

Protocolo de Montreal relativo a las Sustancias que Agotan la Capa de Ozono

Distr. general
8 de junio de 2023

Español
Original: inglés

35ª Reunión de las Partes en el Protocolo de Montreal relativo a las Sustancias que Agotan la Capa de Ozono

Nairobi, 23 a 27 de octubre de 2023

Tema 3 del programa provisional de la serie de sesiones de
alto nivel*

Presentaciones de los grupos de evaluación relativas a su
informe de síntesis sobre la evaluación cuatrienal de 2022

Síntesis de los informes de evaluación de 2022 del Grupo de Evaluación Científica, el Grupo de Evaluación de los Efectos Ambientales y el Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica

Nota de la Secretaría

1. En la presente nota figura, en su anexo, un informe de síntesis en el que se destacan las principales conclusiones de los siguientes tres informes de evaluación cuatrienales de 2022, elaborados de conformidad con el artículo 6 del Protocolo de Montreal relativo a las Sustancias que Agotan la Capa de Ozono:

- a) *Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2022*, elaborado por el Grupo de Evaluación Científica;
- b) *Environmental Effects of Stratospheric Ozone Depletion, UV Radiation, and Interactions with Climate Change: 2022 Assessment Report*, elaborado por el Grupo de Evaluación de los Efectos Ambientales;
- c) *Technology and Economic Assessment Panel: 2022 Assessment Report*, elaborado por el Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica.

2. El informe de síntesis ha sido elaborado por los Copresidentes de los Grupos de Evaluación. Los informes de evaluación individuales se publican en los portales de los respectivos Grupos en el sitio web de la Secretaría del Ozono¹ y en el portal web de la 45ª reunión del Grupo de Trabajo de composición abierta de las Partes en el Protocolo de Montreal², para su examen por las Partes. La Secretaría agradece sinceramente a los tres Grupos de Evaluación su labor.

* UNEP/OzL.Pro.35/1.

¹ <https://ozone.unep.org/science/assessment/sap>; <https://ozone.unep.org/science/assessment/eeap>;
<https://ozone.unep.org/science/assessment/teap>.

² <https://ozone.unep.org/meetings/45th-meeting-open-ended-working-group-parties/pre-session-documents>.

Anexo

Síntesis de los informes de evaluación de 2022 del Grupo de Evaluación Científica, el Grupo de Evaluación de los Efectos Ambientales y el Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica

Copresidentes de los Grupos de Evaluación

Grupo de Evaluación Científica

David W. Fahey, Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica, Laboratorio de Investigación del Sistema Terrestre, División de Ciencias Químicas, Estados Unidos de América
 Paul A. Newman, Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio, Centro Goddard de Vuelos Espaciales, Estados Unidos de América
 John A. Pyle, Universidad de Cambridge, Centro Nacional de Ciencias de la Atmósfera, Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte
 Bonfils Safari, Universidad de Rwanda, Facultad de Ciencia y Tecnología, Rwanda

Grupo de Evaluación de los Efectos Ambientales

Paul Barnes, Universidad de Loyola, Nueva Orleans, Estados Unidos de América
 Janet F. Bornman, Universidad Murdoch, Investigación, Educación y Formación sobre Agricultura Resiliente al Clima, Instituto para la Creación de Futuros para la Alimentación, Australia
 Krishna K. Pandey, Instituto de Ciencia y Tecnología de la Madera, India

Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica

Bella A. Maranion, Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, Estados Unidos de América
 Marta Pizano, experta independiente, Colombia
 Ashley Woodcock, Fundación del Servicio Nacional de Salud de la Universidad de Manchester, Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte

I. Introducción

1. El Grupo de Evaluación Científica, el Grupo de Evaluación de los Efectos Ambientales y el Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica se encargan de proporcionar evaluaciones periódicas en sus ámbitos de especialización a las Partes en el Protocolo de Montreal relativo a las Sustancias que Agotan la Capa de Ozono. En el presente informe se ofrece una síntesis de alto nivel de los informes de evaluación de 2022 de los tres Grupos. Las cuestiones científicas y tecnológicas relacionadas con el Protocolo de Montreal, así como los beneficios climáticos y ambientales del Protocolo, se ponen de relieve en este documento y se analizan en detalle en los informes de evaluación individuales de estos Grupos:

Grupo de Evaluación Científica
<https://ozone.unep.org/science/assessment/sap>

Grupo de Evaluación de los Efectos Ambientales
<https://ozone.unep.org/science/assessment/eeap>

Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica
<https://ozone.unep.org/science/assessment/teap>

2. En este informe se ofrece información actualizada que pone de relieve los logros del Protocolo de Montreal a la hora de limitar el aumento de la carga atmosférica de sustancias que agotan la capa de ozono y de hidrofluorocarbonos (HFC), lo que a su vez reduce la destrucción del ozono estratosférico, evita contribuciones adicionales al cambio climático y protege el medio ambiente. Los indicios de que esas medidas se están traduciendo en la recuperación del ozono son cada vez más claros, especialmente en el caso del ozono en la estratosfera superior y sobre la región antártica. Con la aplicación de la Enmienda de Kigali al Protocolo de Montreal de 2016 para la eliminación de los HFC, se reducirá de forma significativa la magnitud del calentamiento climático futuro, a cuya moderación también habrá contribuido la disminución de la producción y el consumo de sustancias nocivas para el ozono en virtud del Protocolo.

3. Gracias al Protocolo de Montreal se han evitado importantes repercusiones sobre la salud humana y el medio ambiente causadas por la destrucción del ozono estratosférico y el consiguiente aumento de la radiación ultravioleta. Dado que la recuperación total de la capa de ozono llevará varios decenios, sigue siendo fundamental la vigilancia a largo plazo de las sustancias que agotan el ozono, los HFC, el ozono y la radiación ultravioleta.

II. Conclusiones principales

A. Las medidas adoptadas en el marco del Protocolo de Montreal han seguido disminuyendo las concentraciones en la atmósfera de sustancias controladas que agotan el ozono y fomentando la recuperación de la capa de ozono estratosférico

4. Las concentraciones en la atmósfera tanto de cloro troposférico total como de bromo troposférico total procedentes de sustancias que agotan el ozono de larga vida han disminuido desde la evaluación cuatrienal de 2018. Las tasas observadas de disminución del cloro troposférico y del bromo troposférico en las sustancias controladas en virtud del Protocolo de Montreal fueron de $15,4 \pm 4,1$ ppb Cl año⁻¹ y de $0,18 \pm 0,05$ ppb Br año⁻¹ respectivamente, próximas a la hipótesis de referencia de la evaluación de 2018. El cloro troposférico procedente de gases de vida muy corta, cuyas fuentes son principalmente antropógenas y no están reguladas por el Protocolo de Montreal, aumentó en $2,1 \pm 0,6$ ppb Cl año⁻¹.

5. Se sigue avanzando en la eliminación de las sustancias que agotan el ozono en todos los sectores residenciales, comerciales, industriales, agrícolas, médicos y militares, habiéndose eliminado ya la producción y el consumo de tales sustancias de muchas aplicaciones en todo el mundo.

- La eliminación del consumo y la producción de hidroclorofluorocarbono (HCFC)-22 ya está prácticamente consumada en las Partes que no operan al amparo del artículo 5 y está progresando en las Partes que sí operan de ese modo.
- Se han logrado avances considerables en la eliminación del uso de HCFC en espumas. Hoy día se dispone comercialmente de agentes espumantes alternativos en casi todas las aplicaciones de espuma.
- Si bien la eliminación de los usos controlados del bromuro de metilo está prácticamente consumada, el uso de esta sustancia sigue siendo importante en aplicaciones de cuarentena y previas al envío, ya que actualmente están exentas de los controles del Protocolo de Montreal. No obstante, para una buena parte de estos usos se han encontrado alternativas, que se utilizan en algunos países.
- La eliminación de las sustancias controladas en los usos de esterilización se considera completa. En el mercado existen alternativas viables desde el punto de vista técnico y económico para todos los usos en aerosol, aunque no todas son adecuadas para todas las aplicaciones en todos los lugares.
- Existen refrigerantes alternativos con bajo potencial de calentamiento atmosférico (PCA) para todas las aplicaciones de refrigeración, aire acondicionado y bombas de calor, que representan la mayor parte de todas las emisiones de HCFC y HFC. Estas alternativas se están utilizando extensamente en algunas aplicaciones y regiones, pero la accesibilidad sigue siendo un obstáculo importante para la adopción a gran escala de refrigerantes de menor PCA y los avances en la consecución de los objetivos de los calendarios de reducción en el marco de la Enmienda de Kigali.

6. Hay pruebas más sólidas de una recuperación del ozono coherente con la disminución de las concentraciones de sustancias que agotan el ozono.

- El ozono total de la columna de aire en la Antártida sigue recuperándose, a pesar de la importante variabilidad interanual en el tamaño, la robustez y la longevidad del agujero de la capa de ozono, que responde a la variabilidad interanual de la meteorología.
- Fuera de la región antártica (de 90°N a 60°S), hay poca confianza en las escasas pruebas de recuperación del ozono total de la columna de aire desde 1996.
- Se espera que el ozono total de la columna de aire vuelva a los valores de 1980 hacia 2066 en el Antártico, hacia 2045 en el Ártico y hacia 2040 para la media casi mundial (60°N-60°S).

7. Las tendencias del ozono estratosférico varían en función de la altitud y de la región geográfica.

- Fuera de las regiones polares, las observaciones y los modelos coinciden en que el ozono de la estratosfera superior sigue recuperándose.
- En cambio, el ozono de la estratosfera inferior aún no ha mostrado signos de recuperación.
- Los modelos simulan una pequeña recuperación del ozono en la estratosfera inferior de latitudes medias en ambos hemisferios que no se aprecia en las observaciones. Conciliar esta discrepancia es fundamental para garantizar una comprensión plena de la recuperación del ozono.

8. Hasta la fecha, no se han publicado pruebas de que los confinamientos asociados a la pandemia de enfermedad por coronavirus (COVID-19) hayan afectado a las tendencias de las concentraciones atmosféricas de sustancias que agotan el ozono o de sus sustitutos, o del ozono estratosférico. Se entiende que la escasez de suministro de alternativas de bajo PCA en algunos sectores comenzó en 2020 a causa de los problemas de logística y en la cadena de suministro ligados a la pandemia de COVID-19, la escasez de materias primas, los problemas de fabricación y las condiciones meteorológicas adversas, todo ello unido al aumento de la demanda mundial. Estos problemas ya se han atenuado, pero habrá que vigilarlos de cerca, porque una escasez prolongada de suministro podría retrasar la sustitución de los HFC en los distintos sectores de uso.

B. El Protocolo de Montreal contribuye a la sostenibilidad ambiental y a la salud y el bienestar humanos, en consonancia con muchos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible

9. El Protocolo de Montreal sigue contribuyendo a la consecución de muchos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible al proteger la capa de ozono estratosférica y ayudar a la mitigación del cambio climático. Los objetivos pertinentes hacen referencia al cambio climático, la calidad del aire y del agua, la diversidad biológica y los ecosistemas, la producción y el consumo sostenibles, la seguridad alimentaria, los contaminantes y materiales, y la salud humana. Así pues, la importancia del Protocolo de Montreal para la sostenibilidad abarca varios aspectos, ya que protege la salud humana y mantiene ecosistemas terrestres y acuáticos saludables y diversos.

10. Los niveles de radiación solar ultravioleta B en la superficie habrían aumentado en todo el mundo sin el Protocolo de Montreal, y los cambios habrían sido mayores en las regiones polares (por ejemplo, el índice ultravioleta de mediados de verano en la Antártida se habría elevado de 3 a 33 entre 1975 y 2065). Además, un estudio de modelización que contemplaba una hipótesis extrema estimó que las repercusiones en la vegetación terrestre de los grandes aumentos de la radiación solar ultravioleta B que se habrían producido en un mundo sin el Protocolo de Montreal habrían reducido drásticamente la absorción fotosintética de dióxido de carbono por las plantas. A su vez, esta disminución del secuestro de carbono habría incrementado los niveles de dióxido de carbono atmosférico, lo que habría provocado un aumento adicional de la temperatura media mundial en superficie de entre 0,5°C y 1,0 °C de aquí a 2100.

11. Al proteger la Tierra de la radiación ultravioleta B extrema, el Protocolo de Montreal desempeña una función fundamental en la protección de la salud humana. En un estudio de modelización se comparó el Protocolo de Montreal, modificado y ajustado, con la hipótesis extrema de un aumento de las emisiones no reguladas de sustancias que agotan el ozono a un ritmo del 3 % anual durante todo el siglo XXI. El análisis calculó que, gracias al Protocolo de Montreal, se evitarían 11 millones de casos de melanoma, 432 millones de casos de carcinoma de células basales y escamosas (cánceres de queratinocitos) y 63 millones de casos de cataratas (la principal causa de ceguera en el mundo) en las personas nacidas en los Estados Unidos de América entre 1890 y 2100. Alrededor de la mitad de esos casos se evitan gracias a las enmiendas y ajustes introducidos en el Protocolo de Montreal original de 1987. El Protocolo también ha hecho posible seguir recibiendo los efectos beneficiosos para la salud (por ejemplo, producción de vitamina D y mejor funcionamiento del sistema inmunitario) de una exposición moderada a la luz solar a través de actividades al aire libre.

12. La radiación solar ultravioleta provoca la fotodegradación de los plásticos, lo que finalmente da lugar a su fragmentación y a la formación de microplásticos y nanoplásticos (partículas de menos de 5 mm y 0,1 µm de diámetro, respectivamente). Es probable que la aplicación del Protocolo de Montreal haya evitado el aumento de la generación de microplásticos en el medio ambiente, aunque la magnitud de esta reducción y sus consecuencias biológicas siguen sin saberse con certeza.

C. Las importantes reducciones de las emisiones previstas de HFC gracias a las disposiciones de la Enmienda de Kigali brindarán una protección sustancial del clima futuro

13. Los HFC se utilizan cada vez más como alternativas a las sustancias que agotan el ozono en los sectores de la refrigeración y el aire acondicionado, los aerosoles y las espumas, y como agentes de extinción de incendios. Si bien no contienen cloro ni bromo, que agotan la capa de ozono, son gases de efecto invernadero. En la Enmienda de Kigali, que se aprobó en 2016 y entró en vigor en 2019, se establecen calendarios para la reducción de la producción y el consumo mundiales de determinados HFC. Aunque el forzamiento radiativo de los HFC es actualmente pequeño, la Enmienda de Kigali está concebida para evitar el crecimiento descontrolado de las emisiones y el calentamiento conexo que se habría producido por los aumentos previstos de la demanda en los próximos decenios.
14. Las concentraciones en la atmósfera de la mayoría de los HFC medidos actualmente siguen aumentando, como se preveía en la hipótesis de referencia de la evaluación de 2018. Las emisiones mundiales de HFC, que proceden tanto de las Partes que operan al amparo del artículo 5 como de las demás, aumentaron un 18 % entre 2016 y 2020 en unidades de dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq).
15. Las emisiones de HFC previstas actualmente son inferiores a las pronosticadas en la evaluación de 2018. Las emisiones acumuladas entre 2020 y 2050 en la hipótesis actualizada de 2022 que tiene en cuenta los efectos de la Enmienda de Kigali son entre 14 y 18 Pg CO₂ eq inferiores a las de la hipótesis correspondiente de la evaluación anterior. La nueva hipótesis refleja los controles nacionales sobre el consumo y la producción de HFC en los países que no operan al amparo del artículo 5, así como el menor consumo notificado en China, se basa en información histórica actualizada sobre el uso de HFC en los países que no operan al amparo del artículo 5, utiliza las relaciones de mezcla observadas hasta 2020 como limitación e incluye hipótesis sobre la reducción del uso de HFC en el caso de la refrigeración comercial e industrial. La nueva hipótesis también supone que todos los países cumplen las disposiciones de la Enmienda de Kigali.
16. En la hipótesis actualizada de 2022 que se basa en la observancia de la Enmienda de Kigali, se prevé que el calentamiento medio anual de la superficie provocado por los HFC sea de 0,04 °C en 2100, frente a un aumento de entre 0,3 °C y 0,5 °C en ausencia de medidas de control. Una reducción más rápida de los HFC que la exigida por la Enmienda de Kigali atenuaría aún más el cambio climático provocado por los HFC.
17. Las emisiones mundiales de HFC-23 de $17,2 \pm 0,8$ kt año⁻¹ en 2019, basadas en mediciones en la atmósfera, son sustancialmente superiores a las emisiones de 2,2 kt año⁻¹ para ese año derivadas de estimaciones basadas en las actividades. Estas estimaciones basadas en las actividades surgen de los informes de emisiones elaborados en virtud de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, la información sobre la producción y la reducción de emisiones presentada en virtud del Protocolo de Montreal y el efecto estimado de las normativas nacionales. Los niveles atmosféricos de HFC-23 no concuerdan con el aumento sustancial de la reducción de emisiones comunicado a la Secretaría de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
18. Se prevé que las emisiones de HFC-23 aumenten en las próximas décadas. El HFC-23 se libera como subproducto de la producción de HCFC-22 y otros procesos. Estos otros procesos incluyen la producción de HFC-32, la fabricación de tetrafluoroetileno y hexafluoropropileno a partir de sustancias intermediarias del HCFC-22, los procesos de producción de otros fluorocarbonos (por ejemplo, HFC-125, HFC-134a y HFC-143a) y algunas etapas de la producción de hidrofluoroolefina.
19. La reducción de los HFC prevista en la Enmienda de Kigali y las normativas regionales inducen a la industria a sustituir los HFC por alternativas de bajo PCA y aplicaciones innovadoras, especialmente en lo que respecta a la refrigeración, el aire acondicionado y las espumas. Sin embargo, la gama de nuevos productos de menor PCA entraña la dificultad de encontrar la solución más indicada para cada aplicación, teniendo en cuenta factores como la inflamabilidad, la toxicidad, la disponibilidad, el costo, la accesibilidad y las condiciones de funcionamiento.
20. El ácido trifluoroacético es un producto de descomposición en la atmósfera de algunos HFC, HCFC, hidrofluoroolefinas, hidroclorofluoroolefinas y fluorocetonas. El ácido trifluoroacético formado en la atmósfera se deposita rápidamente con las precipitaciones y al llegar a la superficie (suelo o agua) forma sales con metales alcalinos (por ejemplo, sodio, potasio, calcio). Las sales de ácido trifluoroacético no son reactivas y tienen una larga vida en el medio ambiente, pero los animales las excretan con facilidad y, en consecuencia, no se bioacumulan en la cadena alimentaria. Al igual que otras sales minerales, las sales de ácido trifluoroacético se acumulan en océanos y lagos salados.

Se espera que la formación de ácido trifluoroacético en la atmósfera se incremente en las próximas décadas debido al aumento del uso de hidrofluoroolefinas y hidroclorofluoroolefinas. Si bien sigue detectándose ácido trifluoroacético en el medio ambiente, incluso en regiones remotas, las concentraciones son tan bajas que actualmente se considera muy improbable que tenga consecuencias toxicológicas adversas para los seres humanos y los ecosistemas. No obstante, se aconseja proseguir la vigilancia y las evaluaciones debido a las incertidumbres en torno a la deposición localizada de ácido trifluoroacético y sus posibles efectos en algunos organismos marinos que no han sido sometidos a pruebas.

D. Las mejoras en la eficiencia energética durante la reducción de los HFC pueden acelerar e intensificar los beneficios climáticos de la Enmienda de Kigali

21. La demanda mundial de refrigeración y aire acondicionado aumenta rápidamente. La mejora de la eficiencia energética en los nuevos equipos de refrigeración, aire acondicionado y bombas de calor de forma sincronizada con la reducción de los HFC podría servir para moderar el uso de energía, lo que podría duplicar el beneficio climático de dicha reducción. Esto podría suponer una contribución eficaz en función de los costos y a corto plazo al camino hacia las emisiones netas de valor cero de gases de efecto invernadero (GEI). La conversión temprana a equipos de refrigeración, aire acondicionado y bombas de calor eficientes que contengan alternativas de bajo PCA puede reducir los costos energéticos y evitar la acumulación de bancos de refrigerantes a base de HFC de alto PCA.

22. La evolución tecnológica avanza a buen ritmo, y en todos los sectores se dispone de equipos de refrigeración, aire acondicionado y bombas de calor con una mejor eficiencia energética que utilizan refrigerantes de bajo y medio PCA, aunque esa tecnología no necesariamente resulta accesible en todos los países.

E. El éxito de las medidas adoptadas por las Partes ha invertido la tendencia al alza de las emisiones inesperadas observada entre 2013 y 2017

23. La evaluación de 2018 del Grupo de Evaluación Científica determinó que las emisiones mundiales de CFC-11 aumentaron de forma inesperada en el período 2013-2017, mientras que la evaluación de 2022 concluyó que esas emisiones disminuyeron después de 2018. El aumento inicial de las emisiones de CFC-11 dio lugar a una serie de investigaciones científicas y respuestas normativas. En consecuencia, las emisiones de CFC-11 disminuyeron a 45 ± 10 Gg tanto en 2019 como en 2020. Esta disminución indica la eliminación de la mayor parte de las emisiones inesperadas que se produjeron en los años posteriores a 2012.

24. Una gran parte de las emisiones inesperadas de CFC-11 procedían del este de China. Esta conclusión se basa en observaciones regionales disponibles procedentes de varios lugares de Asia Oriental. La disminución de las emisiones de CFC-11 procedentes del este de China desde 2018 explica el 60 ± 30 % de la reducción de las emisiones mundiales observada. Aunque la red mundial de estaciones de observación de superficie proporciona estimaciones de las emisiones totales de CFC-11, la red es demasiado dispersa geográficamente para evaluar plenamente las emisiones regionales.

25. Las emisiones de los bancos de CFC-11 por sí solas no pudieron explicar el aumento inesperado de 2013 a 2017, lo que indica que la producción y el uso de CFC-11 no declarados en ese período se destinaron probablemente a la fabricación de espumas de celda cerrada. La producción no declarada también puede haberse producido antes, en el período 2007-2012.

26. Las observaciones regionales indican que algunas emisiones de CFC-12 pueden haber estado relacionadas con la producción no declarada de CFC-11. Las incertidumbres en torno a las emisiones procedentes de los bancos y las lagunas en la red de observación son demasiado grandes para determinar si han cesado todas las emisiones inesperadas de CFC-12.

F. Las concentraciones de tetracloruro de carbono en la atmósfera siguen disminuyendo a un ritmo más lento de lo esperado según las tendencias anteriores

27. Las concentraciones de tetracloruro de carbono en la atmósfera siguieron disminuyendo, pero a un ritmo más lento de lo esperado según las tendencias anteriores. Las estimaciones de las emisiones mundiales de tetracloruro de carbono basadas en observaciones atmosféricas fueron, en promedio, de 44 ± 15 Gg año⁻¹ tanto en 2016 como en 2020.

28. Las emisiones regionales de tetracloruro de carbono procedentes del este de China durante el período 2013-2019 muestran una variabilidad interanual probablemente relacionada con la producción de CFC-11. Las emisiones aumentaron después de 2013, alcanzando $11,3 \pm 1,9$ Gg año⁻¹ en 2016, y disminuyeron a $6,3 \pm 1,1$ Gg año⁻¹ en 2019.

29. La producción de tetracloruro de carbono ha aumentado en los últimos años debido principalmente a la creciente demanda de sustancias intermediarias para la producción de HFC, hidrofluoroolefinas/hidroclorofluoroolefinas y percloroetileno. Es probable que siga aumentando la producción de tetracloruro de carbono debido a la creciente demanda de hidrofluoroolefinas y hidroclorofluoroolefinas. La mayoría de las emisiones proceden de la producción, manipulación, cadena de suministro y uso del tetracloruro de carbono. Es probable que las emisiones adicionales de tetracloruro de carbono procedan de la producción no asociada al clorometano, como en el proceso de producción de la cadena de vinilo, que se señala como una posible nueva fuente de emisiones de tetracloruro de carbono.

G. Las concentraciones en la atmósfera de una serie de sustancias que agotan la capa de ozono de menor entidad ha ido en aumento; por acumulación, esas sustancias pueden llegar a tener repercusiones en el ozono estratosférico

30. Las concentraciones de las especies de menor entidad CFC-13, CFC-112a, CFC-113a, CFC-114a y CFC-115 en la atmósfera de todo el planeta aumentaron de $16,0 \pm 0,3$ ppb Cl en 2016 a un total de $17,2 \pm 0,3$ ppb Cl en 2020. Las observaciones atmosféricas confirman que Asia Oriental reviste importancia como región de origen. Es probable que estos resultados indiquen un aumento o estabilización de las emisiones de estos compuestos relativamente poco abundantes. Es probable que algunas de estas emisiones inexplicadas se produzcan como fugas de sustancias intermediarias o subproductos, y el resto no se comprende. Estas especies tienen efectos menores en la carga de cloro estratosférico y en el agotamiento del ozono estratosférico.

31. La producción y el uso de disolventes clorados de vida corta no están controlados por el Protocolo de Montreal, y algunos se utilizan en grandes cantidades. Sus efectos en el ozono estratosférico, y sus potenciales de destrucción del ozono (PDO), varían en función de la estación y la localización de las emisiones. Las emisiones de estas sustancias podrían aumentar en el futuro incluso aunque disminuyan las emisiones de las sustancias que agotan el ozono de larga vida. Ejemplos importantes de sustancias químicas de vida corta que se utilizan como sustancias intermediarias son el cloroformo, el diclorometano, el tricloroetileno y el percloroetileno. El aumento sostenido de las emisiones antropógenas de sustancias cloradas de vida muy corta, como el observado en el caso del diclorometano durante los dos últimos decenios, provocaría una mayor destrucción del ozono estratosférico en el futuro.

32. El diclorometano (tiempo de vida de 180 días) es el principal componente de las sustancias cloradas de vida muy corta. Su concentración en la atmósfera siguió aumentando entre 2016 y 2020 a una tasa de crecimiento ligeramente inferior a la anterior a 2016. Este aumento se debe principalmente al incremento de las emisiones de diclorometano en Asia. Habida cuenta de las tendencias del mercado en la producción de sustancias químicas y el uso de diclorometano, actualmente no se prevé que la producción y las concentraciones atmosféricas de diclorometano aumenten significativamente a nivel mundial en los próximos decenios. El diclorometano se utiliza principalmente como disolvente (por ejemplo, en la fabricación de productos farmacéuticos, el decapado de pintura y los adhesivos) y como agente espumante, y también como sustancia intermediaria para la producción de HFC-32. En los últimos años, se ha producido una disminución del uso de disolventes en algunas regiones (por ejemplo, la Unión Europea y los Estados Unidos) y un aumento sustancial en otras (por ejemplo, Asia Meridional y Asia Oriental). El uso del diclorometano como sustancia intermediaria para la producción de HFC-32 está aumentando en todo el mundo. Las futuras tendencias mundiales son difíciles de predecir. Dado el perfil de toxicidad del diclorometano, los usos generales de los disolventes están cada vez más regulados. No obstante, la capacidad mundial de producción de diclorometano para usos como disolvente y sustancia intermediaria está aumentando.

33. La aportación estimada de cloro de las sustancias de vida muy corta a la estratosfera en 2020 supuso un aumento de 10 ppb desde la última evaluación, alcanzando las 130 ± 30 ppb, lo que representa alrededor del 4 % de la aportación de cloro total. Las sustancias bromadas de vida muy corta, con fuentes principalmente naturales, contribuyen con 5 ± 2 ppb al bromo estratosférico y no dan muestras de cambios a largo plazo.

34. Nuevas pruebas indican que el yodo de las sustancias de vida muy corta, procedente en su mayor parte de fuentes naturales, es transportado a la estratosfera, aportando entre 0,3 y 0,9 ppb de yodo en forma de partículas o en fase gaseosa. No existen estimaciones de tendencias observacionales.

H. Producción, generación de subproductos, uso de materias primas y productos intermedios

35. Desde 2002, la producción total declarada de sustancias que agotan el ozono ha experimentado un leve aumento, con un aumento de la producción destinada a usos como materia prima que compensa el descenso de la producción destinada a usos emisores controlados. El aumento general del uso como materia prima de las sustancias que agotan el ozono en el último decenio se ha debido principalmente al incremento del uso como materia prima de los HCFC, en particular el HCFC-22. Más reciente es el aumento del uso como materia prima del tetracloruro de carbono, motivado por la adopción de las hidrofluoroolefinas.

36. Las emisiones durante la fabricación de sustancias químicas proceden de productos, coproductos, subproductos, materias primas o productos intermedios:

- La generación de subproductos de sustancias controladas en los procesos de producción se produce por reacción excesiva o reacción deficiente en el camino hacia el producto previsto, por la presencia de impurezas que experimentan reacciones y por reacciones secundarias no deliberadas.
- Los productos intermedios son los elementos químicos constitutivos por los que pasan las materias primas cuando se transforman químicamente en productos. Las tasas de emisión son mucho más bajas para los productos intermedios que para el producto final.

37. Varios procesos de producción generan subproductos y emisiones de fluoruro de carbono, en particular durante la fabricación de HCFC-22 y HFC-32. Los procesos de producción de otros fluorocarbonos también pueden dar lugar a la generación de subproductos del fluoruro de carbono, aunque en menor proporción (véase también la sección III anterior).

38. El HCFC-22 se utiliza principalmente como sustancia intermediaria para producir tetrafluoroetileno y hexafluoropropileno, que se emplean en la fabricación de fluoropolímeros. La fabricación de tetrafluoroetileno y hexafluoropropileno a partir de HCFC-22 genera subproductos y emisiones de fluoruro de carbono y perfluorociclobutano, y ambos tienen un PCA muy elevado. Estas emisiones combinadas, como dióxido de carbono equivalente, sin considerar su posible reducción, son mayores que las emisiones estimadas de fluoruro de carbono procedentes de la producción de HCFC-22.

39. Las emisiones actuales combinadas de CFC y HCFC, ponderadas con arreglo al PCA, son comparables a las de los HFC. La reducción de las emisiones futuras de CFC y HCFC requeriría abordar las emisiones procedentes de los bancos y de la producción, la generación de subproductos y el uso de sustancias intermediarias. Es probable que aumenten las emisiones mundiales de fluoruro de carbono, un compuesto de vida larga, que son en gran medida un subproducto de la producción de HCFC-22, a menos que se intensifique la reducción o que disminuya el uso de HCFC-22 como sustancia intermediaria.

I. Si bien la concentración en la atmósfera de halones está disminuyendo lentamente, sigue habiendo una demanda de halón-1301 que podría no satisfacerse en el futuro sin una nueva producción

40. El bromo troposférico procedente de los halones ha disminuido de un pico de $8,5 \pm 0,1$ ppb en 2006 a $7,3 \pm 0,1$ ppb en 2020. Las concentraciones en la atmósfera de halón-1211, halón-2402 y halón-1202 siguieron disminuyendo entre 2016 y 2020. La tasa de variación del halón-1301 permaneció indistinguible de cero. En 2020, el halón-1301 era el más abundante en la atmósfera.

41. Las emisiones de halón-1301 parecen ser superiores a las previstas a partir de un banco fijo de usos de extinción de incendios, lo que indica otras fuentes de emisiones, como las procedentes de la producción y el uso de sustancias intermediarias. Por el contrario, el aumento de las emisiones podría deberse a una tasa de emisiones del banco de halón-1301 superior a la prevista. De ser así, el banco de halón-1301 podría ser considerablemente inferior al necesario para cubrir las necesidades actuales.

42. La demanda de halones para usos de extinción de incendios persiste y acabará superando la oferta de los bancos disponibles si no se aplican alternativas. Se mantienen los usos a largo plazo de los halones (por ejemplo, en instalaciones petrolíferas y de gas, establecimientos nucleares e instalaciones militares) y existe una demanda creciente de halón-1301 por la aviación civil debido a la falta de sustitutos para las aplicaciones de extinción de incendios en motores y compartimentos de carga de las nuevas aeronaves. Las estimaciones actuales sitúan el agotamiento del halón-1301 en una fecha comprendida entre 2030 y 2049, a partir de la cual dejará de estar disponible, lo que significa que la industria de la aviación civil (y otras) deberá recurrir a sus propias reservas de halón-1301 para

evitar la inmovilización de las aeronaves por falta de protección adecuada contra incendios. Es posible que los nuevos modelos del sector militar solo puedan utilizar halón-1301 o HFC de PCA elevado para cumplir con unos requisitos estrictos en materia de diseño y seguridad personal.

43. En las Partes que no operan al amparo del artículo 5, la normativa sobre la reducción de los HFC está incidiendo en el costo y la disponibilidad de los extintores a base de HFC en mayor medida de la prevista inicialmente, debido a su elevado PCA y a la disponibilidad de una fluorocetona de bajo PCA adecuada para algunas aplicaciones. Conforme el suministro de HFC de nueva producción para la protección contra incendios disminuye en respuesta a la normativa relativa a la reducción de estos productos, el reciclaje de HFC cobrará aún más importancia para satisfacer la demanda.

J. Cuantificar los bancos de sustancias que agotan el ozono y HFC y la evolución en el tiempo de sus emisiones constantes es importante para determinar el ritmo de recuperación de la capa de ozono y sus posibles efectos en el clima

44. Vigilar los bancos de sustancias reguladas y evaluar su acumulación en equipos y productos es importante debido a las posibles repercusiones de sus emisiones incontroladas en la destrucción del ozono y el clima. Por banco se entiende la cantidad total de sustancias controladas contenidas en equipos, existencias, espumas y otros productos existentes y que, por consiguiente, aún no se han liberado a la atmósfera. Ello incluye el banco “accesible”, también denominado banco “activo”, que comprende las sustancias controladas contenidas en un equipo o producto en uso y, por tanto, potencialmente accesibles a efectos de su gestión cuando entran en la corriente de desechos al final de su vida útil. Por el contrario, el banco “no accesible” o “inactivo” denota sustancias que han sido depositadas en vertederos o arrojadas de forma ilícita junto con el equipo o producto.

45. La gestión eficaz de los bancos activos de sustancias que agotan el ozono y HFC tiene por objeto limitar al máximo las repercusiones globales asociadas a la liberación de sustancias que agotan el ozono y HFC reduciendo al mínimo las emisiones y prestando apoyo a la reducción de los HFC mediante su recuperación con fines de reciclaje, regeneración y reutilización. El Protocolo de Montreal fomenta la destrucción ambientalmente racional de las sustancias que agotan el ozono y los HFC excedentes o contaminados al final de su vida útil, ya que así se evitan emisiones innecesarias y se protege la capa de ozono estratosférica o el clima. Los bancos de sustancias que agotan el ozono y HFC de las Partes que operan al amparo del artículo 5, especialmente en los sectores de la refrigeración y el aire acondicionado y la espumas, aumentan con rapidez y constituirán el grueso de los bancos mundiales a principios del decenio de 2030, como consecuencia de la disminución de los bancos de las Partes que no operan al amparo del artículo 5 y de la rápida adopción de equipos que contienen HFC en las Partes que sí operan de ese modo. En el caso de los sectores de la refrigeración y el aire acondicionado y la espumas, se estima un total combinado de sustancias que agotan el ozono y HFC de 6.000 kt en el banco activo en 2022, lo que equivale a 16 Gt de CO₂ eq.

K. Las concentraciones atmosféricas de bromuro de metilo no han disminuido desde 2016

46. Las concentraciones medias de bromuro de metilo (CH₃Br) en la atmósfera de todo el planeta variaron anualmente entre 6,5 ppb y 6,9 ppb durante 2016-2020, sin una tendencia general clara. Las concentraciones en el hemisferio norte son aproximadamente 0,8 ppb superiores a las del hemisferio sur. Según se informa, la eliminación de los usos del bromuro de metilo controlados y no exentos (es decir, no relacionados con las aplicaciones de cuarentena y previas al envío) está prácticamente consumada. Según las notificaciones de las Partes, a 1 de enero de 2023 se había eliminado más del 99,8 % de las 66.428 toneladas que constituían el nivel de base del consumo de la sustancia para esos usos controlados. Esto significa que, en la actualidad, el bromuro de metilo se utiliza casi exclusivamente en aplicaciones de cuarentena y previas al envío, con un consumo que se mantiene generalmente estable en 10.000 toneladas anuales y se concentra en unos 17 países consumidores.

47. Existen alternativas viables desde el punto de vista económico y técnico para las aplicaciones de cuarentena y previas al envío que podrían sustituir aproximadamente al 40 % de los usos actuales. La recuperación o el reciclaje del bromuro de metilo podrían evitar alrededor del 70 % de las emisiones de bromuro de metilo derivadas del uso en aplicaciones de cuarentena y previas al envío. Sin embargo, esta tecnología es costosa y hay pocos incentivos para adoptarla. La reducción de las emisiones de todos los usos restantes del bromuro de metilo para aplicaciones de cuarentena y previas al envío, junto con la detección e interrupción de cualquier uso no declarado, se consideran factores importantes para devolver las concentraciones en la atmósfera a los niveles naturales. Debido a la vida

relativamente corta del bromuro de metilo en la atmósfera (0,7 años), la adopción de cualquier alternativa adecuada y, en algunos casos, la adopción de la recuperación/destrucción reportaría un beneficio inmediato en la reducción de su concentración atmosférica.

L. El plazo y la magnitud de la recuperación del ozono estratosférico dependen de las concentraciones futuras tanto de las sustancias que agotan la capa de ozono como de los gases de efecto invernadero

48. Las simulaciones con modelos indican que la futura recuperación de la capa de ozono fuera de las regiones polares se regirá principalmente por los GEI, suponiendo que se siga cumpliendo el Protocolo de Montreal. El amplio abanico de posibles niveles futuros de CO₂, metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) constituye una importante limitación a la hora de formular previsiones precisas respecto del ozono a escala mundial, así como del agujero de la capa de ozono y otras regiones geográficas. El ozono total de la columna de aire tarda menos en volver a los valores de 1980 en las hipótesis que suponen mayores emisiones de gases de efecto invernadero (mayor forzamiento climático) que en las hipótesis con menores emisiones de esos gases (menor forzamiento climático).

49. Las simulaciones indican que, en la franja de latitud de 60°S-60°N, el ozono total se recupera al nivel de 1980 más rápidamente en una hipótesis de mayor forzamiento del clima, porque los grandes incrementos futuros tanto de CO₂ como de CH₄ tienden a aumentar el ozono. En una hipótesis de bajo forzamiento del clima, los modelos predicen que el ozono sobre la franja de latitud de 60°S-60°N podría no alcanzar el nivel de 1980 a finales de este siglo. En esta simulación de bajo forzamiento del clima, los descensos futuros del ozono total provocados por los índices crecientes de N₂O superan los pequeños aumentos futuros del ozono causados por el CO₂ y el CH₄. En la hipótesis de forzamiento medio del clima, se prevé que el ozono total sobre la franja de latitud de 60°S-60°N vuelva al nivel de 1980 hacia el año 2040.

50. Además de los cambios en las concentraciones de sustancias que agotan el ozono y GEI, las previsiones de los niveles futuros de ozono también dependen de otros factores que influyen en la química y composición atmosféricas:

- Las futuras flotas de aeronaves comerciales supersónicas o hipersónicas podrían causar destrucción del ozono estratosférico a través de sus emisiones de cantidades considerables de vapor de agua y óxidos de nitrógeno en la estratosfera.
- Los lanzamientos de cohetes tienen actualmente un pequeño efecto sobre el ozono estratosférico total (muy inferior al 0,1 %). Sin embargo, los sistemas de cohetes que utilizan nuevos gases propulsores (por ejemplo, hidrógeno y metano) y el aumento de la frecuencia de los lanzamientos podrían ejercer una influencia sustancial en el futuro. Además, la desintegración de los equipos espaciales al entrar de vuelta a la atmósfera puede tener consecuencias para la química y la composición de la estratosfera que conllevarían efectos sobre el ozono.
- Los cambios en el aerosol estratosférico y el vapor de agua debidos a erupciones volcánicas explosivas provocarían una mayor destrucción del ozono y cambios en la circulación estratosférica. El ozono será menos sensible a las inyecciones volcánicas a medida que disminuyan las concentraciones de sustancias que agotan el ozono en los próximos decenios.
- La inyección deliberada de aerosoles sulfatados en la estratosfera se está estudiando como posible opción para reducir el calentamiento climático y los efectos conexos. Las simulaciones con modelos indican que las inyecciones tienen la capacidad de producir cambios en el ozono mediante procesos químicos y dinámicos, cuya magnitud y signo dependen en gran medida de la hipótesis de inyección y del estado del cambio climático derivado de las actividades humanas.

M. La destrucción del ozono estratosférico y el cambio climático están relacionados

51. Como ya se informó en evaluaciones anteriores, las sustancias que agotan el ozono son potentes gases de efecto invernadero que provocan el calentamiento de la superficie. El propio ozono es también un gas de efecto invernadero y sus cambios repercuten en el clima. Tanto el aumento del CO₂ como la disminución del ozono tienden a enfriar la estratosfera (mientras que los futuros aumentos del ozono tienden a propiciar el calentamiento); el enfriamiento de la estratosfera lejos de las

regiones polares ralentiza el ritmo de destrucción del ozono, lo que da lugar a mayores concentraciones de ozono en la estratosfera.

52. La tasa estimada de enfriamiento a largo plazo en la estratosfera media y superior de todo el mundo ($0,6 \text{ K década}^{-1}$) basada en las observaciones es similar a las evaluaciones anteriores. Las tendencias a largo plazo se deben principalmente al aumento del CO_2 y del ozono estratosférico. En el futuro, el aumento de los GEI y los efectos de la recuperación del ozono tendrían efectos opuestos sobre la temperatura y la circulación estratosféricas.

53. Nuevas pruebas indican que la recuperación del ozono ha provocado cambios en las tendencias observadas de la circulación atmosférica del hemisferio sur entre los períodos de destrucción y recuperación del ozono. Las simulaciones con modelos apoyan la atribución de estos cambios a la recuperación del ozono. Estos resultados constituyen una prueba de que las tendencias de la circulación en el hemisferio sur han acusado el efecto de la recuperación del ozono antártico debida al Protocolo de Montreal.

54. Si bien no se detectan efectos en superficie de los cambios a largo plazo en el ozono ártico, nuevas pruebas demuestran que, en años concretos, el bajo ozono primaveral en el Ártico puede amplificar las anomalías existentes en la circulación estratosférica y su influencia en la circulación troposférica y el clima de superficie.

55. Nuevas pruebas confirman que es poco probable que la destrucción del ozono haya provocado el enfriamiento de la temperatura de la superficie del mar en latitudes altas y los cambios en el hielo marino antártico observados desde 1979.

N. El cumplimiento de las disposiciones del Protocolo de Montreal garantiza la protección del ozono estratosférico y del clima

56. El pleno cumplimiento de las disposiciones del Protocolo de Montreal contribuye a la recuperación de la capa de ozono y a la protección del clima (como se ha señalado anteriormente):

- El ozono total de la columna de aire vuelve a los valores de 1980 hacia 2066 en el Antártico, hacia 2045 en el Ártico y hacia 2040 para la media casi mundial.
- En 2020, el Protocolo de Montreal permitió evitar $0,17 \pm 0,06 \text{ °C}$ de calentamiento de la superficie a nivel mundial y $0,45 \pm 0,23 \text{ °C}$ de calentamiento de la superficie del Ártico. Las previsiones indican que es probable que, a mediados de siglo, el Protocolo evite un calentamiento de $0,79 \pm 0,24 \text{ °C}$ en comparación con una hipótesis de emisiones no controladas de sustancias que agotan el ozono.
- La Enmienda de Kigali habrá evitado entre $0,3 \text{ °C}$ y $0,5 \text{ °C}$ de calentamiento de aquí a 2100.

57. La fructífera colaboración de expertos de todos los grupos de evaluación sobre ciencia y tecnología ha dado lugar a investigaciones y análisis coordinados para ofrecer respuestas sobre las fuentes de las emisiones inesperadas de CFC-11 que se produjeron entre 2013 y 2017. Ese asunto puso de relieve la necesidad de vigilancia para mantener el cumplimiento, garantizar la recuperación de la capa de ozono y maximizar la velocidad de recuperación.

58. Otras opciones de actuación para acelerar la recuperación de la capa de ozono y proteger el clima incluyen la eliminación de las sustancias que agotan el ozono restantes y sus emisiones, por ejemplo, las emisiones procedentes de usos como sustancias intermediarias, las emisiones de subproductos, las emisiones de bromuro de metilo procedentes de aplicaciones de cuarentena y previas al envío, las emisiones de sustancias de vida muy corta y las emisiones procedentes de bancos de sustancias controladas. Cada una de estas medidas reportaría beneficios entre pequeños y modestos para el ozono; en conjunto, adelantarían la recuperación del ozono un máximo de 16 años.

O. Consideraciones científicas, técnicas y de política ambiental

59. La eliminación en los próximos años de las emisiones procedentes de materias primas de sustancias que agotan el ozono, tal y como se estiman actualmente, podría adelantar casi cuatro años el retorno del equivalente efectivo de cloro estratosférico de latitudes medias a las concentraciones en la atmósfera de 1980, gracias en gran parte a las reducciones del tetracloruro de carbono, y reducir al mismo tiempo el forzamiento climático total derivado de las sustancias que agotan el ozono. Es importante comprender y vigilar mejor las emisiones de sustancias controladas procedentes de la producción, la generación de subproductos y el uso de materias primas, dada su contribución al total de las emisiones mundiales.

60. En 2021, casi toda la producción declarada de bromuro de metilo se destinó a aplicaciones de cuarentena y previas al envío, que no es un uso controlado en virtud del Protocolo de Montreal. Existen alternativas al bromuro de metilo, así como tecnologías de recuperación que permitirían reducir las emisiones. La eliminación de las futuras emisiones de bromuro de metilo procedentes de las aplicaciones de cuarentena y previas al envío actualmente permitidas por el Protocolo de Montreal aceleraría en dos años el retorno del equivalente efectivo de cloro estratosférico de latitudes medias a las concentraciones en la atmósfera de 1980 (como ya se señaló en anteriores evaluaciones).

61. Las emisiones de sustancias cloradas antropógenas de muy corta vida, dominadas por el diclorometano, siguen aumentando y contribuyen a la disminución del ozono. Si las emisiones de diclorometano continúan a su nivel actual, reducirán aproximadamente en 1 Dobson el promedio anual del ozono total de la columna de aire a nivel mundial. La eliminación de esas emisiones invertiría rápidamente esta reducción.

62. En la actualidad, las emisiones antropógenas de N₂O son las de mayor magnitud entre las emisiones no controladas de sustancias que agotan el ozono, ya que otras fuentes de emisión todavía superiores (CFC-11, CFC-12 y CFC-113) han sido eliminadas. Una reducción del 3 % de las emisiones antropógenas de N₂O, promediadas a lo largo del período comprendido entre 2023 y 2070, conduciría a un aumento del promedio anual del ozono total de la columna de aire a nivel mundial de alrededor de 0,5 Dobson a lo largo del mismo período, y a una disminución de alrededor de 0,04 Wm⁻² en el forzamiento radiativo, promediado a lo largo del período comprendido entre 2023 y 2100.

63. Con el aumento de los bancos de sustancias que agotan el ozono y HFC en las Partes que operan al amparo del artículo 5, sobre todo en los sectores de la refrigeración y el aire acondicionado y las espumas, se prevé que las cantidades que podrían estar disponibles para la recuperación y la gestión aumenten en esos países. El sector de la refrigeración, el aire acondicionado y las bombas de calor es el principal consumidor de HFC y se estima que es responsable de alrededor del 95 % del consumo en las Partes que operan al amparo del artículo 5 y del 80 % a nivel mundial. Una intervención a tiempo dirigida a establecer y financiar la capacidad de gestión al final de la vida útil y evitar así las emisiones de HFC podría tener efectos considerables, dado el tamaño y el crecimiento previstos de los bancos de HFC en las Partes que no operan al amparo del artículo 5 de mayores dimensiones. Eliminar las trabas que entorpecen el movimiento transfronterizo de las sustancias que agotan el ozono y los HFC al final de su vida útil será importante para apoyar la recuperación y el reciclaje selectivos de esos productos químicos, así como su destrucción ambientalmente racional, y de este modo reducir al mínimo sus emisiones.

64. En virtud de la Enmienda de Kigali, las Partes avanzan en la elaboración de normativas nacionales para reducir los HFC, lo que estimula la demanda de alternativas con menor PCA y equipos más eficientes. Aun así, la gama de nuevas alternativas de menor PCA entraña la dificultad de encontrar la solución más indicada para cada aplicación, teniendo en cuenta factores como la inflamabilidad, la toxicidad, la disponibilidad, el costo, la accesibilidad y las condiciones de funcionamiento de los equipos y sistemas:

- Se dispone de refrigerantes alternativos de PCA muy bajo, bajo o medio para todas las aplicaciones de refrigeración, aire acondicionado y bombas de calor cuyo uso ya se ha generalizado en algunas regiones y aplicaciones de este sector. La accesibilidad sigue siendo un obstáculo importante para su adopción a gran escala.
- La mayoría de los refrigerantes de PCA muy bajo, bajo y medio se clasifica en distintas categorías según su inflamabilidad (productos de inflamabilidad baja, productos inflamables y productos de inflamabilidad alta). El sector de la refrigeración, el aire acondicionado y las bombas de calor sigue actualizando las normas de seguridad pertinentes para permitir su uso (por ejemplo, el aumento de los límites de carga de refrigerantes inflamables permitidos para aplicaciones autónomas de refrigeración comercial, aire acondicionado de intercambio de aire y bombas de calor destinadas únicamente a calefacción).
- La gestión de los bancos activos que contienen equipos de refrigeración y aire acondicionado de alto PCA e ineficientes desde el punto de vista energético puede contribuir aún más a reducir la demanda de energía y la prórroga para los servicios de mantenimiento de los refrigerantes de alto PCA no deseados.
- La escasez de suministro de alternativas de bajo PCA en algunos sectores se ha paliado con la nueva capacidad de producción de alternativas a base de hidrofluoroolefinas y hidroclorofluoroolefinas, pero la escasez retrasó la sustitución de los HFC en los distintos sectores de uso. Habrá que vigilar que en el futuro el suministro sea suficiente

para compensar el crecimiento de la demanda derivado de la reducción de los HFC, a fin de evitar futuras interrupciones.

- En la mayoría de las Partes que operan al amparo del artículo 5, pero especialmente en los países con volúmenes de consumo bajos y muy bajos, la mayoría de refrigerantes a base de HFC y sustancias que agotan el ozono se utilizan para el mantenimiento, por lo que garantizar el apoyo a una capacitación y mantenimiento adecuados reduciría las emisiones directas de refrigerantes a base de HFC y sustancias que agotan el ozono y mitigaría la pérdida de eficiencia energética en los equipos de refrigeración, aire acondicionado y bombas de calor a lo largo de la vida útil de los aparatos.
- En determinadas aplicaciones de espumas, persisten algunas dificultades, sobre todo para las pequeñas empresas de ciertas Partes que operan al amparo del artículo 5, debido a la disponibilidad, seguridad y costo de algunas alternativas con menor PCA, así como a los requisitos de desempeño de los productos.
- Si bien el consumo mundial de HFC para la fabricación de productos electrónicos y la producción de magnesio es relativamente modesto, está aumentando en el caso de la fabricación de productos electrónicos, y las alternativas a los HFC incluyen actualmente otros gases fluorados, muchos de los cuales tienen un PCA más elevado.
- El abandono de los inhaladores presurizados de dosis medidas a base de HFC de PCA elevado es una empresa de gran envergadura que puede entrañar graves riesgos para la salud pública si no se gestiona con cuidado.

65. Las redes de estaciones de vigilancia atmosférica proporcionan observaciones de las concentraciones mundiales en superficie de las sustancias que agotan el ozono de larga vida y los HFC resultantes de las emisiones antropógenas. Sin embargo, las deficiencias en la vigilancia atmosférica regional limitan la capacidad de la comunidad científica para detectar y cuantificar las emisiones de sustancias controladas procedentes de muchas regiones de origen.

66. Está previsto que diversos instrumentos espaciales que proporcionan mediciones de resolución vertical a escala mundial de los componentes atmosféricos relacionados con el ozono (por ejemplo, cloro reactivo, vapor de agua y trazadores de transporte de larga vida) se retiren dentro de unos años. Sin la sustitución de estos instrumentos, se dificultará la capacidad de vigilar y explicar los cambios que se produzcan en la capa de ozono estratosférica en el futuro.

67. Las repercusiones en la capa de ozono de la inyección de aerosoles en la estratosfera, que se ha propuesto como posible opción para contrarrestar el calentamiento global, se han evaluado de la manera prevista en el mandato del informe de evaluación del Grupo de Evaluación Científica correspondiente a 2022. Se determinaron posibles consecuencias de importancia, como la profundización del agujero en la capa de ozono de la Antártida y un retraso en la recuperación del ozono. Muchas lagunas de conocimiento e incertidumbres impiden una evaluación más sólida en este momento.

68. En cuanto a la capa de ozono en el siglo XXI, causan especial preocupación los efectos de:

- Nuevos aumentos de las concentraciones de N_2O , CH_4 y CO_2 ;
- La rápida expansión del uso de materias primas de sustancias que agotan el ozono y HFC y de las emisiones conexas;
- El uso continuado e incluso incrementado del bromuro de metilo en aplicaciones de cuarentena y previas al envío;
- El cambio climático sobre el ozono total de la columna de aire en los trópicos;
- Incendios forestales y erupciones volcánicas extraordinarios;
- El aumento de la frecuencia de los lanzamientos de cohetes civiles y las emisiones de una nueva flota de aeronaves comerciales supersónicas cuya creación se ha propuesto.

69. Aunque el conocimiento de los efectos de la radiación ultravioleta está mejorando, sigue habiendo muchos problemas para evaluar adecuadamente los efectos interactivos de los futuros cambios en el clima y la radiación solar ultravioleta en la superficie sobre la salud humana, la seguridad alimentaria, la salud de los ecosistemas y la diversidad biológica. Estas dificultades se deben en parte a la incertidumbre sobre cómo los efectos del cambio climático gradual y los fenómenos climáticos extremos periódicos alterarán la irradiación ultravioleta en la superficie de la Tierra y, por consiguiente, afectarán a la adaptación de las especies y a la estructura y función de los ecosistemas en

un entorno en rápida evolución. Así pues, existe una clara necesidad de incluir la radiación solar ultravioleta junto con otros factores del cambio climático en los estudios experimentales y de modelización de la salud humana y de los ecosistemas acuáticos y terrestres para poder realizar una evaluación más sólida de los efectos ambientales de los cambios en la radiación ultravioleta en diferentes hipótesis futuras en relación con el clima a escala mundial.
