



**Programa de las
Naciones Unidas
para el Medio Ambiente**

Distr.: General
6 de junio de 2011

Español
Original: Inglés



**Grupo de Trabajo de composición abierta de las Partes
en el Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que
agotan la capa de ozono
31ª reunión**

Montreal, 1 a 5 de agosto de 2011

Tema 9 del programa provisional*

**Informe de síntesis de las evaluaciones de 2010 de los
grupos de evaluación del Protocolo de Montreal**

Informe de síntesis

Nota de la Secretaría

1. En el anexo de esta nota se presenta una síntesis de los tres informes que prepararon, en cumplimiento de lo dispuesto en el artículo 6 del Protocolo de Montreal sobre las sustancias que agotan la capa de ozono, el Grupo de Evaluación Científica, el Grupo de Evaluación de los Efectos Ambientales, y el Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica, respectivamente: Evaluación científica del agotamiento de la capa de ozono correspondiente a 2010, Efectos ambientales del agotamiento de la capa de ozono y sus interacciones con el cambio climático: Evaluación de 2010 e Informe del Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica correspondiente a 2010.
2. La síntesis se presenta tal como fue recibida por los Copresidentes de los tres grupos de evaluación, sin que se haya hecho una corrección oficial de estilo.
3. Las conclusiones contenidas en el informe de síntesis se apoyan en los informes de los tres Grupos de Evaluación 2010, que se pueden consultar en el sitio web de la Secretaría del Ozono en las siguientes direcciones:

Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2010

http://ozone.unep.org/Assessment_Panels/SAP/Scientific_Assessment_2010/index.shtml

Environmental Effects of Ozone Depletion and its Interactions with Climate Change: 2010 Assessment

http://ozone.unep.org/Assessment_Panels/EEAP/eeap-report2010.pdf

2010 Report of the Technology and Economic Assessment Panel

http://ozone.unep.org/Assessment_Panels/TEAP/Reports/TEAP_Reports/teap-toc-assessment-reports-2010.shtml

* UNEP/OzL.Pro.WG.1/31/1/Rev.1.

Anexo

EVALUACIÓN DE LOS COPRESIDENTES DE LOS GRUPOS

Grupo de Evaluación Científica (GEC)

Ayité-Lô Nohende AJAVON

Université du Benin, Togo

Paul A. NEWMAN

National Aeronautics and Space Administration, EE.UU.

A. R. RAVISHANKARA

National Oceanic and Atmospheric Administration, EE.UU.

John A. PYLE

University of Cambridge, Reino Unido

Grupo de Evaluación de los Efectos Ambientales (GEEA)

Janet F. BORNMAN

University of Waikato, Nueva Zelandia

Nigel D. PAUL

Lancaster University, Reino Unido

Xiaoyan TANG

Universidad de Beijing, China

Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica (GETE)

Stephen O. ANDERSEN

Institute for Governance and Sustainable Development, EE.UU.

Lambert J. M. KUIJPERS

Universidad Técnica de Eindhoven, Países Bajos

Marta PIZANO

Hortitecnia, Colombia

INFORME DE SÍNTESIS

Principales conclusiones de las evaluaciones de 2010 del Grupo de Evaluación Científica, el Grupo de Evaluación de los Efectos Ambientales, y el Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica

Ayité-Lô Ajavon, Stephen O. Andersen, Janet F. Bornman, Lambert J. M. Kuijpers, Paul A. Newman, Nigel D. Paul, Marta Pizano, John A. Pyle, y A. R. Ravishankara

El Protocolo de Montreal está dando resultados en cuanto a la protección de la capa de ozono y el clima; esta conclusión se ha afianzado desde las evaluaciones de 2006. Hay nuevas pruebas de que la carga atmosférica total de sustancias que agotan el ozono (SAO) sigue disminuyendo, a pesar de que están aumentando las concentraciones de los hidroclorofluorocarbonos (HCFC), los compuestos con contenido de cloro que sustituyen a los clorofluorocarbonos (CFC). Las cantidades de la columna de ozono observadas a nivel mundial, en latitudes medias y en el polo, son más bajas que los niveles de 1980, pero no han acusado una disminución ni aumento en la última década. La falta de cambios en el ozono durante este período, en que las SAO disminuyeron sólo ligeramente, coincide con nuestro conocimiento de la atmósfera.

Si el Protocolo de Montreal no hubiera dado resultados y las emisiones de las sustancias que agotan el ozono hubieran seguido aumentando, el agotamiento de la capa de ozono y el consiguiente aumento sustancial de los rayos ultravioleta (UV) habrían sido muy importantes. Estos cambios en la radiación de UV habrían tenido graves impactos en la salud humana y el medio ambiente.

La disminución de las SAO ha redundado en beneficio, no sólo a la capa de ozono, sino también del clima de la Tierra. La cantidad de las emisiones de SAO (equivalente en CO₂) evitadas en 2010 gracias a los controles ejercidos en el marco del Protocolo de Montreal supera en unas cinco veces el objetivo de reducción de emisiones de la “canasta” de gases contemplados en el Protocolo de de Kyoto en el primer período de compromiso. Si los gases de efecto invernadero que agotan el ozono hubieran seguido aumentando, la contribución de las SAO al forzamiento total del clima habría alcanzado ahora una fracción importante de la debida al CO₂.

En este documento se incluyen las principales conclusiones de las evaluaciones de 2010 del Grupo de Evaluación Científica (GEC), el Grupo de Evaluación de los Efectos Ambientales (GEEA), y el Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica (GETE). Además, a continuación se destacan tres cuestiones de especial interés para las Partes. La primera se refiere al estrecho vínculo entre el ozono estratosférico y el clima. La segunda se relaciona con el uso continuado de HFC con un alto PCA como sustituto de las SAO en algunas aplicaciones. La tercera se vincula con la utilización y las emisiones crecientes de metilbromuro en las aplicaciones de cuarentena y previas al envío, que no están sujetas al control del Protocolo de Montreal.

El ozono estratosférico y el clima

El agotamiento de la capa de ozono estratosférico y el cambio climático están vinculados estrechamente. El ozono absorbe la radiación UV y es un gas de efecto invernadero. El ozono estratosférico influye en el clima de la superficie y los gases de efecto invernadero influyen en el ozono estratosférico. Por ejemplo, el dióxido de carbono enfría la estratosfera, mientras que algunos otros gases de efecto invernadero (por ejemplo, el metano y el óxido nítrico) afectan directamente los niveles del ozono estratosférico. Las SAO no sólo destruyen el ozono estratosférico, sino que también pueden ser potentes gases de efecto invernadero. Por otra parte, algunos HFC utilizados actualmente como sustitutos químicos para algunas SAO también son potentes gases de efecto invernadero. Por lo tanto, la protección de la capa de ozono y del clima deben considerarse de forma conjunta cuando se adopten decisiones encaminadas a controlar las emisiones de productos químicos antropógenos.

El aumento de las SAO ha causado un importante agotamiento de la capa de ozono sobre la Antártida durante la primavera. Este fenómeno ha prolongado el invierno estratosférico del hemisferio sur, modificado los modelos de vientos en la troposfera del hemisferio sur, y causado un aumento de la temperatura de la superficie de la península antártica y al mismo tiempo un enfriamiento de la meseta antártica.

La eliminación gradual de las SAO a raíz de los controles establecidos por el Protocolo de Montreal ha de aumentar los niveles de ozono estratosférico y disminuir el forzamiento antropógeno del clima por obra de estos potentes gases de efecto invernadero. Los mayores niveles de gases de efecto

invernadero enfrían la estratosfera y modifican la circulación estratosférica; ambos factores afectan los niveles de ozono.

La intrincada combinación del cambio climático y el agotamiento de la capa de ozono estratosférico se manifiesta no sólo en sus fenómenos, sino también en sus efectos ambientales. El agotamiento de la capa de ozono estratosférico aumenta la radiación de UV en la superficie, mientras que el cambio climático aumenta la temperatura de la superficie y modifica la formación de nubes y las precipitaciones. La respuesta a los cambios en la radiación de UV se ve alterada por estos efectos del clima, mientras que la respuesta al cambio climático se ve modificada por la radiación UV. Por ejemplo, estudios recientes han demostrado que para el mismo nivel de radiación ultravioleta, los aumentos de la temperatura pueden crear un mayor riesgo de cáncer de piel distinto del melanoma y que los ecosistemas terrestres y acuáticos se verán afectados por las interacciones entre la exposición a los rayos UV y el cambio climático. No se conoce con certeza en la actualidad la magnitud de las consecuencias de las interacciones entre el ozono y el clima para la salud, la diversidad biológica, la función de los ecosistemas y las reacciones.

Desde el punto de vista técnico y económico es factible acelerar la eliminación de la mayoría de las SAO, reducir sus emisiones en muchas aplicaciones, y recoger y destruir gran cantidad de esas sustancias contenidas en espumas y equipos de refrigeración y de aire acondicionado. Con incentivos económicos, la financiación adecuada, y el acceso a las nuevas tecnologías, es técnica y económicamente viable sustraerse al uso de HFC con un alto potencial de calentamiento atmosférico (PCA) en el proceso de eliminación gradual de la mayoría de aplicaciones de HCFC. También hay medidas viables desde el punto de vista técnico y económico para disminuir gradualmente el uso de HFC de alto potencial de calentamiento atmosférico en las aplicaciones móviles de aire acondicionado y otras aplicaciones (las SAO ya se han eliminado a nivel mundial). Surgirán rápidamente nuevas tecnologías a medida que se aplican controles adicionales para proteger la atmósfera mundial.

Hidrofluorocarbonos (HFC)

Los HFC son compuestos de sustitución de los CFC y los HCFC, porque su potencial de agotamiento del ozono es esencialmente de cero. Los HFC se están utilizando cada vez más, y su abundancia en la atmósfera aumenta rápidamente. Como muchos HFC son gases de efecto invernadero muy potentes, la utilización y las emisiones continuas de HFC a nivel mundial podrían causar emisiones que, según las proyecciones, representen hasta el 20% de las emisiones totales de esos gases (ponderadas por el PCA) para el año 2050.

En la actualidad se prevé que las concentraciones de los subproductos atmosféricos por degradación liberados en el medio ambiente, incluido el ácido trifluoroacético (TFA), según las proyecciones de los usos de los HFC (y los HCFC) en el futuro, sigan siendo relativamente bajas, y no se espera pues que constituyan un riesgo significativo para la salud humana o sean perjudicial para el medio ambiente.

El Protocolo de Montreal protegió la capa de ozono, al proporcionar el marco para la eliminación gradual de las SAO. Esta eliminación en gran medida ha redundado en beneficio del clima, pero también ha producido otros efectos parcialmente desestabilizadores debido al uso de HFC de alto PCA. Hasta hace poco, había pocos incentivos económicos para evitar y eliminar los usos y las emisiones de HFC para aplicaciones en que están surgiendo o ya están disponibles alternativas o sustitutos superiores desde el punto de vista ambiental. Sin embargo, en la actualidad se están introduciendo rápidamente opciones con bajo potencial de calentamiento atmosférico como alternativas a los HFC de alto potencial de calentamiento atmosférico en operaciones de fabricación en gran escala, tales como las espumas aislantes, pero se requiere más tiempo para otros sectores, debido a la vida útil de los productos existentes y a consideraciones técnicas y económicas (por ejemplo, la inflamabilidad, la toxicidad, y la eficiencia energética). La elección de sustancias con el más bajo potencial de calentamiento atmosférico puede no ser siempre el enfoque óptimo desde la perspectiva ambiental, debido a que las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por la fabricación del producto y el uso de energía del producto a menudo dominan la huella de carbono del ciclo de vida. En la actualidad está surgiendo una nueva tecnología, pues se está comercializando cada vez más la tecnología de bajo potencial de calentamiento atmosférico con alta eficiencia energética.

Las consideraciones anteriores destacan que hay otras opciones para hacer frente a las consecuencias del clima asociado a la eliminación gradual de las SAO. Tres ejemplos: 1) la Directiva de la Comisión Europea sobre sistemas móviles de aire acondicionado y las decisiones de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, de eliminar el HFC-134a en el aire acondicionado de los vehículos de motor; 2) El Fondo Multilateral en la actualidad ofrece 25% más de financiación para proyectos que permitan evitar los HFC de alto potencial de calentamiento atmosférico; 3) Algunas Partes en el Protocolo de Montreal han propuesto una enmienda que reduciría gradualmente los HFC a

través de controles típicos de ese Protocolo. Las propuestas de enmienda al Protocolo de Montreal para eliminar los HFC fomentan la inversión en productos alternativos o sustitutivos.

Metilbromuro

El Protocolo de Montreal ha permitido controlar de manera satisfactoria la inmensa mayoría de las sustancias que agotan el ozono. Por lo tanto, las nuevas medidas para acelerar la recuperación de la capa de ozono a través de ajustes son limitadas. Los esfuerzos actuales han reducido la abundancia de metilbromuro observada en la troposfera (una de las principales SAO) en un 1,9 partes por billón (un 20%) de los valores máximos encontrados durante 1996-1998. El metilbromuro hace una aportación importante a la carga de bromo estratosférico y, en 2008, casi el 50% del consumo total de metilbromuro fue para usos no controlados por el Protocolo de Montreal (aplicaciones de cuarentena y previas al envío, CPE). El consumo de esas aplicaciones ha aumentado significativamente en algunas de las Partes desde 2007, como consecuencia de la expansión del comercio internacional.

Sin embargo, todavía es posible un mayor control del metilbromuro. Aproximadamente del 20 al 35% del consumo mundial actual de metilbromuro para las aplicaciones de cuarentena y previas al envío (CPE) podría ser sustituido por otras alternativas disponibles. La eliminación completa de esas aplicaciones tendría un beneficio inmediato, y según las estimaciones, adelantaría en aproximadamente un año y medio la recuperación de la capa de ozono. Como esas aplicaciones CPE están actualmente exentas en virtud del Protocolo, no hay obligación ni incentivo para limitar los usos. Sin embargo, algunas Partes han eliminado por completo tales usos y otros han anunciado su intención de hacerlo en un futuro próximo.

Se indican a continuación los aspectos más destacados de los informes de los tres grupos de evaluación.

Aspectos más destacados de los informes de los tres grupos de evaluación

Aspectos destacados de la evaluación científica

Ayité-Lô Ajavon, Christine A. Ennis, Paul A. Newman, John A. Pyle, y A. R. Ravishankara

I. Resultados logrados en el marco del Protocolo de Montreal

El Protocolo de Montreal sigue dando resultados satisfactorios en la reducción de la abundancia general de sustancias que agotan el ozono (SAO) en la atmósfera.

- El total de cloro atmosférico generado por las SAO sigue disminuyendo a partir de los valores máximos de la década de 1990, tanto en la troposfera como en la estratosfera. En la troposfera, el cloro total ha disminuido en un 8% de su valor máximo de 3,7 partes por mil millones (ppmm).
- La eliminación de los clorofluorocarbonos (CFC) de la atmósfera es lo que más contribuye a la disminución del cloro total, ya que se ha retirado en gran parte de la atmósfera el metilcloroformo de corta vida. La concentración de tetracloruro de carbono se ha reducido más lentamente de lo esperado, sin que se comprendan plenamente en la actualidad los motivos de las discrepancias.
- El total de SAO bromadas, incluidos los halones, están disminuyendo en la atmósfera inferior y han dejado de aumentar en la estratosfera. La cantidad del halón-1211 también está disminuyendo.
- La abundancia troposférica de la mayoría de los hidrofluorocarbonos (HFC) y los hidroclorofluorocarbonos (HCFC) está aumentando rápidamente como resultado de la sustitución de los CFC y el crecimiento económico.
- El cloro en la atmósfera inferior disminuyó más lentamente de lo que se hubiera previsto a partir de la reducción de sus emisiones y de su eliminación de la atmósfera debido al aumento de las emisiones de los HCFC, junto con la fuga de CFC de "bancos" en el equipo existente y las espumas.

El Protocolo de Montreal ha protegido la capa de ozono

- El agotamiento de la capa de ozono en las latitudes medias y en el mundo se ha estabilizado. Durante el período 2006-2009, las cantidades medias anuales totales del ozono de la columna en las latitudes medias en los hemisferios sur y norte se han mantenido al mismo nivel observado

durante 1996-2005, en cerca de 6% y el 3,5%, respectivamente, por debajo del promedio de 1964-1980.

- Cada año se sigue produciendo el agujero en la capa de ozono antártico de primavera, con variaciones de año en año, con arreglo a los cambios previstos de un año a otro en la meteorología. La media de ozono en octubre dentro del vórtice se ha situado aproximadamente en un 40% por debajo de los valores de 1980 durante los últimos 15 años. A pesar de que las sustancias que agotan el ozono en el vórtice han mostrado una pequeña disminución, la columna de ozono antártica en primavera aún no muestra un aumento significativo desde el punto de vista estadístico.
- La pérdida de ozono en invierno y primavera en el Ártico entre 2007 y 2010 ha sido variable, pero en una gama comparable a los valores observados desde la década de 1990. Debido a las variaciones meteorológicas naturales, se prevé que la capa de ozono del Ártico en primavera presente una gran variabilidad de año en año. La variabilidad meteorológica natural, combinada con los altos niveles de cloro efectivo total generado por las emisiones antropogénas, conduce a fenómenos de agotamiento de la capa de ozono que a veces son importantes.

El Protocolo de Montreal ha beneficiado también al clima, ya que muchas de las sustancias que agotan el ozono son también gases de efecto invernadero.

- En términos de importancia para el clima, la disminución de las emisiones de SAO ponderadas por PCA en 100 años alcanzada en el marco del Protocolo de Montreal es equivalente a una reducción de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) cinco veces mayor que la meta del primer período de compromiso del Protocolo de Kyoto.

Se hace más patente el impacto del agujero en la capa de ozono en la Antártida en el clima de la superficie.

- El agujero en la capa de ozono sobre la Antártida, que es el fenómeno de agotamiento de la capa de ozono de más envergadura que se observa actualmente, ha causado un desplazamiento de los patrones de viento troposférico hacia el sur en el hemisferio sur.
- Como consecuencia del agotamiento de la capa de ozono polar, el clima de la superficie se ha calentado sobre la península antártica y se ha enfriado en el altiplano.

La capa de ozono y la radiación ultravioleta (UV) de superficie están respondiendo como se esperaba a la reducción de las SAO lograda en el marco del Protocolo de Montreal.

- En la última década, el ozono global, así como el ozono en las regiones del Ártico y la Antártida ya no están en disminución (concretamente, han dejado de reducirse, pero aún no están en aumento). Ahora las cantidades de ozono siguen mostrando una variabilidad de año en año.
- En las latitudes medias, la superficie de la radiación de UV ha sido casi constante durante la última década, mientras que se observan grandes aumentos de esos rayos en la Antártida, cuando el agujero en la capa de ozono de primavera es grande.

II. El futuro de las sustancias que agotan el ozono, sus sustitutos químicos, y la capa de ozono

La abundancia HCFC y HFC atmosféricos está aumentando en la atmósfera inferior y se prevé que continúe haciéndolo en el futuro inmediato.

- La abundancia de HFC en la atmósfera sigue aumentando, por ejemplo, el HFC-134a se ha incrementado en alrededor de un 10% anual en los últimos años.
- Se prevé que la abundancia de los HCFC en la atmósfera comience a disminuir durante la próxima década debido a las medidas de control adicionales acordadas en 2007 en el marco del Protocolo de Montreal.

Al lograr controlar las emisiones de las SAO, el Protocolo de Montreal ha protegido la capa de ozono contra niveles de agotamiento mucho más elevados.

- A nivel mundial, se prevé que la capa de ozono recupere su nivel de 1980 antes de la mitad de este siglo.
- Se prevé que el agujero en la capa de ozono sobre la Antártida persista después de la mitad de este siglo.

III. El clima, la composición atmosférica y la capa de ozono: cuestiones de actualidad y para el futuro

Los HFC y HCFC utilizados como sustitutos de los CFC se suman a los niveles atmosféricos de gases de efecto invernadero.

- La suma de los HFC aporta en la actualidad alrededor de 0,4 gigatoneladas de equivalente de CO₂ por año al total global de emisiones de equivalente de CO₂ y está aumentando a un ritmo de alrededor del 8% al año.
- Las proyecciones de crecimiento de los HFC en la hipótesis de que no se apliquen controles indican que, a mediados de siglo, las emisiones de los HFC ponderadas por PCA podrían ser comparables a las emisiones de CFC ponderadas por PCA en su punto máximo de 1988.
- Los HCFC aportan aproximadamente 0,7 gigatoneladas de equivalente en CO₂ por año, pero se prevé que esta contribución comience a disminuir en la próxima década debido a la aceleración de la eliminación de los HCFC acordada por las Partes en 2007.

La capa de ozono y el cambio climático están combinados estrechamente.

- Para las próximas décadas, la disminución de las SAO alcanzada en el marco del Protocolo de Montreal será el factor principal que influya en la recuperación de la capa de ozono. A medida que esas sustancias disminuyen, se prevé que el cambio climático y otros factores cobren cada vez más importancia para la capa de ozono en el futuro.
- Es probable que el cambio climático sea el factor dominante para la capa de ozono en el futuro a finales del siglo, en la hipótesis de que se sigan cumpliendo las disposiciones del Protocolo de Montreal.
- El enfriamiento de la estratosfera causado por el cambio climático acelerará el restablecimiento del ozono a nivel mundial, así como el ozono de primavera del Ártico, a los niveles de 1980, y las proyecciones indican que ese restablecimiento se producirá aproximadamente entre 2025 y 2040.
- Los modelos indican que los incrementos en los gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO₂) y el metano (CH₄) acelerarán la circulación estratosférica de Brewer-Dobson, lo que podría tener consecuencias importantes para las cantidades del ozono de la columna.
- Los niveles de ozono a nivel mundial, en las latitudes medias, y en el Ártico, pueden incluso llegar a ser más grandes que los anteriores a 1980, cuando el agotamiento de la capa de ozono era muy pequeño.
- El agujero en la capa de ozono sobre la Antártida sufre mucho menos la influencia del cambio climático que otras zonas del mundo; las sustancias que agotan el ozono son las que primordialmente determinan cuando se reparará el agujero en la capa de ozono, lo que según las proyecciones actuales sería después de mediados de siglo.
- Se sabe que el óxido nitroso (N₂O) agota el ozono mundial y a la vez calienta el clima. Las actuales emisiones antropogénicas de N₂O ponderadas por su potencial de calentamiento atmosférico (PAO), son más grandes que las de cualquiera de las SAO, y se prevé que se sigan siendo las principales emisiones de que agotan el ozono durante el siglo XXI.
- Las inyecciones deliberadas de compuestos que contienen azufre en la estratosfera, que se han sugerido como un enfoque de intervención del clima ("geoingeniería"), podrían tener importantes efectos no deseados sobre la capa de ozono.

IV. Opciones sobre sustancias que agotan la capa de ozono pertinentes a la política

Una mayor limitación de las emisiones futuras de las sustancias que agotan la capa de ozono permitiría adelantar las fechas de recuperación solo en unos pocos años.

- La fuga de CFC y halones a partir de bancos es actualmente la mayor fuente de emisiones ponderadas según el potencial de agotamiento del ozono (PAO). Si la captura y destrucción de los bancos de CFC y halones se retrasara un plazo de cuatro años (2011 a 2015), los beneficios para el ozono y el clima se reducirían en un 30%.
- Si todas las emisiones de las SAO se eliminaran después de 2010, el restablecimiento del cloro y el bromo estratosféricos a los niveles de 1980 podría verse acelerado en cerca de 13 años (de 2046 a 2033), y esto también tendría beneficios para el clima. Si las emisiones de metilbromuro se

eliminarán de las aplicaciones de cuarentena y previas al envío, la recuperación de la capa de ozono podría acelerarse en alrededor de 1,5 años.

Aspectos destacados de la Evaluación de los efectos ambientales

Janet F. Bornman, Nigel D. Paul y Xiaoyan Tang

El éxito del Protocolo de Montreal ha impedido impactos ambientales de gran escala causados por el agotamiento de la capa de ozono, como aumentos de la radiación UV y el consiguiente daño para la salud humana y los ecosistemas. Los aumentos en la radiación UV-B que provocan quemaduras de sol (eritema) debidos al agotamiento de la capa de ozono han sido pequeños fuera de las regiones afectadas por el agujero en la capa de ozono antártico. A raíz del Protocolo de Montreal, se han evitado mayores aumentos en las tasas de ese cáncer, que se hubieran producido si no se controlara el agotamiento la capa de ozono. También se han evitado importantes reducciones en el crecimiento y la productividad de las plantas y los organismos acuáticos, y por lo tanto, cambios significativos en el ciclo global del carbono.

Actual estado del conocimiento

- La radiación UV-B tiene efectos definidos sobre la salud humana. Estos incluyen el aumento de la incidencia del cáncer de piel, de las cataratas y del melanoma del ojo, y la disminución de la inmunidad a ciertas enfermedades, pero también la síntesis de la vitamina D en la piel. El equilibrio de la exposición a la radiación UV-B necesario para permitir una producción suficiente de vitamina D, al tiempo que se garantiza una reducción al mínimo de los riesgos para el cáncer de la piel y enfermedades oculares relacionadas con la radiación UV, es cada vez más claro para una serie de afecciones derivadas de los UV. Sin embargo, es necesario comunicar eficazmente al público la información basada en la investigación.
- Sobre la base de los usos de los HFC y HCFC actuales y previstos en el futuro, actualmente se prevé que la concentración del subproducto ácido trifluoroacético en el medio ambiente siga siendo baja, y por lo tanto no cree un riesgo significativo para la salud humana o el medio ambiente. Otros sustitutos, como el fluoruro de azufre, un fumigante propuesto para sustituir el metilbromuro, y una serie de subproductos de los sustitutos son tóxicos, pero es necesario considerar los riesgos que plantean en condiciones normales en las evaluaciones técnicas de su uso futuro.
- A pesar del éxito del Protocolo de Montreal, se han observado aumentos importantes de la radiación UV-B en latitudes altas de la zona meridional, donde el agotamiento de la capa de ozono ha sido pronunciado. En estas zonas, los resultados de una amplia gama de estudios sobre el terreno han demostrado que la mayor radiación de UV-B ha reducido la productividad de las plantas terrestres en cerca del 6% en torno a los 50°S. También se han demostrado los efectos perjudiciales de la radiación de UV-B solar en un gran número de organismos acuáticos.

Predicciones para el futuro e interacciones

- El análisis de la incidencia del cáncer de piel ha demostrado un efecto predominante de la radiación UV y una influencia significativa de la temperatura. Para el mismo nivel de rayos UV, cada aumento de un grado Celsius puede resultar en aumento de aproximadamente el 3 al 6% del cáncer de piel distinto del melanoma. Aunque hasta la fecha no está plenamente demostrado, una mayor radiación de UV-B solar, en combinación con otros factores ambientales, como el aumento de la temperatura y la humedad, puede incrementar la incidencia de ciertas enfermedades infecciosas.
- Los ecosistemas responderán a nuevas combinaciones de factores ambientales que resultan de la interacción del aumento de CO₂ atmosférico, el cambio climático y la radiación de UV, incluida la reducción de los efectos negativos de la radiación de UV en algunas regiones a medida que se recupera el total del ozono de la columna. Por ejemplo, en los ecosistemas terrestres la sequía moderada puede reducir la sensibilidad a la radiación de rayos ultravioletas en las plantas, pero las nuevas disminuciones proyectadas en las precipitaciones y el aumento de las temperaturas en algunas regiones de la Tierra, han de interactuar con los efectos de la radiación UV para reducir el crecimiento de las plantas. Incluso con la recuperación prevista del ozono total de la columna, la exposición de los organismos a la radiación UV en muchos ecosistemas se incrementará por la nubosidad reducida y la disminución de la cubierta vegetal debida a los aumentos previstos en la aridez y la deforestación.
- Se prevé que los efectos perjudiciales de la radiación UV-B solar en muchos organismos acuáticos se agraven por el cambio climático. El aumento de la temperatura ha de alterar la exposición de los organismos acuáticos a esa radiación solar, al disminuir su distribución en profundidad. La

aportación acelerada de materia orgánica disuelta en las masas de agua y la degradación de la materia orgánica por la radiación de UV modificará la transparencia del agua. La acidificación de las aguas marinas debido a la creciente concentración de dióxido de carbono atmosférico también puede contribuir a que algunos organismos acuáticos sean más vulnerables a la radiación UV-B solar.

- Todavía no se han cuantificado totalmente las consecuencias de las interacciones entre las respuestas de los organismos al cambio climático y los futuros cambios en la radiación UV para la diversidad biológica, la función del ecosistema, y las reacciones en el cambio climático, y se prevé que estas consecuencias muestren una variación geográfica significativa. Sin embargo, se prevé que el ciclo del carbono resulte afectado en los ecosistemas terrestres y acuáticos. El balance de los efectos positivos y negativos sobre el ciclo del carbono terrestre sigue siendo incierto, pero es probable que las interacciones entre la radiación ultravioleta y el cambio climático contribuyan a una menor fijación del CO₂ en muchos ecosistemas acuáticos. Las interacciones entre la radiación UV solar y el cambio climático que afectan el ciclo de elementos, por ejemplo el nitrógeno y los halógenos, también influirán en la concentración de gases de efecto invernadero y gases que agotan la capa de ozono que aparecen de forma natural, y la química ambiental de muchos contaminantes.
- La radiación de UV es uno de los factores que controlan la formación de la niebla fotoquímica (“smog”), que incluye el ozono troposférico y los aerosoles; también inicia la formación de radicales hidroxilos, que controlan la cantidad de muchos gases que afectan al clima y al ozono en la atmósfera. Los efectos netos de los cambios futuros en la radiación ultravioleta, las condiciones meteorológicas, y las emisiones antropógenas (en particular los óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles) en los radicales hidroxilos, el ozono troposférico y los aerosoles dependerán de las condiciones locales, lo que plantea desafíos para la predicción y gestión de la calidad del aire.
- Para los materiales de construcción, la mayor temperatura ambiente acelera la degradación inducida por los rayos UV del plástico y la madera, lo que acorta su vida útil al aire libre. Sin embargo, las tecnologías disponibles actualmente para la estabilización de los polímeros pueden mitigar en parte el daño a algunos tipos de plásticos comunes.

Aspectos destacados de la Evaluación tecnológica y económica

Stephen O. Andersen, Lambert J. M. Kuijpers y Marta Pizano

El Protocolo de Montreal está dando resultados. Se ha avanzado en los sectores del consumo, comercial, industrial y militar, y se han eliminado las sustancias que agotan el ozono (SAO) en muchas aplicaciones en todo el mundo. Sin embargo,

1. Algunos usos para inhaladores dosificadores, de laboratorio y análisis todavía dependen de que se sigan produciendo sustancias que agotan el ozono, autorizado por exenciones para usos esenciales;
2. Algunos servicios de protección contra incendios, refrigeración y aire acondicionado y otras aplicaciones menores aún dependen de las SAO, en bancos y recicladas;
3. Seguirán en aumento las SAO no sujetas a control como materia prima, y para aplicaciones de cuarentena y previas al envío (CPE);
4. Algunos bancos de SAO no deseadas se están escapando en la atmósfera, donde agotan la capa de ozono estratosférico y fuerzan el cambio climático, y
5. Algunos gases de efecto invernadero HFC de alto potencial de calentamiento atmosférico han sustituido a las sustancias que agotan el ozono, en particular en aplicaciones de refrigeración, aire acondicionado y espuma de aislamiento térmico, para las que no se dispone de alternativas y sustitutos con bajo PCA.

Desde el punto de vista técnico y económico es viable, en países cubiertos o no por el artículo 5:

- Recoger y destruir determinadas sustancias que agotan el ozono excedentarias y que no se necesitan para usos importantes;
- Reducir las emisiones de las SAO y sustitutos de HFC producidas por los equipos de refrigeración, aire acondicionado y protección contra incendios;
- Eliminar los HCFC más rápidamente y evitar en gran medida las sustancias de alto potencial de calentamiento atmosférico en los equipos nuevos de refrigeración y aire acondicionado.

Si se dispone de financiación, las Partes del artículo 5 pueden apuntar a objetivos que superan el cumplimiento del Protocolo y reducir gradualmente los HFC de alto potencial de calentamiento atmosférico en aplicaciones como los sistemas móviles de aire acondicionado, cuando ya se ha completado la eliminación de las SAO en la fabricación de vehículos nuevos y aumentar la eficiencia energética en la refrigeración, el aire acondicionado y las aplicaciones de la espuma con el beneficio adicional de la prosperidad sostenible debido a los costes de propiedad más bajos.

Está disponible tecnología que permite sustraerse a los HFC con alto potencial de calentamiento atmosférico en algunas aplicaciones, lo que evitaría una segunda transición para reemplazar los HFC y las complicaciones que suponen las existencias cada vez mayores de equipos HFC que requieren mantenimiento con HFC, lo que puede ser costoso o no estar disponible fácilmente. Las Partes del artículo 5 necesitarán una financiación adecuada y las Partes no cubiertas por el artículo 5 requerirán incentivos de reglamentación

La oportunidad de destruir refrigerantes con SAO no deseadas se disipa a medida que el equipo llega al final de su vida útil y las sustancias que agotan el ozono son liberadas. En la mayoría de los países en desarrollo y desarrollados no hay incentivos económicos ni la infraestructura. Los beneficios colaterales derivados de la protección del ozono y del clima que se generarían de la recogida y destrucción de las sustancias que agotan el ozono son superiores a los costes:

- La recogida y destrucción no es rentable si no se paga el beneficio para el medio ambiente;
- La recogida y destrucción serían muy rentables si se pagara a las empresas por la contribución a la protección del ozono y el clima, pero en la mayoría de los países no existe ningún incentivo económico, y
- Es contraproducente obligar a la recogida y destrucción sin incentivos, ya que los propietarios pueden liberar sustancias que agotan el ozono que de otra forma estarían disponibles para su destrucción sujeta a pago.

Aplicaciones de la espuma

Es probable que estén disponibles en el comercio antes de lo esperado inicialmente (entre 2013 y 2015) HFC (HFO) no saturados, que en las evaluaciones preliminares muestran un mejor rendimiento térmico que los HFC saturados. Sin embargo, para su adopción a gran escala sería necesaria una mayor validación en términos de rendimiento y costo. Hay formas de aislamiento térmico alternativas disponibles en todos los mercados. Las iniciativas voluntarias de construcción ecológica, la divulgación de información sobre el uso de energía en los edificios, y los incentivos reglamentarios imponen incesantemente la innovación en el diseño de edificios, el aislamiento térmico, y la tecnología para reemplazar las espumas hechas con sustancias que agotan el ozono y gases de efecto invernadero, o que las contienen.

Halones

Parece que hay suficientes existencias de halón 1211 y 1301 para satisfacer las necesidades conocidas en el futuro previsible, aunque esas reservas no están distribuidas de forma uniforme en el plano regional. La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) de las Naciones Unidas ha aprobado un plan para sustituir en los aviones nuevos los halones que se encuentran a bordo en los receptáculos de basura de los lavabos, los extintores portátiles, las barquillas del motor, y las unidades de energía auxiliares. La protección de los compartimentos de carga sigue planteando un reto para el que no existe una solución aceptable en este momento, aunque la investigación continúa.

Aplicaciones médicas

Ha habido avances significativos globales en la transición de inhaladores dosificadores con CFC a inhaladores sin CFC, en la eliminación gradual de las SAO en otros productos médicos en aerosol, y en la transición a la esterilización sin sustancias que agotan el ozono.

Ya están disponibles en casi todos los países de todo el mundo soluciones alternativas técnicamente satisfactorias para los inhaladores dosificadores con CFC que abarcan a todas las clases principales de fármacos utilizados en el tratamiento del asma y la enfermedad pulmonar obstructiva crónica.

Se aconseja un enfoque prudente de la producción de CFC para la fabricación de inhaladores dosificadores, ya que la transición avanza rápidamente. Podría ser posible completar la eliminación de los CFC con una gestión cuidadosa de las reservas existentes de CFC, a condición de que la fabricación de CFC de calidad farmacéutica esté también sujeta a una gestión cuidadosa.

Metilbromuro

El 88% de los usos controlados del metilbromuro global se han eliminado gradualmente. El mayor uso de metilbromuro para aplicaciones de cuarentena y previas al envío no controladas por el Protocolo de Montreal está compensando los logros alcanzados por la reducción de los usos controlados para suelos, estructuras y productos básicos. Parte de este aumento se debe al uso en el suelo antes de sembrar en los sectores de viveros de reproducción artificial.

El GETE estima que las alternativas y sucedáneos disponibles en la actualidad podrían sustituir aproximadamente del 22% al 33% del consumo global de aplicaciones de cuarentena y previas al envío.

Algunas Partes han suprimido todos los usos del metilbromuro, incluida las aplicaciones CPE, y otras Partes han anunciado su intención de suspender las aplicaciones CPE exentas en un futuro próximo.

Las Partes del artículo 5 han reducido el consumo de metilbromuro en casi un 80% de la línea de referencia, muy por delante de los calendarios de eliminación, pero se necesitan aún nuevos esfuerzos para que se pueda respetar el plazo de la eliminación total de 2015.

Existen otras alternativas técnicas para casi todos los usos controlados de metilbromuro, pero la eliminación del resto de los usos de este elemento se verá muy influenciada por el registro y los controles reglamentarios de varios productos alternativos fundamentales basados en productos químicos (incluyendo el 1,3-dicloropropeno, la cloropicrina, el yoduro de metilo y el fluoruro de azufre) y por los incentivos para la utilización de alternativas no químicas y la gestión integrada de las plagas.

Refrigeración y aire acondicionado y bombas de calor

Las opciones técnicas para eliminar gradualmente las SAO y evitar los refrigerantes de HFC con alto potencial de calentamiento atmosférico son universales, pero las leyes, reglamentos, normas, economía, condiciones de competencia y otros factores a nivel local influyen en las decisiones regionales y locales.

Desde la evaluación de 2006, se introdujeron más de 60 nuevos refrigerantes y mezclas de refrigerantes, para su uso, ya sea en equipos nuevos o como fluidos de mantenimiento (para mantener o convertir los equipos existentes) y la preocupación global por el cambio climático contribuirá a que se sigan introduciendo nuevas innovaciones en el equipo. En la mayoría de los sectores cada vez se usan más opciones HFC y no fluoroquímicas, con especial hincapié en la optimización de la eficiencia energética del sistema y la reducción de las emisiones de refrigerantes de alto potencial de calentamiento atmosférico.

Entre las soluciones de sustitución para el HCFC-22 pueden mencionarse los refrigerantes HFC con un menor potencial de calentamiento atmosférico (HFC-32, HFC-152a, HFC-161, HFC-1234yf y otros fluoroquímicos no saturados, así como sus mezclas), hidrocarburos (HC-290) y dióxido de carbono (R-744). Los hidrocarburos inflamables y refrigerantes HFC deberán aplicarse de conformidad con las normas de seguridad adecuadas.

En Europa y el Japón, los hidrocarburos (HC) y R-744 están ganando cuotas de mercado en los equipos comerciales de refrigeración autónomos, en sustitución del HFC-134a, que es la opción dominante en la mayoría de los demás países. En muchos países desarrollados el R-404A y el 507A R han sido los principales sustitutos del HCFC-22 en los supermercados, pero, debido a su alto potencial de calentamiento atmosférico, se están introduciendo una serie de otras opciones. En los sistemas de dos fases en Europa, se utiliza el R-744 en el nivel de temperatura baja y el HFC-134a, R-744 y los HC en el nivel de temperatura media.

En los sistemas de aire acondicionado de aire a aire, las mezclas de HFC, principalmente R-410A todavía predominan como sustitutos a corto plazo del HCFC-22 en los sistemas refrigerados por aire. El HC-290 también se utiliza para reemplazar el HCFC-22 en los sistemas divididos de baja carga, aire acondicionado de ventanas y portátiles en algunos países.

Los fabricantes y los proveedores de automóviles han evaluado las opciones de refrigerantes de bajo potencial de calentamiento atmosférico para los sistemas de aire acondicionado de los automóviles (y camiones) nuevos, incluido el R-744 (PCA= 1), el HFC-152a (PCA = 133) y HFC-1234yf (PCA = 4). Las asociaciones de fabricantes de automóviles en Europa, el Japón y los Estados Unidos han apoyado el HFC-1234yf, al igual que la única compañía que anunció una elección de refrigerante (General Motors). HFC-152a y HFC-1234yf están incluidos en el programa SNAP (Significant New

Alternatives Policy), de la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU., como sustitutos aceptable desde la perspectiva del medio ambiente.
