-embarque. Deben aplicarse ahora esfuerzos considerables para la transferencia de estas alternativas al mayor número posible de lugares y para optimizar las condiciones en virtud de las cuales pueden ser más eficaces.*

5. Refrigeración, aire acondicionado y bombas de calor

Los puntos clave del informe de 1998 del Comité de opciones técnicas sobre refrigeración, aire acondicionado y bombas de calor son los siguientes:

- *A corto plazo, los HCFC de transición constituyen todavía una opción válida y mundial en sustitución de los CFC para el equipo de refrigeración y aire acondicionado. Sin embargo, a largo plazo solamente quedan en general cinco opciones importantes distintas de refrigerantes para el ciclo de compresión al vapor: HFC y mezclas de HFC, amoníaco, hidrocarburos y mezclas, dióxido de carbono y agua. Ninguna de las opciones son perfectas y todas tienen sus ventajas y sus inconvenientes que han de tenerse en cuenta.*
- *Respecto al nuevo equipo de refrigeración doméstica, todos los fabricantes de países que no son del Artículo 5(1) han efectuado la transición de CFC-12 a sustancias que no agotan el ozono. En la refrigeración doméstica se ha efectuado por completo la conversión al uso de HFC y de hidrocarburos (es decir HC-600a) que se emplean en el circuito de la refrigeración. La conversión a estas sustancias químicas en el sector doméstico está ahora también en marcha en países del Artículo 5(1) y en países con economías en transición, siendo la transición en los primeros más rápida de lo que exige el Protocolo de Montreal.*
- *La refrigeración comercial comprende una amplia gama de equipo y, por lo tanto, hay una diversidad de etapas de transición para apartarse de las sustancias que agotan el ozono. Para la mayoría del equipo autónomo de grandes dimensiones, los CFC-12 han sido sustituidos por HFC-134a. En algunos equipos más pequeños se utilizan diversos hidrocarburos, principalmente el propano. Se considera frecuentemente que las mezclas de HFC son los refrigerantes preferidos desde el punto de vista económico, debido a aspectos de seguridad y de costo inicial y que, por consiguiente, constituirán la opción habitual. El amoníaco y HCFC-22 son actualmente de uso común para almacenamiento en frío y para aplicaciones de procesamiento de alimentos. Los hidrocarburos y el dióxido de carbono se utilizan en determinadas aplicaciones.*

- *En casi la totalidad de los equipos de enfriamiento por aire se utiliza HCFC-22.* Se ha logrado un progreso importante en la elaboración de alternativas del HCFC-22; por ejemplo hidrocarburos y mezclas de HFC, R-407C, del que se dispone ampliamente, así como de los hidrocarburos. En los enfriadores de agua se utiliza una diversidad de refrigerantes, incluidos los fluorocarbonos (predominantes) y el amoníaco. Se han introducido enfriadores a base de hidrocarburos en algunos mercados regionales.
- *La mayoría de los equipos de aire acondicionado de vehículos utilizados en 1994 han sido objeto de una adaptación o se han eliminado.* Después de 1994, todos los fabricantes de automóviles habían efectuado la conversión a HFC-134a, y se están mejorando los diseños para reducir a un mínimo la necesidad de recarga y elevar al máximo la eficiencia energética. Se espera que los nuevos vehículos estén equipados de HFC-134a hasta que se desarrollen alternativas y se introduzcan al comercio con características comparables de rendimiento, fiabilidad y seguridad, y con ventajas económicas viables en cuanto a calentamiento mundial.
- *Además de las HFC, se consideran como candidatos importantes para uso futuro alternativas que no son fluorocarbonos y no en especie.* El aspecto de servicios en los países en desarrollo continúa siendo muy importante para reducir de forma esencial las emisiones de CFC.

6. Solventes, revestimientos y adhesivos

Los puntos clave del informe de 1998 del Comité de opciones técnicas sobre solventes (STOC) fueron los siguientes:

- *La industria en los países desarrollados tiene casi dos años de experiencia en cuanto a la eliminación de la producción de solventes que agotan el ozono.* La gran mayoría de los usuarios ha tenido éxito en la aplicación de alternativas en un período muy breve. El STOC tiene cada vez más confianza en que existen alternativas o que puede esperarse su desarrollo casi para la totalidad de los usos de solventes. Sin embargo, no le faltan inquietudes al STOC en cuanto a los países en desarrollo.
- *La dependencia continua de las existencias de solventes es prueba de que se tiene interés en alternativas más económicas y eficaces.* En el futuro próximo, los usuarios que todavía dependen del 1,1,1 tricloroetano, estarán sometidos a presiones para encontrar alternativas.
- *Al menguar la inquietud acerca de la eliminación en la producción de solventes que agotan el ozono en los países desarrollados, el foco del STOC se ha desplazado hacia los países en desarrollo.* Aunque están muy adelantados los esfuerzos de eliminación en los países desarrollados, permanecen retos únicos en los países en desarrollo. La inquietud principal del STOC está relacionada con la demanda total de sustancias que agotan el ozono en las empresas de tamaño pequeño y medio y con la eliminación del uso de solventes a base de tetracloruro de carbono. Uno de los problemas importantes todavía por resolver es la eliminación completa de solventes controlados en las empresas de tamaño pequeño y medio las cuales tomadas en su conjunto consumen un volumen importante de solventes que agotan el ozono.

- *Se dispone de alternativas que no agotan el ozono para casi la totalidad de las aplicaciones de solventes, revestimientos y adhesivos. Sin embargo, a corto plazo y en algunas aplicaciones limitadas y exclusivas quizás sean necesarios los HCFC y los HFC y PFC que no agotan el ozono.*
- *Recientemente se han introducido al comercio dos solventes bromados que agotan el ozono, el cloro bromo metano y el n-propilbromuro. Dada su capacidad de agotar la capa de ozono y la gran probabilidad de que su uso se extienda, el STOC ha recomendado que las Partes en el Protocolo de Montreal consideren los posibles peligros de estas sustancias para la capa de ozono.*

7. Economía

Los puntos clave del informe de 1998 del Comité de opciones económicas (EOC) son los siguientes:

- *Estudios recientes indican que prácticamente todas las Partes del Artículo 5(1) satisfarán la fecha de congelación de 1999 sobre la producción y consumo de sustancias controladas del Anexo A – Grupo I. Para satisfacer las medidas subsiguientes de control hasta el año 2002 y más allá, será necesario que las Partes del Artículo 5(1) mejoren el cumplimiento en las empresas de tamaño pequeño y medio. En varios estudios de casos se ha destacado el uso creciente de instrumentos en base a la oferta y demanda del mercado, pero se sigue activamente confiando en medidas de mando y control.*
- *Las disposiciones del Protocolo de Montreal han hecho que disminuya el comercio internacional de sustancias controladas en la forma prevista. A nivel regional, hay datos cuantitativos del impacto del Protocolo en la circulación del comercio en los grupos de productos pertinentes. Los motivos de estos impactos son los siguientes: i) la demanda reducida de productos que contienen sustancias que agotan el ozono; ii) la dificultad del cambio hacia la producción de sustancias que no agotan el ozono; e iii) calendario y fechas distintas de eliminación en las Partes del Artículo 5(1) y en las Partes que no son del Artículo 5(1). Estos factores están surgiendo nuevamente en relación con el comercio de sustancias controladas incorporadas recientemente a la lista, tales como los HCFC y el metilbromuro.*
- *Se dispone de medidas para limitar el comercio ilícito, especialmente respecto a lo siguiente: i) la decisión de requerir sistemas de licencia de importación y de exportación por aplicar en todas las Partes; ii) nuevos controles propuestos sobre el uso de sustancias controladas en algunos países importantes; e iii) reducciones en el suministro de sustancias controladas ilícitas debido a una reciente decisión de diez países donantes de proporcionar nuevos fondos para la eliminación de determinadas instalaciones de producción de CFC.*

8. Retos para los países del Artículo 5(1) y los países con economías en transición

- *En cuanto a los retos a los que se enfrentan los países del Artículo 5(1), la experiencia en los países desarrollados indica que el liderazgo firme y el compromiso de los gobiernos, de la industria y de los*

particulares es importante para establecer y mantener el impulso. Un obstáculo importante en varias Partes del Artículo 5(1) es que no existe una estructura normativa adecuada, la cual es necesaria en apoyo del proceso de eliminación. Se han resuelto en la mayoría de los casos las incertidumbres relativas a disponibilidad y costo de las tecnologías y existen hoy en día alternativas para casi todas las sustancias que agotan el ozono. Los retos mayores que todavía continúan se relacionan con la ejecución de proyectos del Fondo Multilateral y con la atención al gran sector oficioso de servicio y mantenimiento.

- *Muchos de los 16 países que no son del Artículo 5(1) con economías en transición están muy atrasados en cuanto a su calendario de fechas de eliminación.* Entre las circunstancias especiales que impiden el progreso se incluyen: la ausencia de asociaciones de comercio y de la industria, la falta de redes de expertos, la falta de avenidas para llegar al consenso, el intercambio limitado de información y la ausencia de medios de imposición de la ley.

Nuestra futura capa de ozono

El objetivo de esta sección de la síntesis es echar una mirada hacia adelante. Se resumirán los conocimientos actuales acerca de factores que pudieran influir en la capa del ozono en el Siglo XXI. Entre estos factores se incluyen las modificaciones debidas a actividades humanas y a sucesos y variaciones atmosféricas naturales. Se presentarán y analizarán como opciones posibles los factores de origen humano, sometiéndolos a una investigación en cuanto a su magnitud y viabilidad según los datos indicados en los informes de 1998 de los grupos de evaluación.

Sin embargo, antes de describir estas opciones cuantificadas y evaluadas, haremos una pausa en esta sección para echar una mirada al futuro que inevitablemente nos esperaba si no se hubiera interpuesto el Protocolo de Montreal y las enmiendas y ajustes subsiguientes. Esta pausa parece ser particularmente apropiada en esta síntesis puesto que en 1997 se conmemoró el décimo aniversario del Protocolo y esta síntesis representa un decenio del aporte de los grupos de evaluación al proceso.

A. Panorama de un mundo que logramos evitar

1. La capa agotada del ozono

Una forma de medir el éxito del Protocolo de Montreal de 1987, de los trámites que llevaron al mismo y de su funcionamiento en los años subsiguientes es pronosticar el panorama de un mundo que evitamos al intervenir y cambiar el rumbo de los acontecimientos. *En el año 2050* (que es aproximadamente la fecha nominal a la que se prevé en la actualidad que la capa de ozono podrá recuperarse llegando a valores anteriores a 1980), la cantidad de gases que agotan el ozono hubiera llegado a un valor cinco veces superior al de hoy en día (Figura 1). El agotamiento del ozono hubiera sido mucho mayor que el de hoy. El resultado hubiera sido, por ejemplo, una duplicación de la radiación UV-B de superficie a latitudes medias del Hemisferio septentrional. Como se muestra en la Figura 2, si no nos hubiéramos esforzado en proteger la capa de ozono, se hubiera llegado a un aumento desbocado de incidencias de cáncer cutáneo a lo largo del próximo siglo.

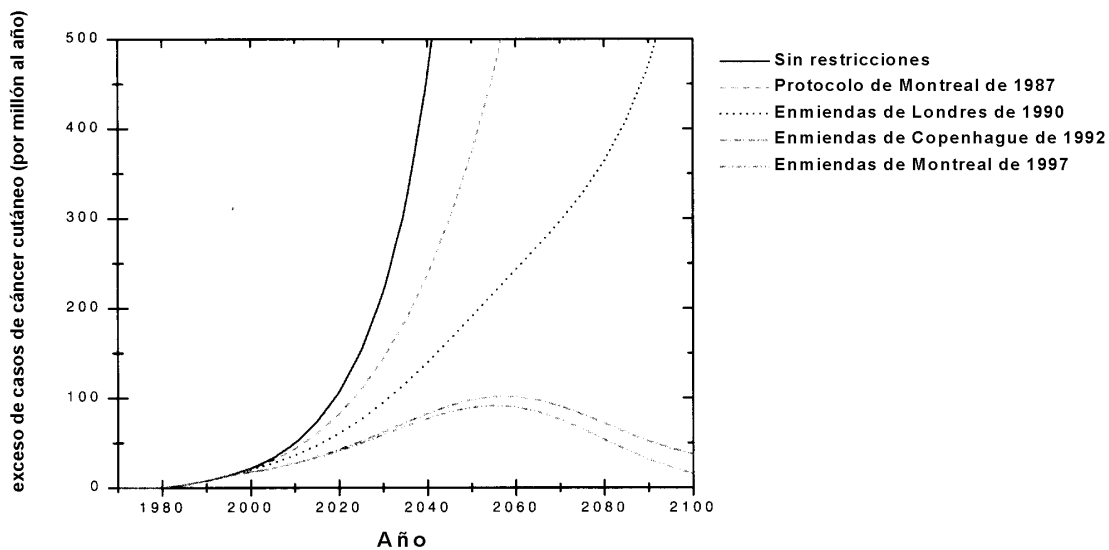


Figura 2: Exceso de incidencias futuras de cáncer cutáneo, por cada millón de personas, en cinco escenarios, en virtud de la reglamentación actual (línea de rayas, dos puntos), la enmienda de Copenhague (línea de rayas, un punto), la enmienda de Londres (línea de puntos), el original Protocolo de Montreal de 1987 (línea de rayas), y sin el Protocolo (línea de trazo seguido).

Además, los impactos mencionados (y probablemente muchos otros) hubieran continuado creciendo en los años más allá del 2050 sin las medidas del Protocolo de Montreal. Es importante subrayar que las disposiciones del Protocolo original de Montreal de 1987 hubieran hecho que disminuyeran los ritmos anteriores de crecimiento, pero que la recuperación (es decir una situación mejorada), hubiera sido imposible sin las enmiendas y ajustes del Protocolo (Londres, 1990; Copenhague, 1992, y Viena, 1995).

2. Las soluciones tecnológicas

Incluso si las naciones hubieran continuado con su intención de proteger la capa de ozono, los acuerdos a que llegaron no se hubieran llevado a la práctica sin la dedicación y las innovaciones de la industria que llevaron al desarrollo y producción de alternativas de las sustancias que agotan el ozono. A este respecto, es importante señalar que cuando se firmó en 1987 el Protocolo de Montreal, apenas se conocían algunas alternativas de los CFC y de los halones. La mayoría de los expertos suponían que otras sustancias químicas similares, principalmente otros fluorocarbonos (HCFC y HFC) serían los sustitutos primordiales de los CFC. El Protocolo de Montreal estimuló a la búsqueda mundial de sustitutos y alternativas de forma que los HCFC y los HFC se convirtieron en una parte mínima, aunque crítica, de la solución actual. Entre 1987 y 1998 el uso total de sustancias químicas disminuyó aproximadamente en el 30% mediante estrategias de conservación tales como las de confinamiento y reciclaje. Se redujo aproximadamente en un 50% mediante la aplicación de sustitutos ajenos a los fluorocarbonos, incluidas opciones no químicas tales como las soldaduras sin necesidad de limpieza y opciones químicas tales como propelentes a base de hidrocarburos, agentes de limpieza y agentes espumantes. Solamente se redujo la producción en un 20% mediante las alternativas a base de HCFC y HFC. Según se ilustra en la Tabla 1,

un indicador de este rápido progreso técnico es la evolución de las estimaciones de la industria acerca de las mezclas previstas de sustitutos de los CFC.

Tabla 1. La modificación en el transcurso del tiempo de la mezcla de opciones que se preveía que habrían de sustituir a los CFC.

Sustituto	Estimación (%): Año			
	1989	1991	1992	1998
No-fluorocarbonos	32	47	48	50
Conservación	29	12	26	30
HCFC	30	24	11	13
HFC	9	17	15	7

B. El mundo que tenemos por delante: La situación actual

1. El pronóstico científico

- *Se prevé que la cantidad total estratosférica de gases que agotan el ozono llegue a su valor máximo antes del año 2000.* Permaneciendo sin modificación otros factores (por ejemplo, las fluctuaciones del clima y las erupciones volcánicas), las pérdidas actuales de ozono (comparadas con los valores observados en el decenio de 1970) se acercarán al máximo. Estas pérdidas son:
 - un 6% aproximado en las latitudes medias del Hemisferio norte en invierno y primavera,
 - un 3% aproximado en las latitudes medias del Hemisferio norte en verano y otoño,
 - un 5 % aproximado en las latitudes medias del Hemisferio sur durante todo el año,
 - un 50% aproximado en la primavera antártica, y
 - un 15% aproximado en la primavera ártica.

Se ha pronosticado que tales cambios del ozono estarán acompañados de aumentos de la radiación UV-B del 7,4, 6, 130, y 22%, respectivamente, si continúan constantes otros influjos tales como el de las nubes.

- *Se prolongará a los decenios venideros el período vulnerable de agotamiento del ozono.* El descenso del total de cloro y de bromo en la estratosfera ocurrirá a un ritmo mucho más lento que el del aumento observado en los pasados decenios. Perturbaciones extremas, tales como

sucesos naturales en forma de erupciones volcánicas durante ese período, pudieran aumentar la pérdida del ozono ocasionada por sustancias químicas que agotan el ozono.

- *La capa de ozono se recuperará lentamente en los próximos 50 años.* Si se cumplen plenamente en todo el mundo las disposiciones vigentes del Protocolo de Montreal y de sus enmiendas y ajustes hasta las de Montreal de 1997, se espera que la cantidad de sustancias que agotan el ozono en la estratosfera vuelvan a su nivel anterior a 1980 (es decir sin estar perturbado) hacia el año 2050, suponiéndose que permanecen invariables todos los otros factores (por ejemplo, el clima mundial).
- *Solamente se detectará el principio de la recuperación de la capa de ozono mucho después de que la cantidad de gases que agotan el ozono llegue al máximo en la estratosfera.* Posibles aumentos en el futuro de otros gases importantes para la química del ozono (tales como óxido de nitrógeno, metano y vapor de agua) y los cambios climáticos influirán en la recuperación de la capa de ozono.
- *Incluso entonces, el exceso de incidencias de cáncer cutáneo continuará muchos años después de la recuperación de la capa de ozono.* El valor máximo de estas incidencias excesivas pudiera ocurrir tan tarde como el año 2035 para cataratas y el año 2060 para cáncer cutáneo. Este retardo proviene de la demora entre la fecha de exposición y la incidencia de la enfermedad.
- *Sería de desear que hubiera pronósticos cuantitativos semejantes para otros efectos asociados al agotamiento del ozono pero los conocimientos actuales no bastan para establecer predicciones cuantitativas.* Entre tales esferas se incluyen los efectos en los bosques, en la agricultura y la pesca.

2. Las oportunidades tecnológicas

- *En todos los sectores a los que se aplicaban sustancias que agotan el ozono, han surgido una serie de sustitutos y de métodos de alternativa.* En muchos de los nuevos productos y del equipo de fabricación se utilizan actualmente los HFC, HC, y otras sustancias químicas que no agotan el ozono. Todavía pueden encontrarse excepciones p.ej., el HCFC-141b se utiliza para espumas de aislamiento y los HCFC-22 y HCFC-123 se utilizan para aire acondicionado de edificios y enfriadores de agua. El empleo de HCFC-141b y de HCFC-22 particularmente para nuevo equipo se espera que cese después del año 2001, de forma que a partir de esa fecha el consumidor principal de HCFC será el sector de servicios. Sin embargo, todavía existe una producción y consumo importantes de CFC en los países en desarrollo. Es probable que se completen en 1999 los planes económicos para llegar al cierre de estas instalaciones. Esto tendrá una influencia directa en la disponibilidad y en el costo de los CFC, en su uso consiguiente, en el empleo de alternativas y en las emisiones de los CFC a la atmósfera.
- *Continúan los debates acerca del costo de sustancias químicas HFC y acerca de la fabricación de productos y equipo con HFC por comparación con el costo de otras sustancias químicas y los costos correspondientes de fabricación.* El asunto está muy relacionado con el calentamiento mundial. Entre las opciones técnicas del futuro es probable que se considerarán las disposiciones

del Protocolo de Montreal y las del Protocolo de Kioto. El grupo de evaluación tecnológica y económica ha iniciado la tarea, en colaboración con el grupo de expertos intergubernamental sobre cambios climáticos (IPCC) de evaluar las posibles consecuencias para la protección de la capa de ozono del control de los HFC y de los CFC en virtud del Protocolo de Kioto. Pudiera razonablemente esperarse que esta interacción lleve por último a un asesoramiento prudente acerca de las selecciones u opciones de las características más favorables para el medio ambiente, en el marco de ambos protocolos. Sin embargo, los debates de políticas pueden requerir considerable tiempo y cualquier retardo posible en la eliminación de los CFC (o cualquier movimiento posible de vuelta a los CFC) pudiera detener el ritmo de la recuperación de la capa de ozono. Por consiguiente el futuro continuará exigiendo una intervención importante de toda la comunidad internacional para atender a estos complejos asuntos.

C. El mundo que tenemos por delante: Opciones de cambio

- *Son muy limitadas las opciones para reducir actualmente y a corto plazo la vulnerabilidad frente al agotamiento del ozono.* En primer lugar la vulnerabilidad del presente y de unos pocos decenios por venir, es consecuencia de los abusos del pasado y de las emisiones de sustancias de larga vida que agotan el ozono, cuyo lento retiro de la atmósfera depende ocurre de procesos naturales que están más allá de un control humano eficaz. Por consiguiente, los principales impulsores del agotamiento del ozono a corto plazo pudieran ser procesos naturales y antropogénicos no relacionados con compuestos de cloro y de bromo (por ejemplo, gases de invernadero y fluctuaciones del clima), pero a los cuales la capa de ozono es sensible por razón de la abundancia de sustancias que agotan el ozono.
- *A largo plazo se dispone de pocas opciones de política para mejorar la recuperación de la capa de ozono.* En relación con las actuales medidas, todavía no ratificadas, (Montreal, 1997), podrían tenerse en cuenta varias opciones que llevarían a una cantidad acumulada inferior de agotamiento del ozono desde la fecha actual hasta que vuelva a recuperarse el nivel del ozono de 1980. Esta pérdida acumulada de ozono es la que se relaciona con la exposición a largo plazo a radiación UV-B y, por consiguiente, sirve como una medida pertinente que ha de tenerse en cuenta para conseguir mejoras. El grupo de evaluación científica ha calculado, en su informe de 1998 (véase el Apéndice C) el porcentaje de mejoras comparándolo con Montreal (1997) en relación con varios escenarios. Además, el grupo de evaluación tecnológica y económica ha examinado la viabilidad, puesta en práctica y posibles costos asociados a tales clases de escenarios. Por lo tanto, tal información combinada de beneficios y costos puede ayudar a caracterizar la amplitud a la que estos escenarios científicos pueden en realidad considerarse como opciones prácticas. A continuación se resumen los resultados:
 - ◇ *Escenario científico:* El 9% de la pérdida futura acumulada del ozono se evitaría si se eliminaran al año 2000 las emisiones mundiales de halón-1211.

Perspectiva tecnológica y económica: El TEAP y su Comité de opciones técnicas (HTOC) consideran que la cantidad de halón 1211 ya producido supera a las necesidades previsibles para usos críticos y que es técnicamente viable recoger el halón 1211 para

ser almacenado con seguridad o destruido. Sin embargo, el TEAP y el HTOC instan a las Partes a que consideren la posibilidad de que los programas que obligan a la recuperación de los halones por cuenta de los usuarios conduzcan a un escape masivo de esos gases hacia la atmósfera en una fecha en la que la capa del ozono es más vulnerable. Debe señalarse que las emisiones totales en ponderación PAO de halón 1211 y halón 1301 de países del Artículo 5(1) excede en la actualidad de las de los países que no son del Artículo 5(1).

- ◇ *Escenario científico:* El 7% de la pérdida futura acumulada del ozono se evitaría si se eliminaran al año 2000 las emisiones mundiales de halón-1301.

Perspectiva tecnológica y económica: No hay ningún exceso de halón 1301. Por consiguiente no puede recomendarse su destrucción. Los sistemas remanentes son esencialmente no emisores en circunstancias normales. Se han eliminado prácticamente todas las emisiones debidas a pruebas y capacitación; y la recuperación de los agentes durante el servicio y la puesta fuera de servicio del equipo constituyen una práctica ordinaria. Se satisfacen en la actualidad mediante la administración de las existencias los usos en los que todavía se requiere halón 1301 (incluida la aviación y algunas aplicaciones de defensa, industria de petróleo y gases y transporte marítimo). El halón 1301 del que se dispone a medida que se ponen fuera de servicio los sistemas sirve para proveer estos usos críticos. El valor en el mercado del halón 1301 reciclado que se obtiene por razón de su necesidad para usos críticos ha alentado a buenas prácticas de conservación. Es importante asegurarse de que se mantiene este equilibrio y que el halón conserva su valor activo. La aplicación de prohibiciones y los requisitos de una pronta puesta fuera de servicio harán probablemente que disminuya el valor del halón 1301 y que se pierda el incentivo de buenas prácticas de conservación.

- ◇ *Escenario científico:* El 5% de la pérdida futura acumulada del ozono se evitaría si se eliminaran al año 2004 las emisiones mundiales de HCFC.

Perspectiva tecnológica y económica: Para la mayoría de las aplicaciones se dispone de alternativas sin PAO de las sustancias que agotan el ozono. Sin embargo, en algunos casos (incluidos usos concretos tales como espuma de aislamiento y refrigerantes) los HCFC son técnicamente necesarios o de una eficiencia energética superior. Si nuevos controles de los HCFC llevaran a un desplazamiento hacia nuevo equipo de menor eficiencia energética, la aplicación del Protocolo de Kioto se enfrentaría a nuevos retos. En muchos países en desarrollo, las inseguridades sobre disponibilidad, adaptación y viabilidad económica de algunas alternativas sin HCFC constituyen ya barreras a la transición y unos controles más estrictos de HCFC pudieran impedir el progreso en la eliminación de los CFC. Se disponía ya de alternativas de los CFC a base de HCFC para muchas aplicaciones mucho antes de que se introdujeran al comercio sustitutos de las sustancias que no agotan la capa de ozono y, en dicha fecha, se instaba a los usuarios a que tomaran prontas medidas para proteger la capa de ozono. Quizás las Partes deseen considerar las ventajas de garantizar que se dispone de suministros suficientes de HCFC para permitir una razonable recuperación económica de anteriores inversiones en HCFC.

- ◇ *Escenario científico:* El 2,5% de la pérdida futura acumulada del ozono se evitaría si se eliminara al año 2004 la producción mundial de todos los CFC y de tetracloruro de carbono.

Perspectiva tecnológica y económica: Técnicamente es viable llegar prácticamente a la eliminación de la producción y del consumo de CFC al año 2004. Ha continuado principalmente el uso de los CFC en países con economías en transición y en países del Artículo 5(1) por razón de los límites impuestos a su financiación por parte del Banco Mundial y del Fondo Multilateral y por las limitaciones de los organismos de ejecución, de las autoridades nacionales y de las empresas para gestionar la transición. Además, las Partes ya están adoptando medidas viables desde el punto de vista técnico y económico para limitar las emisiones de tetracloruro de carbono procedentes de materia prima alimentaria y de agentes de procesos, pero podrían intensificar sus esfuerzos para eliminar el tetracloruro de carbono como solvente y en aplicaciones de laboratorio y análisis (actualmente sujetos a una exención para usos esenciales). El TEAP y fuentes de la industria predicen que los usos esenciales de CFC en inhaladores de dosis medidas llegarán a un mínimo en los países que no son del Artículo 5(1) al año 2005. Sin embargo, los CFC de calidad farmacéutica serán todavía necesarios para inhaladores de dosis medidas por vía oral en los países del Artículo 5(1).

- ◇ *Escenario científico:* El 1,6% de la pérdida futura acumulada del ozono se evitaría si el límite de la producción de HCFC en los países en desarrollo se redujera del 2,8% al 2,0% al año 2000, si se adelantara su eliminación del año 2030 al año 2015, y si se instituyeran más rápidas reducciones intermedias.

Perspectiva tecnológica y económica : El TEAP y sus Comités de opciones técnicas no realizaron un análisis detallado de esta opción. Los HCFC están en la actualidad claramente identificados como sustitutos de transición en virtud del Protocolo de Montreal y en general no se utilizan cuando hay otros sustitutos de costo comparable. Nuevos controles de los HCFC harían que aumentara la necesidad de nuevas contribuciones al Fondo Multilateral y al Banco Mundial. Quizás las Partes deseen considerar nuevos esfuerzos en apoyo de opciones fundamentadas de la tecnología más aceptable para el medio ambiente.

- ◇ *Escenario científico:* Un 1% aproximado de la pérdida futura acumulada del ozono se evitaría si se eliminara al año 2004 la producción mundial de metilbromuro.

Perspectiva tecnológica y económica: El TEAP y su Comité de opciones técnicas sobre metilbromuro notificaron anteriormente que es técnicamente viable una eliminación más rápida del metilbromuro. Los usuarios de metilbromuro se beneficiarían si se les notificara pronto la introducción de nuevos controles para acelerar la aplicación. La investigación, las demostraciones y presupuestos normativos aplicados en la actualidad se basan en los controles existentes y puede ser necesario que éstos aumenten si se tornan más estrictos en virtud del Protocolo los controles de metilbromuro. La capacitación constituye también un elemento importante del calendario actual de fechas de eliminación y sería necesario intensificarla si los controles se hicieran más estrictos.

- *El fracaso en el cumplimiento de los acuerdos internacionales del Protocolo de Montreal impedirá la recuperación de la capa de ozono.* Por ejemplo, la producción ilegal de 20-40 kilotoneladas por año de CFC-12 y CFC-113 en los próximos 10-20 años aumentaría las pérdidas acumuladas del ozono observadas por encima de aproximadamente 1-4%.
- *Los asuntos del agotamiento del ozono y de cambios climáticos están mutuamente relacionados; por lo tanto así lo están el Protocolo de Montreal y el Protocolo de Kioto.* Los cambios del ozono influyen en el clima de la tierra y los cambios del clima y de las condiciones meteorológicas influyen en la capa de ozono puesto que el agotamiento del ozono y el fenómeno de los cambios climáticos comparten una serie de procesos comunes químicos y físicos. Por lo tanto, las decisiones adoptadas (o no adoptadas) en virtud de un Protocolo tienen posiblemente su influjo en los objetivos del otro Protocolo. Por ejemplo, si se incorporaran modificaciones de las emisiones relacionadas con los gases de invernadero metano, óxido de nitrógeno y dióxido de carbono esto influiría en el ritmo de recuperación de la capa de ozono. De modo análogo, si se adoptaran decisiones relativas a los HFC esto podría influir en la posibilidad de eliminar las sustancias que agotan el ozono.

D. Epílogo

Hay una tendencia comprensible en la sociedad de exigir a los científicos, tecnólogos y economistas que se dediquen a resolver los problemas conocidos de la humanidad. Recientemente, se hizo esto de forma muy explícita en la declaración de Seoul sobre ética medioambiental (1997). Es claro que estas comunidades de expertos han satisfecho bien esta expectativa por su aporte al atender al asunto del agotamiento de la capa de ozono. Sin embargo, quizás la característica más digna de mención en el aporte de los científicos ha sido la predicción del agotamiento del ozono mucho antes de que fuera mensurable. Subsiguientemente, se han identificado y han continuado siendo identificadas y caracterizadas las emisiones antropogénicas de compuestos de cloro y bromo, el agotamiento de la capa de ozono y los correspondientes efectos en el medio ambiente. Las alternativas técnicas han sido rápidamente propuestas, promovidas por su conveniencia, producidas, incorporadas y comercializadas en todo el mundo. Los expertos han evaluado la información pertinente que ha sido presentada a las Partes, a la industria y al público. Los informes para 1998 de los grupos de evaluación del Protocolo de Montreal con los que se ha redactado la presente síntesis, no son sino la última etapa en dicho servicio prestado. La utilidad continua de este servicio es la meta de los participantes.