

LA PROTECCIÓN DE LA CAPA DE OZONO Y EL SISTEMA CLIMÁTICO MUNDIAL

Cuestiones relativas a los hidrofluorocarbonos
y a los perfluorocarbonos

Resumen para responsables de políticas y Resumen técnico



Grupo Intergubernamental de Expertos sobre
el Cambio Climático y Grupo de Evaluación
Tecnológica y Económica



Informe especial IPCC/GETE sobre

**La protección de la capa de ozono
y el sistema climático mundial:
Cuestiones relativas a los hidrofluorocarbonos
y a los perfluorocarbonos**

Resumen para responsables de políticas

Informe de los Grupos de trabajo I y III del IPCC

y

Resumen técnico

Informe aceptado por los Grupos de trabajo I y III del IPCC
pero no aprobado en detalle

Este informe ha sido producido por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) y el Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica (GETE) por invitación de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Montreal

Prólogo

En 1988, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) crearon conjuntamente el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), con el fin de analizar la información disponible sobre los elementos científicos, las repercusiones y los aspectos económicos del cambio climático, así como las opciones para atenuar los efectos de dicho cambio y/o adaptarse al mismo. Además, el IPCC presta, previa solicitud, asesoramiento científico, técnico y socioeconómico a la Conferencia de las Partes (CP) en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC). El IPCC ha elaborado una serie de informes de evaluación, informes especiales, documentos técnicos, metodologías y otros productos que se han convertido en obras de referencia clásicas que suelen utilizar los encargados de formular políticas, los científicos y otros expertos.

El *Informe especial sobre la protección de la capa de ozono y el sistema climático mundial* se elaboró para atender a las invitaciones formuladas por la CMCC¹ y el Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono². Se pidió al IPCC y al Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica (GETE) del Protocolo de Montreal que trabajaran juntos en la elaboración de un informe especial científico y técnico que guardara relación con las políticas y que fuera equilibrado. Esta petición incluía una evaluación científica de las interrelaciones entre la capa de ozono y el cambio climático, y la elaboración de una información de fácil comprensión y neutra respecto a las políticas que ayudara a todas las Partes en la CMCC y a otras partes interesadas a adoptar decisiones fundamentadas a la hora de evaluar alternativas a las sustancias que agotan el ozono.

Los debates sobre estas cuestiones tienen una larga historia, incluidas las deliberaciones del cuarto período de sesiones de la Conferencia de las Partes en la CMCC (celebrado en 1998 en Buenos Aires), que invitaba a las Partes y a todas las demás entidades pertinentes a que suministraran información a la Secretaría de la CMCC sobre las formas y los medios disponibles y posibles para limitar las emisiones de hidrofluorocarbonos (HFC) y de perfluorocarbonos (PFC) cuando se utilizan como sustitutos de las sustancias que agotan el ozono. En 1999, se organizó una Reunión de expertos IPCC/GETE³ que abordó la cuestión y que constituye una base importante para los esfuerzos que se realizan en la actualidad, junto con la nueva información sobre la ciencia, la tecnología y las necesidades en materia de políticas.

Michel Jarraud
Secretario General,
Organización Meteorológica Mundial

Tras la decisión del octavo período de sesiones de la Conferencia de las Partes en la CMCC1, la decimocuarta reunión de las Partes en el Protocolo de Montreal (Roma, Italia, 25-29 de noviembre de 2002) acogió con satisfacción esta decisión, pidió al GETE que trabajara con el IPCC en la elaboración del Informe especial y solicitó la presentación del mismo al Grupo de Trabajo de composición abierta de las Partes en el Protocolo de Montreal y al Órgano subsidiario de asesoramiento científico y tecnológico (OSACT) de la CMCC. El alcance, la estructura y el esquema general del Informe especial fueron aprobados por el IPCC en reuniones plenarias durante su vigésimo período de sesiones, celebrado en París (Francia) del 19 al 21 de febrero de 2003.

Como es habitual en el IPCC, el éxito en la elaboración de este informe ha dependido, sobre todo y ante todo, del entusiasmo y la cooperación de los expertos de todo el mundo en muchas disciplinas conexas aunque distintas. Quisiéramos expresar nuestro agradecimiento a todos los autores principales coordinadores, autores principales, autores contribuyentes, revisores y examinadores expertos. Estas personas han dedicado tiempo y esfuerzos ingentes a la elaboración de este informe y nos sentimos profundamente agradecidos por su compromiso con el proceso del IPCC.

Asimismo, nos gustaría expresar nuestro más sincero agradecimiento al Comité directivo de este Informe, que estaba compuesto por Copresidentes del Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica (GETE) del Protocolo de Montreal y el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), a saber:

Stephen Andersen, Lambert Kuijpers y José Pons, del Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica (GETE) del Protocolo de Montreal, y

Susan Solomon, Ogunlade Davidson y Bert Metz (Presidente del Comité directivo), del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).

Estamos convencidos de que este Informe especial proporciona una evaluación científica, técnica, relacionada con las políticas y equilibrada que ayudará a todas las partes interesadas a tomar decisiones a la hora de estudiar alternativas a las sustancias que agotan el ozono

Klaus Töpfer
Director Ejecutivo,
Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y
Director General,
Oficina de las Naciones Unidas en Nairobi

¹ Decisión 12/CP.8, FCCC/CP/2002/7/Add. 1, página 32. Octavo período de sesiones de la Conferencia de las Partes en la CMCC, Nueva Delhi, India, 23 de octubre al 1º de noviembre de 2002.

² Decisión XIV/10 UNEP/OzL.Pro.14/9, página 42. Decimocuarta reunión de las Partes en el Protocolo de Montreal, Roma (Italia), 25-29 de noviembre de 2002.

³ Actas de la Reunión conjunta de expertos IPCC/GETE sobre las posibilidades de limitación de emisiones de HFC y de PFC, Petten (Países Bajos), 26-28 de mayo de 1999; véanse en la dirección: <http://www.ipcc-wg3.org/docs/IPCC-TEAP99/index.html>

Prefacio

Este *Informe especial sobre la protección de la capa de ozono y el sistema climático mundial* ha sido preparado en respuesta a la invitación de las Partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC) y el Protocolo de Montreal. En él se proporciona información pertinente para la adopción de decisiones con respecto a la protección de la capa de ozono y del sistema climático mundial: dos cuestiones ambientales de alcance mundial en las que inciden complejos factores científicos y técnicos. El IPCC aprobó el alcance, la estructura y las líneas generales de este Informe especial en su 20ª reunión celebrada en París, Francia, del 19 al 21 de febrero de 2003. La responsabilidad de preparar el informe fue asignada en forma conjunta a los Grupos de trabajo I y III del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) y al Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica (GETE) del Protocolo de Montreal. Se creó un Comité Directivo conjunto del IPCC y el GETE (véase *infra*) para que supervisara la preparación del informe con arreglo a los procedimientos del IPCC.

Antecedentes

Las pruebas científicas que indicaban la existencia de un vínculo entre los clorofluorocarbonos (CFC) y otras sustancias que agotan la capa de ozono (SAO) y el agotamiento de la capa de ozono a nivel mundial dieron lugar a que se adoptaran por primera vez medidas de control de las sustancias químicas de conformidad con el Protocolo de Montreal de 1987 y las enmiendas y ajustes aprobados en el decenio de 1990 que añadieron nuevas SAO, acordaron la eliminación gradual de estas sustancias y aceleraron dichos procesos de eliminación. Como resultado de este proceso internacional: i) se ha eliminado la producción de la mayoría de los CFC, el metilcloroformo y los halones; ii) ha aumentado el uso de los hidroclorofluorocarbonos (HCFC) existentes; iii) ha comenzado a producirse una amplia gama de sustancias químicas industriales que contienen flúor, entre ellas nuevos tipos de HCFC, hidrofluorocarbonos (HFC) y perfluorocarbonos (PFC); iv) se están usando, como productos sustitutivos, sustancias químicas no halogenadas como los hidrocarburos, el dióxido de carbono y el amoníaco, y v) se han ideado métodos alternativos que no dependen del uso de fluorocarbonos, como los procedimientos de limpieza que usan agua como componente básico.

La probabilidad de que los CFC y otras SAO afectaran también al sistema climático se descubrió por primera vez en los años setenta, y los efectos de calentamiento atmosférico a nivel mundial de los halocarbonos, incluidos los HFC, se han ido conociendo en mayor detalle en los últimos tres decenios. Por ejemplo, en la Evaluación científica del ozono estratosférico de 1989 se incluyó un capítulo sobre el potencial de calentamiento mundial (PCM) de los halocarbonos, y en la Evaluación tecnológica de 1989 se indicaron los valores de ese PCM al analizar la importancia de la eficiencia energética en las espumas aislantes, la refrigeración y los sistemas de aire acondicionado. A medida que se iban ideando diversos métodos de eliminación gradual de las SAO en aplicación del Protocolo de Montreal, se advirtió que algunas medidas adoptadas para reducir el agotamiento de la capa de ozono en el futuro, en particular la introducción de los HFC y los PFC, podían aumentar o reducir los efectos de calentamiento atmosférico a nivel mundial.

Esta información científica y técnica permitió a las Partes en el Protocolo de Montreal elegir opciones de sustitución de las SAO que tuvieran en cuenta los efectos de calentamiento atmosférico, lo que se reflejó en algunas decisiones del Fondo Multilateral del Protocolo de Montreal en materia de inversiones. Cuando se negoció el Protocolo de Kyoto en 1997, los países tenían nuevos incentivos para prestar atención a la forma en que la elección de los productos sustitutivos podía repercutir en los objetivos de ambos protocolos. Estas consideraciones generaron la necesidad de obtener información más amplia sobre las distintas opciones de sustitución de las SAO que tuvieran en cuenta la necesidad de salvaguardar la capa de ozono y el sistema climático mundial. En mayo de 1999, el IPCC y el GETE celebraron una reunión conjunta de expertos sobre las opciones para limitar las emisiones de HFC y PFC, y en octubre de 1999 el GETE publicó su informe sobre las consecuencias para el Protocolo del Montreal de la inclusión de los HFC y los PFC en el Protocolo de Kyoto (*The Implications to the Montreal Protocol of the Inclusion of HFCs and PFCs in the Kyoto Protocol*). El presente Informe especial de 2005 es el resultado más reciente de esa cooperación.

La posibilidad de influir en el sistema climático que tiene cada producto sustitutivo de las SAO depende no solamente de las propiedades físicas y químicas de la propia sustancia, sino también de los factores que influyen en las emisiones a la atmósfera, como el confinamiento, el reciclado, la destrucción y la eficiencia energética en determinadas aplicaciones. Los gases, las aplicaciones y los sectores analizados en el presente informe son los que están relacionados con las emisiones de CFC, HCFC, HFC y PFC, y con los productos alternativos que evitan el uso de HFC y PFC. En este informe no se consideran los usos industriales ni otros usos de las mismas sustancias químicas que no estén relacionados con esas emisiones y productos alternativos. El informe abarca las sustancias químicas y tecnologías que se usan en la actualidad o que probablemente se utilicen en los próximos diez años.

Estructura del informe

En el informe se describe el contexto científico necesario para analizar las distintas opciones de sustitución de las SAO (capítulos 1 y 2); las posibles metodologías de evaluación de esas opciones (capítulo 3), y aspectos técnicos relacionados con las oportunidades de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en cada uno de los sectores examinados, entre ellos la refrigeración, el aire acondicionado, las espumas aislantes, los aerosoles, los equipos de protección contra incendios y los disolventes (capítulos 4 a 10). El informe aborda también la cuestión de la disponibilidad futura de los HFC (capítulo 11).

En los capítulos 1 y 2 se examinan los vínculos entre el agotamiento del ozono y el cambio climático a la luz de evaluaciones científicas anteriores, en particular las evaluaciones periódicas realizadas con el auspicio de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y el IPCC (por ejemplo, la más reciente *Evaluación científica del agotamiento de la capa de ozono, 2002*, la *Evaluación de los efectos del agotamiento de la capa de ozono en el medio ambiente, 2002*, y *Cambio climático: La*

base científica, 2001). El capítulo 1 trata de la química y la dinámica estratosféricas y sus combinaciones con el cambio climático, mientras que el capítulo 2 se refiere al forzamiento radiativo de cada uno de los gases pertinentes, así como la función que cumplen en la química troposférica y la calidad del aire. El presente informe no pretende tener el alcance ni la profundidad de las evaluaciones más especializadas del ozono y el cambio climático, sino más bien ofrecer una síntesis de las interacciones de interés entre estas dos cuestiones ambientales, para facilitar la comprensión y aplicación del resto del informe.

En el capítulo 3 se resumen las metodologías disponibles para describir o comparar las tecnologías (como el parámetro de la repercusión climática durante el ciclo de vida, LCCP), en particular los criterios comunes que se aplican en los distintos sectores examinados en el presente informe.

En los capítulos 4 a 10 figuran descripciones y datos técnicos de cada uno de los sectores clave en los que se usan halocarbonos: refrigeración (4), aire acondicionado y calefacción para viviendas y locales comerciales (5), sistemas móviles de aire acondicionado (6), espumas (7), aerosoles de uso médico (8), equipos de protección contra incendios (9) y aerosoles de uso no médico, disolventes y emisiones secundarias de HFC-23 derivadas de la producción de HCFC-22 (10). En cada capítulo se proporciona información general sobre el sector respectivo, las tecnologías aplicables, el consumo y la emisión de los gases pertinentes y las prácticas y tecnologías alternativas para reducir las emisiones y los efectos de calentamiento neto. Esto incluye el examen de las mejoras que pueden introducirse en los procesos de las aplicaciones, así como en el confinamiento, la recuperación y el reciclado durante el funcionamiento, y en la recuperación, la eliminación y la destrucción de las sustancias al término de la vida útil de las aplicaciones. Para poder elegir entre las diversas opciones disponibles en cada sector, es necesario realizar un análisis detallado de factores técnicos como el rendimiento, la sanidad y la seguridad ambientales, el costo, la disponibilidad de alternativas y la eficiencia total en términos de energía y recursos.

En el capítulo 11 se examinan los aspectos relacionados con la oferta y la demanda de HFC y se integran las estimaciones de las emisiones correspondientes a distintos sectores y regiones. Se agregan los datos relativos a las emisiones de diversas sustancias en los distintos sectores y se analiza la diferencia entre la oferta y la demanda de HFC.

Al igual que otros informes anteriores del IPCC, este informe contiene un resumen para responsables de políticas (RRP) y un resumen técnico (RT), además de los capítulos principales. En cada sección del RRP y del RT se hace referencia a la sección correspondiente del capítulo pertinente, para facilitar al lector la consulta de los capítulos que contienen un análisis más detallado del material mencionado en dichos resúmenes. El informe consta también de varios anexos, que contienen la lista de autores y revisores expertos, un glosario, una lista de siglas y abreviaturas, una lista de unidades y factores de conversión y una sinopsis de las fórmulas químicas principales y la nomenclatura de las sustancias consideradas en el informe.

El informe fue compilado entre agosto de 2003 y abril de 2005 por 145 expertos de 35 países. El borrador del informe fue sometido a consideración de varios expertos, que formularon valiosas sugerencias para mejorarlo. A continuación se procedió a una segunda revisión, en la que participaron gobiernos y expertos. Como resultado de estas dos rondas de examen, se recibieron

unos 6 600 comentarios de aproximadamente 175 expertos, gobiernos y organizaciones no gubernamentales. Este proceso de examen, supervisado por varios editores revisores independientes de los equipos de autores, es un aspecto intrínseco de todas las evaluaciones del IPCC y un factor importante a los efectos de garantizar la calidad y la credibilidad del producto.

El informe final fue examinado en una reunión conjunta de los Grupos de trabajo I y III del IPCC celebrada en Addis Abeba del 6 al 8 de abril de 2005, en la cual el RRP fue aprobado en forma pormenorizada y el informe de base fue aceptado por el IPCC.

Agradecimientos

El Comité Directivo expresa su sincero agradecimiento a todos los autores principales coordinadores, autores principales y editores revisores cuyos conocimientos especializados, diligencia y paciencia hicieron posible la finalización del presente informe, por todo el tiempo que tan generosamente aportaron de su vida personal y profesional, y a los numerosos colaboradores y revisores por su valiosa y minuciosa dedicación y empeño.

Agradecemos también a Marco González y Megumi Seki, de la Secretaría del Ozono del PNUMA, por el copatrocinio, el apoyo financiero y la dedicación que brindaron al proceso que culminó con la preparación del presente informe.

Deseamos expresar nuestro agradecimiento a los gobiernos de los Países Bajos, los Estados Unidos de América, el Japón y la Argentina por haber sido los anfitriones de las cuatro reuniones de redacción del informe, y al Gobierno de Etiopía y al Centro de las Naciones Unidas en Addis Abeba por haber acogido la reunión conjunta de los Grupos de trabajo I y III.

Agradecemos asimismo a Renate Christ, Secretaria del IPCC, y al personal de la Secretaría del IPCC, que proporcionaron apoyo logístico para el enlace con los gobiernos y el viaje de los expertos de países en desarrollo y países con economías en transición.

Por último, agradecemos también al personal de las Unidades de apoyo técnico de los Grupos de trabajo I y III por su colaboración en la preparación del presente informe, en particular a David de Jager (Secretario del Comité Directivo y miembro de la Unidad de apoyo técnico del Grupo de trabajo III), Martin Manning (Jefe de la Unidad de apoyo técnico del Grupo de trabajo I), Leo Meyer (Jefe de la Unidad de apoyo técnico del Grupo de trabajo III) por el apoyo científico y administrativo que prestaron, y a Tahl Kestin, Scott Longmore, Melinda Tignor (Grupo de trabajo I), Heleen de Coninck, Anita Meier, Martin Middelburg, Rob Puijk y Thelma van den Brink (Grupo de trabajo III) por el apoyo técnico y logístico que proporcionaron. Gracias especialmente a Christine Ennis, Dave Thomas y Pete Thomas por su colaboración en la preparación de la versión definitiva del informe para su publicación.

Comité Directivo del presente informe:

Stephen O. Andersen, Copresidente del GETE
Ogunlade Davidson, Copresidente del Grupo de trabajo III del IPCC
Lambert Kuijpers, Copresidente del GETE
Bert Metz, Copresidente del Grupo de trabajo III del IPCC (Presidente del Comité Directivo)
José Pons, Copresidente del GETE
Susan Solomon, Copresidente del Grupo de trabajo I del IPCC

Índice

Resumen para responsables de políticas

1. Introducción	2
2. Los halocarbonos, el agotamiento del ozono y el cambio climático	4
2.1 ¿Cuáles han sido en el pasado, y cuáles son en el presente, los efectos de las SAO y sus sustitutos en el clima de la Tierra y la capa de ozono?	4
2.2 ¿En qué medida repercute la eliminación gradual de las SAO en los esfuerzos para contrarrestar el cambio climático y el agotamiento de la capa de ozono?	5
2.3 ¿Cuáles son las consecuencias de la sustitución de las SAO respecto de la calidad del aire y otros factores ambientales relacionados con la química atmosférica?	6
3. Producción, depósitos y emisiones	8
3.1 ¿Cuál es la relación entre la producción, los depósitos y las emisiones en un año dado?	8
3.2 ¿Qué información acerca de los depósitos y las emisiones puede extraerse de las observaciones de las concentraciones atmosféricas?	8
3.3 ¿Cuál se proyecta que será la evolución de las estimaciones correspondientes a los depósitos y emisiones en el período comprendido entre 2002 y 2015?	8
4 Opciones para la eliminación gradual de las SAO y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero	11
4.1 ¿Cuáles son las principales oportunidades que se han identificado para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y cómo pueden evaluarse?	11
4.2 ¿Cuál es el potencial de reducción de las emisiones en cada sector para 2015 y cuáles son los costos conexos?	12
4.3 ¿Cuáles son las políticas, medidas e instrumentos actuales?	14
4.4 ¿Qué puede decirse acerca de la disponibilidad futura de HFC y PFC para su uso en países en desarrollo?	14

Resumen técnico

1. Introducción	16
2. Los halocarbonos, el agotamiento del ozono y el cambio climático	18
2.1 ¿Cómo contribuyen los CFC y sus sustitutos al forzamiento radiativo del sistema climático?	18
2.2 ¿Por cuánto tiempo permanecen en la atmósfera los CFC y sus sustitutos una vez que son emitidos?	19
2.3 ¿Cómo están cambiando las emisiones y concentraciones atmosféricas de los CFC, los halones, los HCFC, los HFC y los PFC?	20
2.4 ¿En qué medida contribuyen los gases de halocarbonos y sus sustitutos al forzamiento radiativo positivo del sistema climático en comparación con la era preindustrial? ¿Y en comparación con 1970?	22
2.5 ¿Cómo y por qué ha cambiado el ozono estratosférico en los últimos decenios?	22
2.6 ¿Qué efectos ha tenido el agotamiento del ozono en el forzamiento radiativo del sistema climático?	23
2.7 ¿Cuáles son los factores que se prevé que habrán de controlar el ozono en el próximo siglo? ¿Se "recuperarán" los valores anteriores a la aparición del agujero en la capa de ozono? ¿Ya ha comenzado esa recuperación?	24
2.8 ¿En qué medida se prevé que los CFC, los HCFC y sus posibles sustitutos afectarán al forzamiento radiativo del sistema climático en el futuro?	25
2.9 ¿Qué es y cómo se utiliza el potencial de calentamiento mundial?	26
2.10 ¿Se prevé que los HCFC, los HFC o sus sustitutos tendrán otros efectos en la química ambiental en el futuro?	28
3. Opciones para la eliminación gradual de las SAO y la reducción de las emisiones de GEI	29
3.1 ¿Dónde se producen las emisiones de GEI vinculadas al uso de SAO y sus sustitutos?	29
3.2 ¿Cuál se proyecta que será la evolución de las emisiones y depósitos estimados en el período 2002-2015?	29
3.3 ¿Cuáles son las opciones disponibles para reducir las emisiones de GEI?	36
3.4 ¿Cuáles son los instrumentos de evaluación que pueden brindar información sobre las posibles opciones tecnológicas?	36

3.5	¿En qué consisten las diferencias regionales?	39	4.3	¿Cuáles son las conclusiones más importantes en relación con el sector de los equipos móviles de aire acondicionado?	57
3.6	¿Cuáles son las oportunidades más importantes que se han identificado para reducir las emisiones de GEI vinculadas al uso de SAO y sus sustitutos y las emisiones indirectas conexas?	39	4.4	¿Cuáles son las conclusiones más importantes en relación con las espumas?	60
3.7	¿De qué instrumentos de políticas se dispone para lograr la reducción de las emisiones de GEI a que se refiere el presente informe?	46	4.5	¿Cuáles son las conclusiones más importantes en relación con los aerosoles de uso médico?	67
3.8	¿Qué puede decirse acerca de la disponibilidad futura de HFC y PFC para su uso en países en desarrollo?	46	4.6	¿Cuáles son las conclusiones más importantes en relación con los sistemas de protección contra incendios?	69
4	Conclusiones importantes en relación con los sectores que usan SAO y sus alternativas	48	4.7	¿Cuáles son las conclusiones más importantes en relación con los aerosoles no médicos y los disolventes y con respecto a las emisiones de HFC-23?	74
4.1	¿Cuáles son las conclusiones más importantes en relación con el sector de la refrigeración?	48	Anexo I	Glosario de términos	79
4.2	¿Cuáles son las conclusiones más importantes en relación con el sector del aire acondicionado y la calefacción de uso residencial y comercial?	55	Anexo II	Principales fórmulas químicas y nomenclatura	83

Informe especial IPCC/GETE
**La protección de la capa de ozono y el sistema climático mundial:
Cuestiones relativas a los hidrofluorocarbonos y
los perfluorocarbonos**

**Resumen para responsables
de políticas**

1. Introducción

Este Informe especial del IPCC fue preparado en respuesta a la invitación de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC)¹ y el Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono² a que se elaborara un informe científico y técnico pertinente y equilibrado desde el punto de vista de las políticas acerca de las opciones para sustituir las sustancias que agotan la capa de ozono (SAO) y afectan al sistema climático mundial. El informe fue elaborado por el IPCC y el Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica (GETE) del Protocolo de Montreal.

Dado que las SAO causan el agotamiento de la capa de ozono estratosférico³, su producción y consumo están controlados en virtud del Protocolo de Montreal y su eliminación gradual se está logrando gracias a los esfuerzos de los países desarrollados y en desarrollo que son partes en el Protocolo. Tanto las SAO como varias de sus sustancias sustitutivas son gases de efecto invernadero (GEI) que contribuyen al cambio climático (véase el gráfico RRP-1). Algunos sustitutos de las SAO, en particular los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC), están contemplados en la CMCC y su Protocolo de Kyoto. Las opciones que se elijan para proteger la capa de ozono podrían repercutir en el cambio climático, el que a su vez podría influir indirectamente en la capa de ozono.

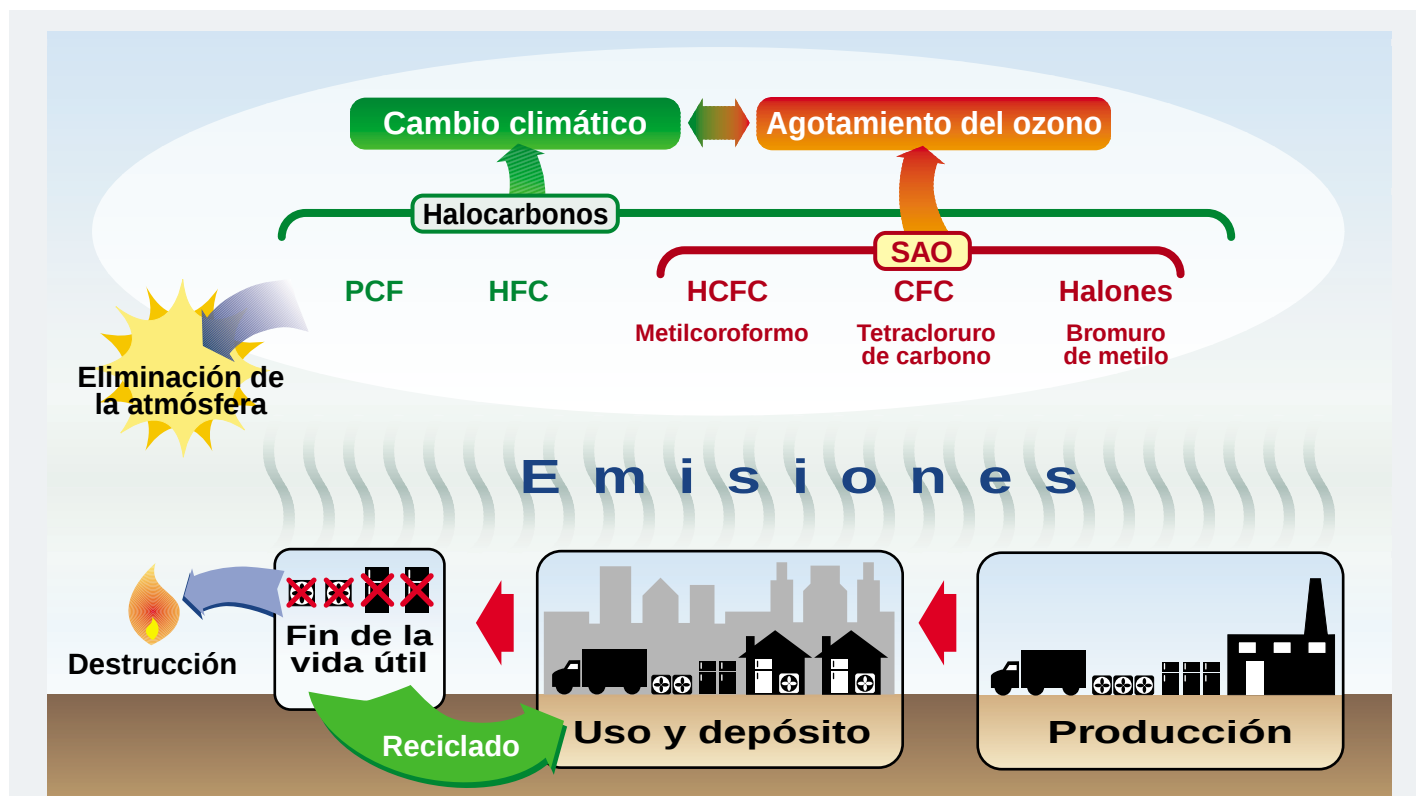


Gráfico RRP-1. Diagrama esquemático de los principales aspectos considerados en el presente informe. Los clorofluorocarbonos (CFC), halones e hidroclorofluorocarbonos (HCFC) contribuyen al agotamiento del ozono y al cambio climático, mientras que los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC) contribuyen solamente al cambio climático y se cuentan entre las sustancias no perjudiciales para el ozono que podrían utilizarse en sustitución de las SAO. En color rojo se indican los gases previstos en el Protocolo de Montreal, sus enmiendas y ajustes⁴, mientras que en color verde se señalan los gases comprendidos en la CMCC y su Protocolo de Kyoto. Las opciones para la reducción de los halocarbonos que se examinan en este informe abarcan las mejoras en los métodos de confinamiento, recuperación, reciclado y destrucción de los subproductos y los depósitos de sustancias almacenadas⁵, y el uso de procesos alternativos o de sustancias con un potencial de calentamiento atmosférico menor o insignificante.

¹ Decisión 12/CP.8, FCCC/CP/2002/7/Add. 1, pág. 32.

² Decisión XIV/10, UNEP/OzL.Pro.14/9, pág. 51.

³ A menos que se indique lo contrario, en este informe se entiende por ozono el ozono estratosférico.

⁴ En adelante, Protocolo de Montreal.

⁵ Se entiende por depósitos la cantidad total de sustancias contenidas actualmente en los equipos, las reservas de productos químicos, las espumas y otros productos que aún no se han liberado en la atmósfera.

En este informe se examinan los efectos de las emisiones totales de SAO y sus sustitutos en el sistema climático y la capa de ozono y, en particular, se ofrece un contexto para comprender la forma en que las distintas opciones de sustitución podrían influir en el calentamiento de la atmósfera, pero no se pretende hacer un análisis exhaustivo de todos los efectos de las distintas opciones en la capa de ozono.

En el presente informe se consideran las posibles opciones para reducir las emisiones de halocarbonos en cada sector. Esas opciones se refieren a sustancias y tecnologías alternativas que permiten reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Se incluyen las emisiones de HFC y PFC en la medida en que estén relacionadas con la sustitución de las SAO. No se toman en cuenta las emisiones de HFC y PFC provenientes de la producción de aluminio o semiconductores o de otros sectores.

Los principales sectores que utilizan SAO y HFC o PFC como productos sustitutivos en sus aplicaciones son la refrigeración, el acondicionamiento de aire, las espumas, los aerosoles, los

equipos de protección contra incendios y los disolventes. Las emisiones de estas sustancias se originan en su fabricación y en cualquier liberación no intencional de subproductos, en aplicaciones con emisiones intencionales, en la evaporación y las fugas de los depósitos almacenados en los equipos y productos que ocurren durante el uso, las operaciones de prueba y mantenimiento, y en las prácticas aplicadas al término de la vida útil.

En lo que respecta a las opciones específicas de reducción de las emisiones, el período que abarca el presente informe no se extiende en general más allá del año 2015, porque es hasta ese año que se dispone de bibliografía fiable sobre las opciones de sustitución que tienen un potencial de mercado considerable para estos sectores en rápida evolución. Se examinan sus resultados técnicos, las posibles metodologías de evaluación y las emisiones indirectas⁶ relacionadas con el consumo de energía, así como sus costos, los aspectos relativos a la salud y la seguridad humanas, sus repercusiones en la calidad del aire y su disponibilidad futura.

⁶ Cabe señalar que en los informes de los inventarios nacionales se utiliza la expresión “emisiones indirectas” para hacer referencia concretamente a las emisiones de gases de efecto invernadero que provienen de la descomposición de otra sustancia en el medio ambiente. Ese uso difiere del que se da a dicha expresión en el presente informe, la que se refiere específicamente a las emisiones de CO₂ derivadas de la producción de energía que se asocian a los criterios de evaluación del ciclo de vida (LCA), tales como el efecto de calentamiento total equivalente (TEWI) o la repercusión climática durante el ciclo de vida (LCCP).

2. Los halocarbonos, el agotamiento del ozono y el cambio climático

2.1 ¿Cuáles han sido en el pasado, y cuáles son en el presente, los efectos de las SAO y sus sustitutos en el clima de la Tierra y la capa de ozono?

Los halocarbonos, y en particular las SAO, han contribuido al forzamiento radiativo directo positivo⁷ y al aumento conexo de la temperatura media sobre la superficie terrestre a nivel mundial (véase el gráfico RRP-2). Se estima que el forzamiento radiativo directo positivo causado por el incremento de la producción industrial de halocarbonos destructores o no de la capa de ozono fue, entre 1750 y 2000, de $0,33 \pm 0,03 \text{ W m}^{-2}$, lo que representa alrededor del 13% del forzamiento total causado por el aumento de los gases de efecto invernadero homogeneizados en el mismo período. La mayor parte del aumento de los halocarbonos se ha producido en los últimos decenios. En el período 2001–2003, las concentraciones atmosféricas de CFC se mantuvieron estables o disminuyeron (0 a –3% por año, dependiendo del gas), mientras que los halones, así como los hidroclorofluorocarbonos (HCFC) y los HFC utilizados como sustitutos, registraron un crecimiento (+1 a +3% por año, +3 a +7% por año, y +13 a +17% por año respectivamente). [1.1, 1.2, 1.5 y 2.3]⁸

El agotamiento del ozono estratosférico que se viene observando desde 1970 se debe principalmente al aumento de las concentraciones de compuestos reactivos de cloro y bromo causado por la degradación de SAO antropógenas, entre ellas los halones, los CFC, los HCFC, el metilcloroformo (CH_3CCl_3), el tetracloruro de carbono (CCl_4) y el bromuro de metilo (CH_3Br). [1.3 y 1.4]

El agotamiento del ozono produce un forzamiento radiativo negativo del clima, que es un efecto indirecto de enfriamiento causado por las SAO (véase el gráfico RRP-2). Se cree que los cambios en la capa de ozono producen un forzamiento radiativo de aproximadamente $-0,15 \pm 0,10 \text{ W m}^{-2}$ calculado como promedio mundial. La gran incertidumbre que existe con respecto al forzamiento radiativo indirecto causado por las SAO se debe principalmente a las incertidumbres en la distribución vertical detallada del agotamiento del ozono. Es *muy probable*¹⁰ que la magnitud de este efecto indirecto sea menor que la del forzamiento radiativo directo positivo causado exclusivamente por las SAO ($0,32 \pm 0,03 \text{ W m}^{-2}$). [1.1, 1.2 y 1.5]

El calentamiento producido por las SAO y el enfriamiento vinculado al agotamiento del ozono son dos mecanis-

mos de forzamiento climático claramente diferenciados que no se compensan simplemente entre sí. La distribución espacial y estacional del efecto de enfriamiento del agotamiento del ozono es diferente a la del efecto de calentamiento. Hay unos pocos estudios estadísticos y de modelización del clima mundial que sugieren que el agotamiento del ozono es un mecanismo que puede afectar a los regímenes de variabilidad del clima que son importantes para la circulación troposférica y la temperatura en ambos hemisferios. No obstante, los cambios observados en esos regímenes no pueden atribuirse en forma inequívoca al agotamiento del ozono. [1.3 y 1.5]

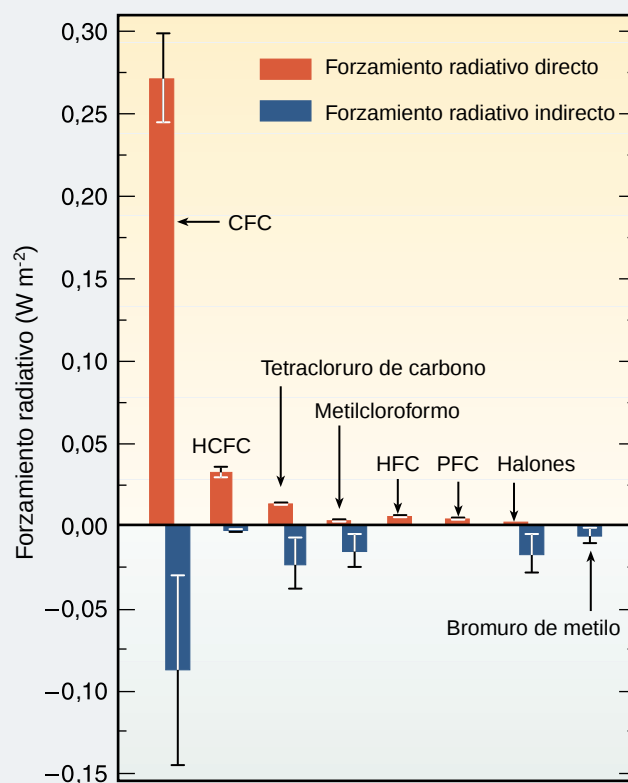


Gráfico RRP-2. Forzamiento radiativo (FR) directo e indirecto causado por los cambios experimentados por los halocarbonos entre 1750 y 2000⁹. Las barras de error indican incertidumbres correspondientes a una desviación estándar de ± 2 . [Basado en el cuadro 1.1]

⁷ El forzamiento radiativo es una medida de la influencia que un factor ejerce en la modificación del equilibrio entre la energía entrante y saliente en el sistema Tierra-atmósfera, y es un índice de la importancia del factor como mecanismo potencial de cambio climático. Se expresa en vatios por metro cuadrado (W m^{-2}). Un gas de efecto invernadero causa un forzamiento radiativo directo mediante la absorción y emisión de radiación y puede provocar un forzamiento radiativo indirecto mediante las interacciones químicas que influyen en otros gases o partículas de efecto invernadero.

⁸ Los números entre corchetes corresponden a las secciones del informe principal donde puede encontrarse el material y las referencias en que se basa el párrafo.

⁹ Los PFC que se usan como sustitutos de las SAO sólo contribuyen en pequeña medida al forzamiento radiativo total causado por los PFC.

¹⁰ En el presente resumen para responsables de políticas se utilizan, cuando corresponde, los términos siguientes para indicar estimaciones de confianza subjetivas: *muy probable* (90 a 99% de posibilidades); *probable* (66 a 90% de posibilidades); *improbable* (10 a 33% de posibilidades) y *muy improbable* (1 a 10% de posibilidades).

Cada tipo de gas ha tenido distintos efectos de calentamiento atmosférico tipo invernadero y de agotamiento de la capa de ozono (véase el gráfico RRP-2), dependiendo principalmente de sus emisiones anteriores, su eficacia como gas de efecto invernadero, su tiempo de permanencia en la atmósfera y la cantidad de cloro y/o bromo contenida en cada molécula. Los gases que contienen bromo por lo general contribuyen mucho más al enfriamiento que al calentamiento, mientras que los CFC y los HCFC contribuyen más al calentamiento que al enfriamiento. Los HFC y los PFC contribuyen solamente al calentamiento. [1.5 y 2.5]

2.2 ¿En qué medida repercute la eliminación gradual de las SAO en los esfuerzos para contrarrestar el cambio climático y el agotamiento de la capa de ozono?

Las medidas adoptadas en virtud del Protocolo de Montreal han conducido a la sustitución de los CFC por los HCFC, los HFC y otras sustancias y procesos. Debido a que los productos sustitutivos tienen en general un menor potencial de calentamiento mundial¹¹ (PCM) y a que las emisiones totales de halocarbonos han disminuido, sus emisiones combinadas en términos de CO₂ equivalente (ponderadas en valores de PCM directo) se han reducido. Las emisiones combinadas de CFC, HCFC y HFC estimadas sobre la base de observaciones atmosféricas y expresadas en términos de CO₂ equivalente se redujeron de aproximadamente 7,5 ± 0,4 GtCO₂-eq por año en 1990 a 2,5 ± 0,2 GtCO₂-eq por año en 2000, lo que equivale a alrededor del 33% y 10%, respectivamente, de las emisiones anuales de CO₂ producidas por la quema de combustibles fósiles a nivel mundial. Los niveles de cloro estratosférico prácticamente se han estabilizado y es posible que hayan comenzado a declinar. [1.2, 2.3 y 2.5]

El amoníaco y los hidrocarburos (HC) utilizados como sustitutos de los halocarbonos permanecen en la atmósfera por períodos que se extienden de días a meses, y es *muy probable* que los forzamientos radiativos directos e indirectos vinculados a su uso como sustancias sustitutivas tengan un efecto insignificante en el clima mundial. Es posible que también deban considerarse los cambios en las emisiones relacionadas con la energía que se atribuyen al uso de estas sustancias sustitutivas. (Véase la sección 4, en la que figura una evaluación completa de las opciones de sustitución de las SAO). [2.5]

De acuerdo con el escenario sin cambios que se describe en el presente informe (situación hipotética en la que todo sigue igual; en inglés: Business-As-Usual), se estima que el forzamiento radiativo directo causado por los HFC en 2015 será de aproximadamente 0,030 W m⁻²; y según los escenarios de emisiones del Informe especial sobre escenarios de emisiones (IE-EE) del IPCC, el forzamiento radiativo de los PFC9 en 2015 será de alrededor de 0,006 W m⁻². Esos forzamientos radiativos causados por los HFC y los PFC corresponden aproximadamente al 1,0% y 0,2%, respectivamente, del forzamiento radiativo que se estima

producirán todos los gases de efecto invernadero homogeneizados en 2015, mientras que la contribución de las SAO a ese forzamiento será de alrededor del 10%. Si bien en este informe se centra la atención principalmente en los escenarios elaborados para el período que termina en 2015, también se consideraron los escenarios del IE-EE del IPCC correspondientes al período posterior a 2015, pero sin someterlos a una nueva evaluación. Los escenarios del IE-EE proyectan un crecimiento importante del forzamiento radiativo causado por los HFC en los próximos decenios, pero es probable que las estimaciones sean muy inciertas debido a las crecientes incertidumbres en cuanto a las prácticas y políticas tecnológicas. [1.5, 2.5 y 11.5]

Las observaciones y los cálculos de los modelos indican que actualmente el agotamiento del ozono calculado como promedio mundial está casi estabilizado (por ejemplo, véase el gráfico RRP-3). Si bien se prevé que el ozono mostrará una variabilidad considerable de un año para otro, incluso en las regiones polares, donde su agotamiento es mayor, se espera que la capa de ozono comience a recuperarse en los próximos decenios debido a la disminución de las concentraciones de SAO, suponiendo que se cumpla plenamente el Protocolo de Montreal. [1.2 y 1.4]

En el largo plazo, los aumentos proyectados de otros gases de efecto invernadero podrían ejercer una influencia cada vez mayor en la capa de ozono, al enfriar la estratosfera y modificar la circulación estratosférica. Como resultado del efecto de enfriamiento y de la reducción de las concentraciones de SAO, es *probable* que el ozono aumente en la mayor parte de la estratosfera, pero podría reducirse en algunas regiones, entre ellas el Ártico. Sin embargo, los efectos de los cambios en la circulación atmosférica

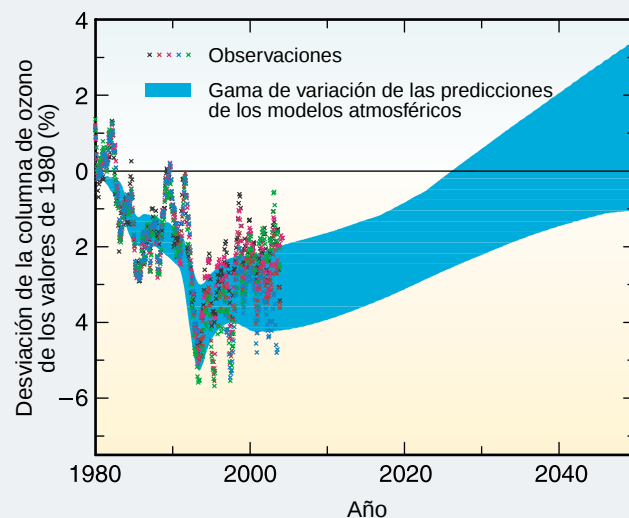


Gráfico RRP-3. Valores de la columna de ozono en latitudes bajas y medias (60°S–60°N), observados y proyectados mediante modelos, y expresados como desviaciones porcentuales de los valores correspondientes a 1980. [Recuadro 1.7]

¹¹ El PCM es un índice que compara el impacto climático de una emisión por impulsos de un gas de efecto invernadero con el que produce la emisión de la misma cantidad de CO₂, integrada a lo largo de un horizonte temporal fijo.

asociados al cambio climático podrían ser mayores que estos factores, y hoy en día el efecto neto sobre el ozono total causado por el aumento de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero es incierto, tanto en cuanto a su magnitud como a su signo. De acuerdo con los modelos actuales, es *muy improbable* que se produzca en el Ártico un “agujero de ozono” similar al que se observa actualmente sobre la Antártida. [1.4]

Los efectos relativos de calentamiento y enfriamiento que tendrán en el futuro las emisiones de CFC, HCFC, HFC, PFC y halones dependen del tiempo de vida de esos gases, de sus propiedades químicas y del momento de emisión (véase el cuadro RRP-1). El tiempo de permanencia en la atmósfera es de entre uno y 20 años en el caso de la mayoría de los HFC y HCFC; de varios decenios hasta siglos en el caso de algunos HFC y la mayoría de los halones y los CFC; y de entre 1 000 y 50 000 años en el caso de los PFC. El PCM directo de los halocarbonos varía entre cinco y más de 10 000. Las proyecciones indican que el enfriamiento indirecto causado por las SAO cesará una vez que se recupere la capa de ozono, de modo que los valores del PCM asociado al efecto de enfriamiento indirecto dependen del año de emisión, del cumplimiento del Protocolo de Montreal y del tiempo de vida de los gases. Estos valores del PCM indirecto están sujetos a incertidumbres mucho mayores que los valores del PCM directo. [1.5, 2.2 y 2.5]

2.3 ¿Cuáles son las consecuencias de la sustitución de las SAO respecto de la calidad del aire y otros factores ambientales relacionados con la química atmosférica?

Se cree que la sustitución de las SAO por HFC, PFC y otros gases como los hidrocarburos en los equipos de aire acondicionado y refrigeración y en los agentes espumantes no tendrá un efecto significativo en la química troposférica del planeta. Algunos efectos reducidos, aunque no insignificantes, podrían producirse en las proximidades de fuentes de emisiones localizadas y generar cierta preocupación, por ejemplo en las zonas donde actualmente no se cumplen las normas locales. [2.4 y 2.6]

Los productos persistentes de la degradación de los HFC y HCFC (como el ácido trifluoroacético, TFA) se eliminan de la atmósfera mediante procesos de deposición y arrastre. Sin embargo, según algunos estudios de evaluación y vigilancia de los riesgos ambientales, no es de esperar que alcancen niveles de concentración en el medio ambiente que puedan causar daños importantes al ecosistema. Las mediciones del TFA en el agua de mar indican que las fuentes antropógenas del TFA son más pequeñas que sus fuentes naturales, pero estas últimas no han sido aún identificadas totalmente. [2.4]

Cuadro RRP-1. PCM de los halocarbonos incluidos normalmente en los informes presentados en virtud del Protocolo de Montreal y la CMCC y su Protocolo de Kyoto y evaluados en el presente informe, en relación con el CO₂ para un horizonte temporal de 100 años, junto con su tiempo de vida y el PCM utilizado en los informes presentados de conformidad con la CMCC. Los gases indicados sobre fondo azul (sombreado más oscuro) están comprendidos en el Protocolo de Montreal, y los gases que aparecen sobre fondo amarillo (sombreado más claro) están previstos en la CMCC [cuadros 2.6 y 2.7]

Gas	PCM correspondiente al forzamiento radiativo directo ^a		PCM correspondiente al forzamiento radiativo indirecto (emisiones en 2005 ^b)		Tiempo de vida (años)	PCM utilizado en los informes a la CMCCC ^c
CFC						
CFC-12	10 720	± 3 750	-1 920	± 1 630	100	n.d. ^d
CFC-114	9 880	± 3 460	No disponible		300	n.d. ^d
CFC-115	7 250	± 2 540	No disponible		1 700	n.d. ^d
CFC-113	6 030	± 2 110	-2 250	± 1 890	85	n.d. ^d
CFC-11	4 680	± 1 640	-3 420	± 2 710	45	n.d. ^d
HCFC						
HCFC-142b	2 270	± 800	-337	± 237	17,9	n.d. ^d
HCFC-22	1 780	± 620	-269	± 183	12	n.d. ^d
HCFC-141b	713	± 250	-631	± 424	9,3	n.d. ^d
HCFC-124	599	± 210	-114	± 76	5,8	n.d. ^d
HCFC-225cb	586	± 205	-148	± 98	5,8	n.d. ^d
HCFC-225ca	120	± 42	-91	± 60	1,9	n.d. ^d
HCFC-123	76	± 27	-82	± 55	1,3	n.d. ^d
HFC						
HFC-23	14 310	± 5 000	~0		270	11 700
HFC-143a	4 400	± 1 540	~0		52	3 800
HFC-125	3 450	± 1 210	~0		29	2 800
HFC-227ea	3 140	± 1 100	~0		34,2	2 900
HFC-43-10mee	1 610	± 560	~0		15,9	1 300
HFC-134a	1 410	± 490	~0		14	1 300
HFC-245fa	1 020	± 360	~0		7,6	-e
HFC-365mfc	782	± 270	~0		8,6	-e
HFC-32	670	± 240	~0		4,9	650
HFC-152a	122	± 43	~0		1,4	140
PFC						
C2F6	12 010	± 4 200	~0		10 000	9 200
C6F14	9 140	± 3 200	~0		3 200	7 400
CF4	5 820	± 2 040	~0		50 000	6 500
Halones						
Halón-1301	7 030	± 2 460	-32 900	± 27 100	65	n.d. ^d
Halón-1211	1 860	± 650	-28 200	± 19 600	16	n.d. ^d
Halón-2402	1 620	± 570	-43 100	± 30 800	20	n.d. ^d
Otros halocarbonos						
Tetracloruro de carbono (CCl ₄)	1 380	± 480	-3 330	± 2 460	26	n.d. ^d
Metilcloroformo (CH ₃ CCl ₃)	144	± 50	-610	± 407	5,0	n.d. ^d
Bromuro de metilo (CH ₃ Br)	5	± 2	-1 610	± 1 070	0,7	n.d. ^d

^a Se considera que las incertidumbres en el PCM correspondiente al forzamiento radiativo positivo directo son de ±35% (2 desviaciones estándar) (IPCC, 2001).

^b Las incertidumbres en el PCM correspondiente al forzamiento radiativo negativo indirecto tienen en cuenta la incertidumbre estimada en cuanto al tiempo de recuperación de la capa de ozono, así como la incertidumbre en el forzamiento radiativo negativo causado por el agotamiento del ozono.

^c Las directrices de presentación de informes de la CMCC usan los valores del PCM que se indican en el Segundo Informe de Evaluación del IPCC (véase el documento FCCC/SBSTA/2004/8 y la página Web <http://unfccc.int/resource/docs/2004/sbsta/08.pdf>).

^d Las SAO no están comprendidas en la CMCC.

^e En el Segundo Informe de Evaluación del IPCC no se dan valores del PCM del HFC-245fa o del HFC-365mfc. No obstante, en las directrices de presentación de informes de la CMCC se prevé la presentación de información sobre las emisiones de todos los gases de efecto invernadero respecto de los cuales existen valores del PCM determinados por el IPCC.

3. Producción, depósitos y emisiones

3.1 ¿Cuál es la relación entre la producción, los depósitos y las emisiones en un año dado?

Las emisiones actuales de SAO y sus sustitutos están determinadas en gran medida por las modalidades de uso que predominaron anteriormente. Una parte importante de las emisiones de CFC y HCFC (tanto en el presente como en los próximos decenios) proviene de sus respectivos depósitos. Ni el Protocolo de Montreal ni la CMCC y su Protocolo de Kyoto contienen disposiciones que obliguen a restringir estas emisiones de CFC y HCFC, aunque algunos países han adoptado políticas nacionales eficaces con ese fin.

Los depósitos son la cantidad total de sustancias contenidas actualmente en los equipos, las reservas de productos químicos, las espumas y otros productos que aún no se han liberado en la atmósfera (véase el gráfico RRP-1). La acumulación de HFC en aplicaciones (relativamente) nuevas de estos gases—debido a la falta de medidas adicionales de gestión de los depósitos—también será un factor determinante de las emisiones posteriores a 2015.

3.2 ¿Qué información acerca de los depósitos y las emisiones puede extraerse de las observaciones de las concentraciones atmosféricas?

Las observaciones de las concentraciones atmosféricas, combinadas con datos sobre la producción y las modalidades de uso, pueden dar una idea de la importancia de los depósitos, pero no permiten determinar sus dimensiones exactas.

Las estimaciones más exactas de las emisiones de CFC-11 y CFC-12 se derivan de las observaciones de las concentraciones atmosféricas. Estas emisiones son hoy en día superiores a las liberaciones estimadas atribuibles a la nueva producción, lo que indica que gran parte de estas emisiones proviene de depósitos acumulados durante procesos de producción anteriores. Las observaciones de las concentraciones atmosféricas muestran que las emisiones mundiales de HFC-134a son actualmente menores que la producción indicada en los informes, lo que significa que el depósito de estas sustancias está creciendo. Se cree que la cantidad total de HFC-134a que

existe actualmente en la atmósfera a nivel mundial es igual a la cantidad almacenada en los depósitos. [2.5 y 11.3.4]

En el caso del CFC-11 y algunos otros gases, la falta de información sobre las modalidades de uso hace difícil evaluar hasta qué punto la producción y el uso actuales contribuyen a las emisiones observadas. Será necesario seguir trabajando en este tema para identificar claramente las fuentes.

3.3 ¿Cuál se proyecta que será la evolución de las estimaciones correspondientes a los depósitos y emisiones en el período comprendido entre 2002 y 2015?

Se estima que, en 2002, los depósitos de CFC, HCFC, HFC y PFC eran de aproximadamente 21 GtCO₂-eq^{12, 13}. En un escenario sin cambios, se proyecta que para 2015¹⁴ los depósitos se van a reducir a alrededor de 18 GtCO₂-eq. [7, 11.3 y 11.5]

En 2002, los depósitos de CFC, HCFC y HFC eran de alrededor de 16, 4 y 1 GtCO₂-eq (ponderados en valores de PCM directo) respectivamente (véase el gráfico RRP-4). En 2015, en un escenario sin cambios, esos depósitos serían de alrededor de 8, 5 y 5 GtCO₂-eq, respectivamente. En 2002, los depósitos de PFC utilizados como sustitutos de las SAO eran de aproximadamente 0,005 GtCO₂-eq.

Según las proyecciones, los depósitos de CFC almacenados en equipos de refrigeración y acondicionadores de aire fijos¹⁵ y móviles se reducirán de alrededor de 6 a 1 GtCO₂-eq en el período comprendido entre 2002 y 2015, debido principalmente a su liberación en la atmósfera y en parte debido a la recuperación y destrucción de los equipos al término de su vida útil. También se proyecta que los depósitos de CFC acumulados en las espumas se reducirán mucho más lentamente en el mismo período (de 10 a 7 GtCO₂-eq), lo que refleja una liberación mucho más lenta de los agentes espumantes acumulados en las espumas, en comparación con los depósitos de magnitud similar de refrigerantes acumulados en el sector de la refrigeración y el aire acondicionado.

Los depósitos de HFC han comenzado a crecer, y las proyecciones indican que llegarán a ser de aproximadamente 5 GtCO₂-eq en 2015. De esa cantidad, los HFC acumulados en espumas representan apenas 0,6 GtCO₂-eq, pero las proyecciones indican que seguirán aumentando después de 2015.

¹² Las emisiones y depósitos de gases de efecto invernadero (GED) expresados en términos de CO₂ equivalente se calculan utilizando el PCM correspondiente al forzamiento radiativo directo en un horizonte temporal de 100 años. A menos que se indique lo contrario, se usan los valores científicos más recientes del PCM, que son los que se evalúan en el presente informe y se detallan en el cuadro RRP-1 (columna titulada "PCM correspondiente al forzamiento radiativo directo").

¹³ Los halones causan un forzamiento radiativo negativo indirecto mucho mayor que el forzamiento positivo directo, por lo que, en aras de una mayor claridad, sus efectos no se indican aquí.

¹⁴ Las proyecciones del escenario sin cambios parten de la premisa de que se seguirán aplicando las medidas actualmente en vigor, incluido el Protocolo de Montreal (eliminación gradual) y las políticas nacionales pertinentes. Se mantienen hasta 2015 las tendencias actuales en lo que se refiere a las prácticas, la penetración de productos alternativos y los factores de emisión. Se supone que no aumentará la eficiencia de la recuperación al término de la vida útil.

¹⁵ En el presente Resumen para responsables de políticas, el sector de la "refrigeración" abarca la refrigeración para viviendas y para locales comerciales e industriales (incluyendo la elaboración y el almacenamiento refrigerado de alimentos) y el transporte refrigerado. [4] Los "equipos fijos de aire acondicionado" comprenden los equipos de aire acondicionado y calefacción para viviendas y locales comerciales. [5] La denominación de "equipos móviles de aire acondicionado" se aplica a los automóviles, los autobuses y las cabinas de los camiones.

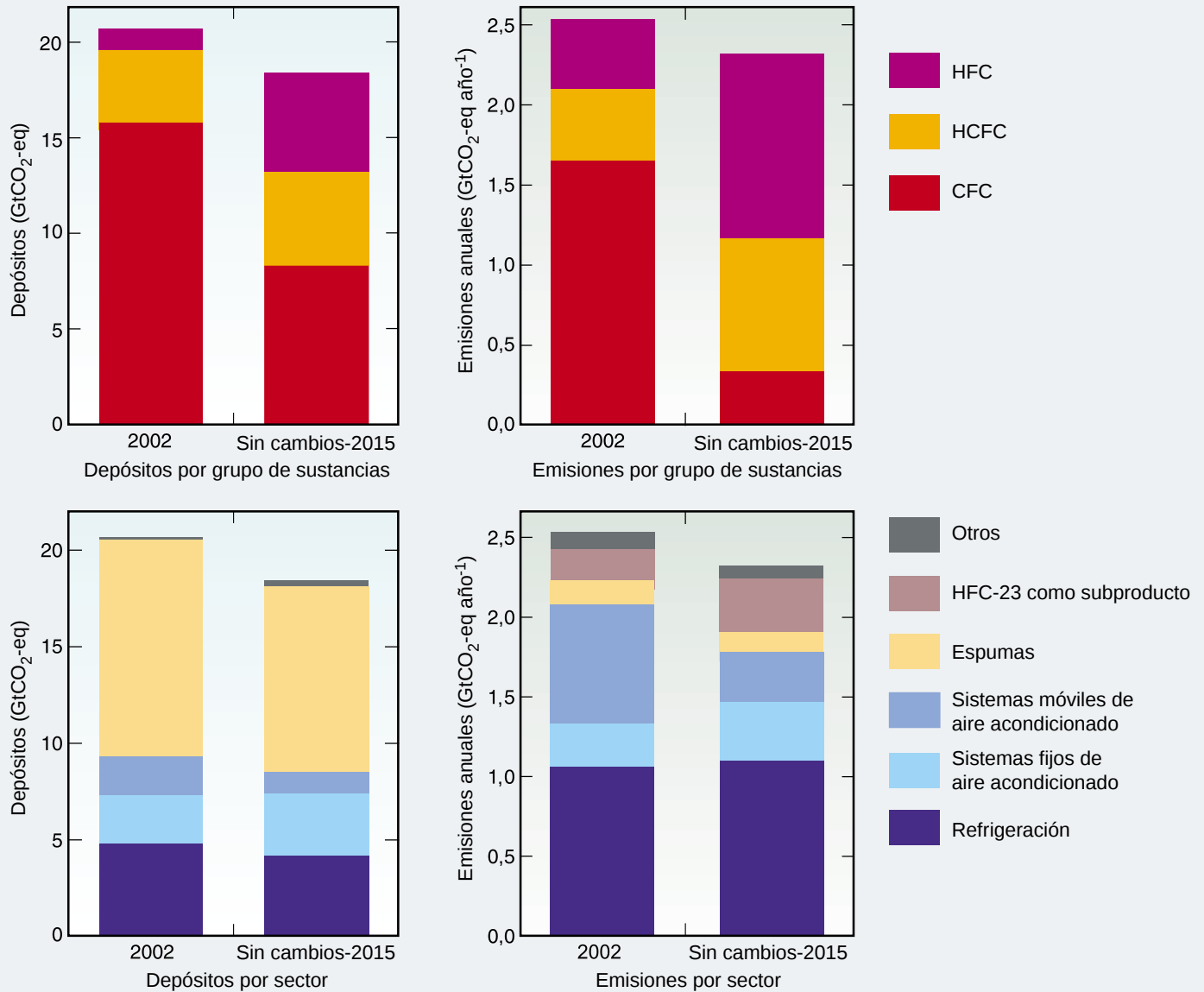


Gráfico RRP-4. Datos históricos correspondientes a 2002 y proyecciones del escenario sin cambios para 2015, con respecto a los depósitos de gases de efecto invernadero expresados en términos de CO₂ equivalente (izquierda) y a las emisiones anuales directas (derecha), en relación con el uso de CFC, HCFC y HFC. Desglose por grupo de gases de efecto invernadero (arriba) y por sector de emisión (abajo). En “Otros” se incluyen los aerosoles de uso médico, los equipos de protección contra incendios, los aerosoles de uso no médico y los disolventes. [11.3 y 11.5]

En el escenario sin cambios, las proyecciones indican que para el año 2015 las emisiones directas totales de CFC, HCFC, HFC y PFC representarán alrededor de 2,3 GtCO₂-eq por año (en comparación con un valor aproximado de 2,5 GtCO₂-eq por año en 2002). Las emisiones de CFC y HCFC consideradas en conjunto están disminuyendo, y pasarán de 2,1 (2002) a 1,2 GtCO₂-eq por año (2015), mientras que las emisiones de HFC van en aumento y pasarán de 0,4 (2002) a 1,2 GtCO₂-eq por año (2015)¹⁶. Las emisiones de PFC provenientes del uso de sustitutos de las SAO son de aproximadamente 0,001 GtCO₂-eq por año (2002) y se proyecta que disminuirán. [11.3 y 11.5]

En el gráfico RRP-4 puede verse la contribución relativa de los distintos sectores a las emisiones mundiales directas de GEI vinculadas al uso de SAO y sus sustitutos. Las aplicaciones del sector de la refrigeración, junto con los equipos fijos y móviles de aire acondicionado, son las causantes de la mayor parte de las emisiones directas mundiales de GEI, en consonancia con las tasas de emisión más altas que se asocian a los depósitos de refrigerantes. Se prevé que la mayor parte de las emisiones de GEI provenientes de las espumas ocurrirán después de 2015, ya que la mayoría de las liberaciones se producen al término de la vida útil.

Debido a que la producción nueva es reducida, los depósitos totales de CFC disminuirán como consecuencia de la liberación en la atmósfera durante el funcionamiento y la eliminación. A menos que se adopten otras medidas, una parte importante de los depósitos de CFC se emitirá antes de 2015. Por consiguiente, se proyecta que las emisiones anuales de CFC se reducirán de 1,7 (2002) a 0,3 GtCO₂-eq por año (2015).

Las proyecciones indican que las emisiones de HCFC aumentarán de 0,4 (2002) a 0,8 GtCO₂-eq por año (2015) debido al marcado incremento previsto en su uso en las aplicaciones del

sector de la refrigeración (comercial) y de los sistemas fijos de aire acondicionado.

La triplicación proyectada de las emisiones de HFC es el resultado de una mayor aplicación de los HFC en los sectores de la refrigeración y los equipos fijos y móviles de aire acondicionado, y de las emisiones secundarias de HFC-23 derivadas de una mayor producción de HCFC-22 (que en un escenario sin cambios aumentarán de 195 MtCO₂-eq por año en 2002 a 330 MtCO₂-eq por año en 2015).

Las incertidumbres en las estimaciones de las emisiones son considerables. Si se comparan las mediciones atmosféricas con los cálculos de los inventarios, se observan diferencias del orden del 10% al 25% entre los distintos grupos de sustancias. Las diferencias pueden ser mucho mayores si se considera cada gas individualmente. Esto se debe a las emisiones provenientes de aplicaciones no identificadas de algunas sustancias, que no se tienen en cuenta en los cálculos de los inventarios, y a las incertidumbres en las series de datos desglosados por región geográfica sobre los equipos en uso. [11.3.4]

La bibliografía no permite estimar las emisiones indirectas totales de GEI⁶ relacionadas con el consumo de energía. En las distintas aplicaciones, la importancia de las emisiones indirectas de GEI durante un ciclo de vida puede oscilar entre niveles altos y bajos, y en determinadas aplicaciones puede ser de hasta un orden de magnitud mayor que las emisiones directas. Ello depende en gran medida de las características del sector y del producto o aplicación de que se trate; de la cantidad de carbono necesario para producir la electricidad utilizada o que se encuentre presente en los combustibles consumidos durante todo el ciclo de vida de la aplicación; del confinamiento durante el período de uso, y del tratamiento de las sustancias almacenadas al término de la vida útil de la aplicación. [3.2, 4 y 5]

¹⁶ Para calcular estos valores de las emisiones se usaron los valores científicos más recientes del PCM (véase el cuadro RRP-1, segunda columna, titulada "PCM correspondiente al forzamiento radiativo indirecto". Si se utilizaran los valores del PCM de la CMCC (cuadro RRP-1, última columna, titulada "PCM utilizado en los informes a la CMCC"), las emisiones de HFC indicadas en los informes (expresadas en toneladas de CO₂ equivalente) serían un 15% menores.

4. Opciones para la eliminación gradual de las SAO y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero

4.1 ¿Cuáles son las principales oportunidades que se han identificado para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y cómo pueden evaluarse?

La reducción de las emisiones directas de GEI es posible en todos los sectores analizados en el presente informe y puede lograrse mediante:

- un mejor confinamiento de las sustancias;
- la reducción de la carga de sustancias en los equipos;
- la recuperación y el reciclado o la destrucción de las sustancias al término de la vida útil;
- un mayor uso de sustancias alternativas con un potencial reducido o insignificante de calentamiento atmosférico; y
- tecnologías que no dependen del uso de fluorocarbonos¹⁷.

Una evaluación exhaustiva debería abarcar las emisiones directas e indirectas relacionadas con la energía, todos los aspectos del ciclo de vida y consideraciones relativas a la salud, la seguridad y el medio ambiente. Sin embargo, debido a la escasa disponibilidad de datos y análisis comparativos publicados, hoy en día prácticamente no existen tales evaluaciones exhaustivas.

Los métodos para determinar cuál es la opción tecnológica que tiene el mayor potencial de reducción de las emisiones de GEI toman en cuenta tanto las emisiones directas de halocarbonos o sustancias sustitutivas como las emisiones indirectas relacionadas con la energía en todo su ciclo de vida. Existen asimismo métodos integrales¹⁸ para la evaluación de una amplia gama de efectos ambientales. También hay otros métodos más simples¹⁹ para evaluar los efectos del ciclo de vida que en general brindan indicadores útiles sobre las emisiones de gases de efecto invernadero durante el ciclo de vida de una aplicación. Se han publicado relativamente pocas comparaciones transparentes que se hayan realizado aplicando estos métodos, y sus conclusiones dependen de las hipótesis utilizadas respecto de parámetros específicos de cada aplicación y a menudo de cada región y momento (por ejemplo, la situación imperante en determinado lugar, el clima predominante, las características del sistema energético). [3.5]

Los análisis económicos comparativos son importantes para identificar opciones de reducción que sean eficaces en función de los costos. Sin embargo, para realizarlos es preciso aplicar un conjunto de métodos e hipótesis comunes (por ejemplo, la metodología de determinación de los costos, el marco temporal, la tasa de descuento, la situación económica futura, los límites del sistema). La elaboración de metodologías uniformes simplificadas permitiría establecer mejores comparaciones en el futuro. [3.3]

Los riesgos de que se produzcan efectos en la salud y la seguridad pueden evaluarse en la mayoría de los casos aplicando métodos uniformes. [3.4 y 3.5]

Las emisiones de GEI relacionadas con el consumo de energía pueden ser considerables durante el ciclo de vida de los aparatos electrodomésticos que se analizan en este informe. Por lo tanto, el aumento de la eficiencia energética puede traer aparejada una reducción de las emisiones indirectas provenientes de tales aparatos, dependiendo de la fuente de energía utilizada y de otras circunstancias, y generar ahorros en los costos netos, particularmente cuando la aplicación tiene un período de uso prolongado (por ejemplo, en los equipos de refrigeración y en los acondicionadores de aire fijos).

La bibliografía consultada no permitió estimar este potencial de reducción a nivel mundial, aunque hay varios estudios de casos en el campo de la tecnología y a nivel de países que demuestran este punto.

Si se aplicaran las mejores prácticas²⁰ y los métodos de recuperación que se conocen actualmente, para 2015²¹ se podrían reducir a la mitad (a un ritmo de 1,2 GtCO₂-eq por año) las emisiones directas provenientes de las SAO y sus GEI sustitutivos que se producirían en un escenario sin cambios²¹. De ese potencial de reducción, alrededor del 60% corresponde a las emisiones de HFC, el 30% a las de HCFC y el 10% a las de CFC.

Las estimaciones se basan en un escenario de mitigación²² que utiliza hipótesis diferenciadas por región con respecto a las mejores prácticas de producción, uso, sustitución, recuperación y destrucción de estas sustancias. En el gráfico RRP-5 pueden verse las contribuciones de cada sector. [11.5]

¹⁷ Las tecnologías que no dependen del uso de fluorocarbonos logran en el producto el mismo objetivo sin utilizar halocarbonos, generalmente mediante un enfoque alternativo o una técnica no convencional. Cabe mencionar como ejemplos el uso de desodorantes en barra o en rociador por bombeo en sustitución de los desodorantes en aerosol con CFC-12, el uso de lana mineral para remplazar a las espumas aislantes con CFC, HFC o HCFC, y el uso de inhaladores de polvo seco en lugar de inhaladores con dosificador que contienen CFC o HFC.

¹⁸ Los métodos integrales como el de evaluación del ciclo de vida (LCA) abarcan todas las fases del ciclo de vida de varias categorías de efectos ambientales. Las respectivas metodologías se describen en detalle en las normas internacionales de la Organización Internacional de Normalización ISO 14040:1997, ISO 14041:1998, ISO 14042:2000 e ISO 14043:2000.

¹⁹ Dos de los métodos simplificados más comunes son el del efecto de calentamiento total equivalente (TEWT), que evalúa las emisiones directas e indirectas de gases de efecto invernadero vinculadas exclusivamente al período de uso y a la eliminación, y el de la repercusión climática durante el ciclo de vida (LCCP), que comprende también las emisiones directas e indirectas de gases de efecto invernadero derivadas de la fabricación de las sustancias activas.

²⁰ En el presente informe se entiende por mejores prácticas las que permiten alcanzar el menor valor posible de emisiones de halocarbonos en una fecha determinada mediante el uso de tecnologías probadas comercialmente para la producción, el uso, la sustitución, la recuperación y la destrucción de halocarbonos o productos basados en halocarbonos (en el cuadro RT-6 figuran las cifras concretas).

²¹ A efectos comparativos, en 2000 las emisiones de CO₂ emanadas de la quema de combustibles fósiles y la producción de cemento fueron de aproximadamente 24 GtCO₂ por año.

²² El escenario de mitigación a que se refiere el presente informe hace proyecciones para el futuro, hasta 2015, de la reducción de las emisiones de halocarbonos sobre la base de hipótesis diferenciadas por región en cuanto a las mejores prácticas aplicadas.

De las emisiones relacionadas con depósitos y que pueden evitarse en el período anterior a 2015, la mayor parte proviene de las aplicaciones que utilizan refrigerantes, cuyas tasas de emisión en un escenario sin cambios son considerablemente más altas que las de las espumas en el mismo período. Una acción más inmediata, como la adopción de medidas de recuperación o destrucción y mejores métodos de confinamiento, puede permitir evitar un mayor volumen de emisiones de CFC almacenados en depósitos.

4.2 ¿Cuál es el potencial de reducción de las emisiones en cada sector para 2015 y cuáles son los costos conexos?

En las aplicaciones del sector de la refrigeración, las emisiones directas de GEI pueden reducirse entre un 10 y un 30%. En todo ese sector, el escenario de mitigación proyecta una reducción total de las emisiones directas de aproximadamente 490 MtCO₂-eq por año para 2015, y de ese total se prevé que alrededor de 400 MtCO₂-eq por año corresponderán a la refrigeración comercial. Los costos específicos oscilan entre US\$ 10 y US\$ 300 por tonelada de CO₂ equivalente^{23, 24}. Una mejora en la eficiencia energética de los sistemas también puede reducir considerablemente las emisiones indirectas de GEI.

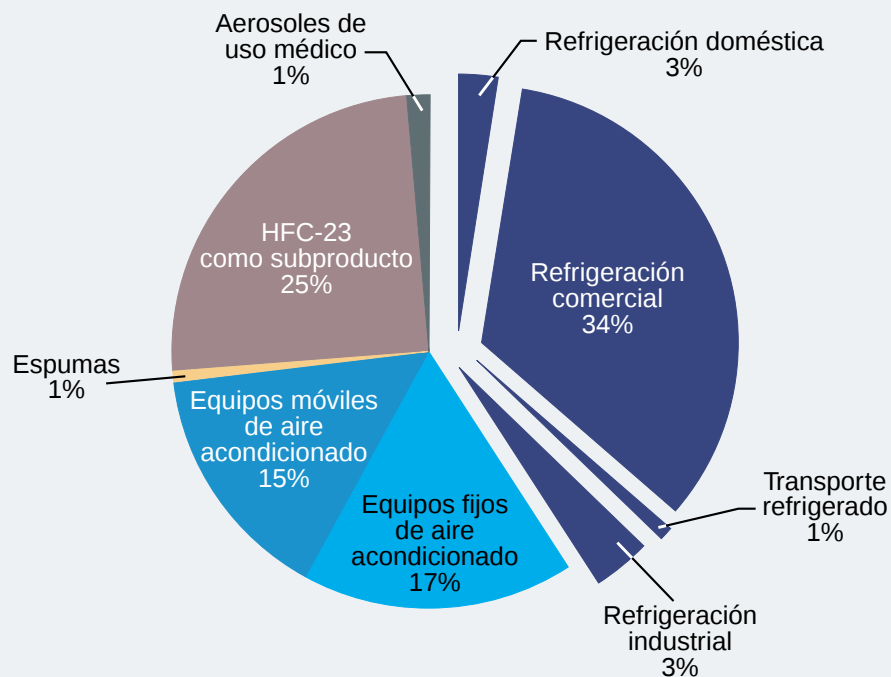
En los sistemas completos para supermercados pueden obtenerse valores de la repercusión climática durante el ciclo de vida (LCCP)¹⁹ hasta un 60% más bajos si se usan refrigerantes

alternativos, mejores métodos de confinamiento, sistemas distribuidos, sistemas indirectos o sistemas configurados en cascada. Los costos de reducción de las emisiones de determinados refrigerantes en el sector de la refrigeración comercial oscilan entre US\$ 20 y US\$ 280 por tonelada de CO₂-equivalente.

En la elaboración y el almacenamiento refrigerado de alimentos y en la refrigeración industrial se prevé que aumentará el uso del amoníaco en el futuro, y que el HFC remplazará al HCFC-22 y a los CFC. Se ha determinado que los costos de reducción de las emisiones de determinados refrigerantes usados en la refrigeración industrial oscilan entre US\$ 27 y US\$ 37 por tonelada de CO₂-equivalente. En el sector del transporte refrigerado se han comercializado alternativas con un menor PCM, como el amoníaco, los hidrocarburos y combinaciones de amoníaco y dióxido de carbono.

El potencial de reducción de las emisiones en el sector de la refrigeración doméstica es relativamente pequeño, con costos específicos de entre 0 y US\$ 130 por tonelada de CO₂-equivalente. Las emisiones indirectas provenientes de los sistemas que usan HFC-134a o HC-600a (isobutano) representan la mayor parte de las emisiones totales, para valores diferentes de la cantidad de carbono utilizada para generar la energía eléctrica consumida. La diferencia entre la repercusión climática durante el ciclo de vida (LCCP)¹⁹ de los sistemas que usan HFC-134a y la de los que usan isobutano es pequeña, y la recuperación de estas sustancias al término de la vida útil de los equipos, puede, con un costo algo mayor, reducir aún más la magnitud de esa diferencia. [4]

Gráfico RRP-5. Potencial de reducción sectorial de las emisiones directas de CFC, HCFC y HFC para 2015 en comparación con las proyecciones del escenario sin cambios. El potencial total de reducción equivale aproximadamente a la mitad (1,2 GtCO₂-eq por año) de las emisiones directas de GEI que se producirían en un escenario sin cambios.



Potencial de reducción de las emisiones por sectores para 2015

²³ Los costos indicados se refieren únicamente a la reducción de las emisiones directas. Si se tiene en cuenta el aumento de la eficiencia energética, el resultado puede ser incluso un costo específico neto negativo (ahorro).

²⁴ A menos que se indique lo contrario, en el presente informe los costos se expresan en dólares de los EE.UU. de 2002.

Las emisiones directas de GEI provenientes de los equipos de aire acondicionado y calefacción para uso residencial y comercial (sistemas fijos) pueden reducirse en alrededor de 200 MtCO₂-eq por año para 2015 en un escenario sin cambios. Los costos específicos de esa reducción oscilan entre US\$ -3 y US\$ 170 por tonelada de CO₂ equivalente²³. Si además se combinan con un aumento de la eficiencia energética del sistema, que reduce las emisiones indirectas de GEI, en muchos casos se obtienen beneficios económicos netos. Es posible reducir las emisiones directas de GEI (por ejemplo, refrigerantes) mediante: i) una recuperación más eficiente de los refrigerantes al término de la vida útil de los equipos (que en el escenario de mitigación se estima que será de 50% y 80% en los países en desarrollo y desarrollados, respectivamente); ii) la reducción de la carga de refrigerantes (hasta 20%); iii) un mejor confinamiento, y iv) el uso de refrigerantes con un PCM más reducido o insignificante en las aplicaciones que lo permitan.

Las medidas para mejorar la integridad de las paredes y cerramientos exteriores de los edificios (a fin de reducir la ganancia o pérdida de calor) pueden tener un efecto considerable en las emisiones indirectas.

En los países desarrollados se usan mezclas de HFC e hidrocarburos (HC) (en sistemas pequeños) como alternativas en lugar del HCFC-22. En las aplicaciones en que los HC pueden aplicarse sin riesgos, la eficiencia energética es comparable a la de los refrigerantes de fluorocarbonos. Los adelantos técnicos futuros podrían reducir la carga de refrigerantes y ampliar así las posibilidades de aplicación de los HC. [5]

En los equipos móviles de aire acondicionado podría lograrse para 2015 un potencial de reducción de 180 MtCO₂-eq por año a un costo de entre US\$ 20 y US\$ 250 por tonelada de CO₂-equivalente²³. Los costos específicos difieren según la región y la solución que se adopte.

Mediante mejoras en el confinamiento y la recuperación (tanto de CFC-12 como de HFC-134a) y el reciclado (del HFC-134a) al término de la vida útil de los equipos, se podrían reducir las emisiones directas de GEI hasta en un 50%, y las emisiones totales (directas e indirectas) de GEI provenientes de equipos móviles de aire acondicionado en un 30 a un 40%, con un beneficio económico para los propietarios de los vehículos. Es probable que entren en el mercado nuevos sistemas con CO₂ o HFC-152a, con valores equivalentes de repercusión climática durante el ciclo de vida (LCCP), lo que daría lugar a una reducción total estimada de las emisiones de GEI provenientes de estos sistemas de entre 50 y 70% para 2015, con un costo específico adicional estimado de entre US\$ 50 y US\$ 180 por vehículo.

Los hidrocarburos y sus mezclas, que han tenido un uso limitado, presentan propiedades termodinámicas adecuadas y permiten lograr un alto nivel de eficiencia energética. Sin embargo, las preocupaciones expresadas por los fabricantes y distribuidores de vehículos con respecto a la seguridad que ofrecen estas sustancias y la responsabilidad que les podría caber, restringen las posibilidades de aplicación de los hidrocarburos en los vehículos nuevos. [6.4.4]

Debido a la prolongada vida útil de la mayoría de las aplicaciones de las espumas, se estima que para 2015 la reducción de las emisiones será limitada, y oscilará entre

15 y 20 MtCO₂-eq por año, con un costo específico de entre US\$ 10 y US\$ 100 por tonelada de CO₂-equivalente²³. El potencial de reducción de las emisiones aumentará en los decenios posteriores.

Existen varias iniciativas de reducción de las emisiones a corto plazo, como el plan de eliminar el uso del HFC en las espumas de componente único en Europa, que ya se han puesto en marcha y se toman en cuenta como parte del escenario sin cambios. En el sector de las espumas hay otros dos aspectos clave con potencial de reducción de las emisiones. Uno de ellos es la posibilidad de reducir el uso de halocarbonos en las espumas nuevas que se fabrican. No obstante, el uso más intensivo de las mezclas y la continuación del proceso de eliminación gradual del uso de los fluorocarbonos dependen de que se logren nuevos adelantos tecnológicos y de la aceptación por el mercado. Toda medida que se adopte para reducir el uso de los HFC en un 50% entre 2010 y 2015 tendría como resultado una reducción de las emisiones de aproximadamente 10 MtCO₂-eq por año, con un costo específico de entre US\$ 15 y US\$ 100 por tonelada de CO₂-equivalente, y reducciones aún mayores de 2015 en adelante²³.

La segunda oportunidad de reducción de las emisiones se encuentra en los depósitos mundiales de halocarbonos contenidos en las espumas aislantes de los edificios y aparatos electrodomésticos (alrededor de 9 y 1 GtCO₂-eq de CFC y HCFC, respectivamente, en 2002). Aunque la eficacia de la recuperación no se ha demostrado aún y es poca la experiencia adquirida al respecto hasta la fecha, particularmente en el sector de la construcción, algunas empresas comerciales ya están recuperando halocarbonos de aparatos electrodomésticos con un costo de entre US\$ 10 y US\$ 50 por tonelada de CO₂-equivalente²³. En 2015 la reducción de las emisiones puede llegar a ser de alrededor de 7 MtCO₂-eq por año. Sin embargo, este potencial podría aumentar considerablemente en el período 2030-2050, cuando se dismantelen y retiren grandes cantidades de espumas aislantes utilizadas en la construcción. [7]

En el caso de los aerosoles de uso médico, el potencial de reducción es limitado debido a las restricciones de orden médico, al nivel relativamente bajo de las emisiones y al costo más elevado de las soluciones alternativas. La medida que más contribuiría a reducir las emisiones de GEI provenientes de los inhaladores con dosificador (14 MtCO₂-eq por año para 2015 en comparación con 40 MtCO₂-eq por año en un escenario sin cambios) sería la de completar el proceso de transición de los inhaladores con dosificador que usan CFC a los que usan HFC antes de lo previsto en el escenario sin cambios. Se considera que la salud y la seguridad del paciente son de la máxima importancia a la hora de tomar decisiones sobre un tratamiento, y existen limitaciones importantes de carácter médico en cuanto al uso de inhaladores con dosificador fabricados con HFC. Si los inhaladores con dosificador que usan salbutamol (aproximadamente el 50% del total de estos inhaladores) fueran sustituidos por inhaladores de polvo seco (lo cual no se presume en el escenario de mitigación), el resultado sería una reducción anual de las emisiones de aproximadamente 10 MtCO₂-eq por año para 2015, a un costo proyectado de entre US\$ 150 y US\$ 300 por tonelada de CO₂-equivalente. [8]

En el sector de los sistemas de protección contra incendios, el potencial de reducción proyectado para 2015 es pequeño debido a que el nivel de emisiones es relativamente bajo, a que ya se han adoptado en gran escala

tecnologías o productos sustitutivos que no dependen del uso de fluorocarbonos, y a que los procedimientos para la incorporación de equipos nuevos son muy lentos. Se estima que las emisiones directas de GEI provenientes de este sector serán de 5 MtCO₂-eq por año para 2015 (en un escenario sin cambios). El 75% de los halones que se usaban originalmente han sido sustituidos por agentes que no influyen en el clima. El 4% de las aplicaciones que contenían halones originalmente continúan utilizándolos. El 21% restante ha sido reemplazado por HFC y en un reducido número de aplicaciones ha sido sustituido por HCFC y PFC. Los PFC ya no son necesarios en los nuevos sistemas fijos y solamente se usan como propelentes en la mezcla de agentes de los extintores portátiles de un determinado fabricante. Debido a la extensa duración del proceso de pruebas, aprobación y aceptación por el mercado de los nuevos equipos y agentes de los sistemas de protección contra incendios, no es probable que surjan nuevas opciones que puedan producir un efecto apreciable para 2015. Con la incorporación de una fluoroquetona (FK) en 2002, es posible que de aquí a 2015 se produzcan nuevas reducciones en este sector, a un costo mayor. Actualmente se estima que esas reducciones son pequeñas en comparación con las de otros sectores. [9]

En el sector de los aerosoles de uso no médico y los disolventes existen varias oportunidades de reducir las emisiones, pero es probable que el potencial de reducción sea pequeño, ya que la mayoría de los usos que se mantienen son fundamentales por los resultados o la seguridad que ofrecen. En un escenario sin cambios, las emisiones provenientes de los disolventes y aerosoles proyectadas para 2015 son de aproximadamente 14 y 23 MtCO₂-eq por año respectivamente. La sustitución del HFC-134a por el HFC-152a en los pulverizadores de uso técnico para remoción de partículas es una de las principales opciones para reducir las emisiones de GEI. Otra posibilidad, en el caso de los productos de limpieza por contacto y de los agentes desmoldantes utilizados en la fabricación de moldes de plástico, es la sustitución de los HCFC por hidrofluoréteres (HFE) y HFC con un menor PCM. En algunos países se ha prohibido el uso de HFC en productos cosméticos, artículos de tocador y artículos para fiestas en vaporizadores de aerosol, aunque el HFC-134a se sigue usando en muchos países por razones de seguridad.

Existe una variedad de disolventes orgánicos que pueden sustituir a los HFC, los PFC y las SAO en muchas aplicaciones. Entre estas alternativas se incluyen compuestos con un PCM más reducido, como los tradicionales disolventes clorados, los HFE, los HC y los disolventes oxigenados. Hay muchas tecnologías que no dependen del uso de los fluorocarbonos, como las técnicas “no-clean” (sin necesidad de limpieza) y los procesos de limpieza acuosa, que también constituyen alternativas viables. [10]

Según dos estudios realizados en Europa en 2000, la destrucción de las emisiones secundarias de HFC-23 derivadas de la producción de HCFC-22 tiene un potencial de reducción de hasta 300 MtCO₂-eq por año para 2015, y costos específicos de menos de US\$ 0,2 por tonelada de CO₂-equivalente.

La disminución de la producción de HCFC-22 como resultado de las fuerzas del mercado, las políticas nacionales o las mejoras en el diseño y la construcción de edificios también podría reducir las emisiones de HFC-23. [10.4]

4.3 ¿Cuáles son las políticas, medidas e instrumentos actuales?

Con el fin de reducir el uso o las emisiones de SAO y sus sustitutos, como los HFC y los PFC, se han puesto en práctica diversas políticas, medidas e instrumentos, entre ellos reglamentaciones, instrumentos económicos, acuerdos voluntarios y medidas de cooperación internacional. Además, las políticas energéticas o climáticas generales repercuten en las emisiones indirectas de GEI derivadas de aplicaciones que contienen SAO, sustancias sustitutivas de éstas o productos alternativos que no dependen del uso de fluorocarbonos.

El presente documento contiene información sobre las políticas y criterios aplicados en algunos países (principalmente los desarrollados) para reducir el uso o las emisiones de SAO y sus sustitutos. Entre las políticas y criterios pertinentes cabe mencionar los siguientes:

- Reglamentaciones (por ejemplo, normas de funcionamiento, certificación, restricciones, adopción de medidas al término de la vida útil de los equipos)
- Instrumentos económicos (por ejemplo, tributación, comercio de derechos de emisión, incentivos financieros y reembolso de depósitos)
- Acuerdos voluntarios (por ejemplo, reducción voluntaria del uso y las emisiones, asociaciones industriales y aplicación de las directrices sobre buenas prácticas)
- Cooperación internacional (por ejemplo, el Mecanismo para un Desarrollo Limpio)

Cabe destacar que las consideraciones de política dependen de cada aplicación, de las circunstancias nacionales y de otros factores.

4.4 ¿Qué puede decirse acerca de la disponibilidad futura de HFC y PFC para su uso en países en desarrollo?

No se dispone de datos publicados que permitan proyectar la capacidad de producción futura. Sin embargo, puesto que no existen límites técnicos ni legales a la producción de HFC y PFC, puede suponerse que en general la capacidad de producción mundial continuará tratando de satisfacer o superar la demanda. Por lo tanto, en el presente informe se calcula la producción futura agregando la demanda sectorial.

En el escenario sin cambios se prevé un aumento de la capacidad mundial de producción como consecuencia del crecimiento que se registrará principalmente en los países en desarrollo y por conducto de empresas mixtas. La capacidad mundial de producción de HFC y PFC suele superar la demanda actual. Hay varias plantas de HFC-134a en países desarrollados y una en un país en desarrollo, con perspectivas de que se instalen otras; las pocas plantas que existen para la producción de otros HFC se encuentran casi exclusivamente en países desarrollados. La propuesta de la Comunidad Europea de eliminar gradualmente el HFC-134a en los sistemas de aire acondicionado de los automóviles nuevos y el programa voluntario del sector para reducir sus emisiones de HFC-134a en un 50% repercutirán en la demanda, la capacidad de producción y el volumen efectivamente producido. La rápida expansión de los mercados en los países en desarrollo, particularmente de las sustancias sustitutivas de los CFC, está generando una nueva demanda de gases fluorados que actualmente se satisface mediante un aumento de la capacidad de producción de HCFC-22 y 141b. [11]

Informe especial IPCC/GETE

**La protección de la capa de ozono y el sistema climático mundial:
Cuestiones relativas a los hidrofluorocarbonos y
a los perfluorocarbonos**

Resumen técnico

Autores principales coordinadores

David de Jager (Países Bajos), Martin Manning (EE.UU.),
Lambert Kuijpers (Países Bajos)

Autores principales

Stephen O. Andersen (EE.UU.), Paul Ashford (Reino Unido), Paul Atkins (EE.UU.), Nick Campbell (Francia), Denis Clodic (Francia), Sukumar Devotta (India), Dave Godwin (EE.UU.), Jochen Harnisch (Alemania), Malcolm Ko (EE.UU.), Suzanne Kocchi (EE.UU.), Sasha Madronich (EE.UU.), Bert Metz (Países Bajos), Leo Meyer (Países Bajos), José Roberto Moreira (Brasil), John Owens (EE.UU.), Roberto Peixoto (Brasil), José Pons (Venezuela), John Pyle (Reino Unido), Sally Rand (EE.UU.), Rajendra Shende (India), Theodore Shepherd (Canadá), Stephan Sicars (Alemania), Susan Solomon (EE.UU.), Guus Velders (Países Bajos), Dan Verdonik (EE.UU.), Robert Wickham (EE.UU.), Ashley Woodcock (Reino Unido), Paul Wright (Reino Unido) y Masaaki Yamabe (Japón)

Editores revisores

Ogunlade Davidson (Sierra Leona), Mack McFarland (EE.UU.), Pauline Midgley (Alemania)

1. Introducción

Este Informe especial del IPCC fue preparado en respuesta a la invitación de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC)¹ y el Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono² a que se elaborara un informe científico y técnico pertinente y equilibrado desde el punto de vista de las políticas acerca de las opciones para sustituir las **sustancias que agotan la capa de ozono**³ (SAO) y afectan al sistema climático mundial. El Informe fue elaborado por el IPCC y el Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica (GETE) del Protocolo de Montreal.

Dado que las SAO causan el agotamiento de la capa de ozono estratosférico⁴, su producción y consumo están controlados en virtud del Protocolo de Montreal y su eliminación gradual se está logrando gracias a los esfuerzos de los países desarrollados y en desarrollo que son partes en el Protocolo. Tanto las SAO como varias de sus sustancias sustitutivas son **gases de efecto invernadero** (GEI) que contribuyen al **cambio climático** (véase el gráfico RT-1). Algunos sustitutos de las SAO, en particular los **hidrofluorocarbonos** (HFC) y los **perfluorocarbonos** (PFC), están contemplados en la CMCC y su Protocolo de

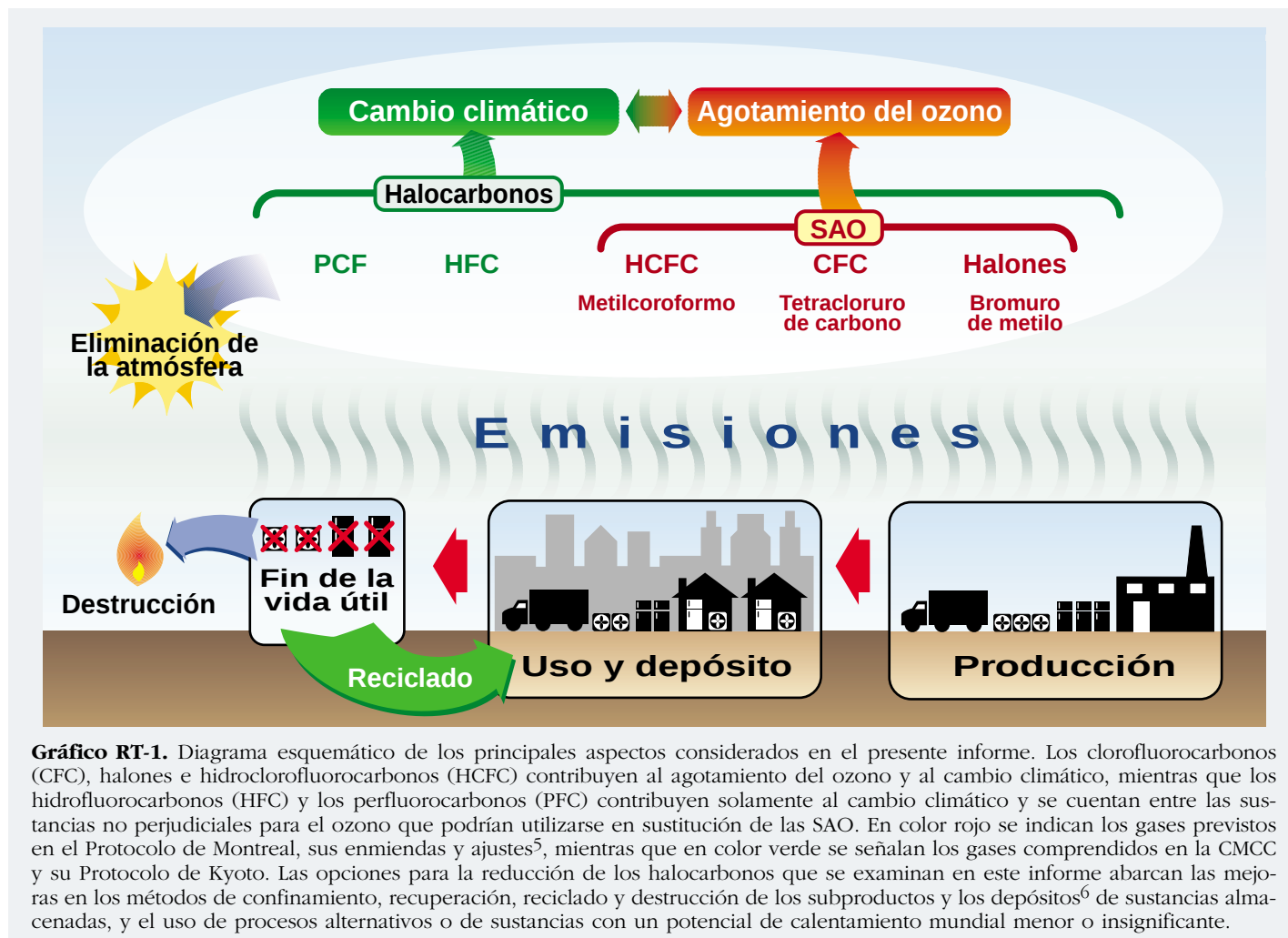


Gráfico RT-1. Diagrama esquemático de los principales aspectos considerados en el presente informe. Los clorofluorocarbonos (CFC), halones e hidroclorofluorocarbonos (HCFC) contribuyen al agotamiento del ozono y al cambio climático, mientras que los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC) contribuyen solamente al cambio climático y se cuentan entre las sustancias no perjudiciales para el ozono que podrían utilizarse en sustitución de las SAO. En color rojo se indican los gases previstos en el Protocolo de Montreal, sus enmiendas y ajustes⁵, mientras que en color verde se señalan los gases comprendidos en la CMCC y su Protocolo de Kyoto. Las opciones para la reducción de los halocarbonos que se examinan en este informe abarcan las mejoras en los métodos de confinamiento, recuperación, reciclado y destrucción de los subproductos y los depósitos⁶ de sustancias almacenadas, y el uso de procesos alternativos o de sustancias con un potencial de calentamiento mundial menor o insignificante.

¹ Decisión 12/CP.8, FCCC/CP/2002/7/Add. 1, pág. 32.

² Decisión XIV/10, UNEP/OzL.Pro.14/9, pág. 51.

³ Los términos definidos en el Glosario se resaltan en color cuando se mencionan por primera vez en el presente Resumen técnico.

⁴ A menos que se indique lo contrario, en este informe se entiende por ozono el ozono estratosférico.

⁵ En adelante, Protocolo de Montreal.

⁶ Se entiende por depósitos la cantidad total de sustancias contenidas actualmente en los equipos, las reservas de productos químicos, las espumas y otros productos que aún no se han liberado en la atmósfera.

Kyoto. Las opciones que se elijan para proteger la capa de ozono podrían repercutir en el cambio climático, el que a su vez podría influir indirectamente en la capa de ozono.

En este informe se examinan los efectos de las emisiones totales de SAO y sus sustitutos en el sistema climático y la capa de ozono y, en particular, se ofrece un contexto para comprender la forma en que las distintas opciones de sustitución podrían influir en el calentamiento de la atmósfera, pero no se pretende hacer un análisis exhaustivo de los efectos de las distintas opciones en la capa de ozono.

Los **hidroclorofluorocarbonos** (HCFC) se han utilizado para sustituir a los **clorofluorocarbonos** (CFC) en varias aplicaciones porque su permanencia en la atmósfera es más breve y en consecuencia causan un menor **agotamiento del ozono**. Se ha determinado que los HFC y los PFC podrían sustituir a las SAO a largo plazo porque no contienen bromo ni cloro y no causan un agotamiento considerable del ozono. Sin embargo, todas estas sustancias son también GEI y por lo tanto contribuyen en distinta medida al cambio climático. Otras opciones para sustituir a los **halocarbonos** son el amoníaco y las sustancias orgánicas, cuyas emisiones directas tienen un efecto muy reducido en el clima, aunque sus emisiones indirectas pueden ser importantes.

En el presente informe se consideran las posibles opciones para reducir las emisiones de halocarbonos en cada sector. Esas opciones se refieren a sustancias y tecnologías alternativas que permiten reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Se incluyen las emisiones de HFC y PFC en la medida en que estén relacionadas con la sustitución de las SAO. No se toman en cuenta las emisiones de HFC y PFC provenientes de la producción de aluminio o semiconductores o de otros sectores, cuando el uso de esas sustancias no tiene por objeto sustituir a las SAO.

Los principales sectores que utilizan SAO y HFC o PFC como productos sustitutivos en sus aplicaciones son la refrigeración, el acondicionamiento de aire, las espumas, los **aerosoles**, los equipos de protección contra incendios y los **disolventes**. Las emisiones de estas sustancias se originan en su fabricación y en cualquier liberación no intencional de subproductos, en aplicaciones con emisiones intencionales, en la evaporación y las fugas de los **depósitos** almacenados en los equipos y productos que ocurren durante el uso, las operaciones de prueba y mantenimiento, y en las prácticas aplicadas al término de la vida útil.

En lo que respecta a las opciones específicas de reducción de las emisiones, el período que abarca el presente informe no se extiende en general más allá del año 2015, porque es hasta ese año que se dispone de bibliografía fiable sobre las opciones de sustitución que tienen un potencial de mercado considerable en estos sectores de rápida evolución. Se examinan su desempeño técnico, las posibles metodologías de evaluación y las emisiones indirectas⁷ relacionadas con el consumo de energía, así como sus costos, los aspectos relativos a la salud y la seguridad humanas, sus repercusiones en la calidad del aire y su disponibilidad futura.

El Resumen técnico (RT) recoge la información más importante del informe de base y en cierta medida se ajusta a su estructura, que se divide en tres partes. En la primera parte se describen los vínculos científicos entre el agotamiento del ozono estratosférico y el cambio climático, y se da información pertinente sobre el **forzamiento radiativo**, los cambios observados en los agentes de forzamiento, y las emisiones (sección 2 del RT). Se analiza la forma en que la eliminación gradual de las SAO afecta tanto al ozono estratosférico como al cambio climático, así como sus repercusiones en la calidad del aire y los problemas ambientales locales. El informe no pretende tener la amplitud ni la profundidad de otras evaluaciones especializadas del agotamiento del ozono y del cambio climático, sino más bien evaluar las interacciones entre estos dos problemas ambientales que resultan pertinentes a la hora de considerar las distintas opciones de sustitución.

En la segunda parte se evalúan las opciones de sustitución de las SAO, incluidos los aspectos ambientales, de salud, seguridad, disponibilidad y desempeño técnico (secciones 3 y 4 del RT). En el informe se evalúan las prácticas actuales y las metodologías alternativas que permitirían reducir las emisiones y los efectos netos de calentamiento en cada sector de uso, y se consideran las posibilidades de mejorar los procesos, el **confinamiento** y las prácticas de **recuperación**, **reciclado**, **eliminación** y **destrucción** al final de la vida útil de las aplicaciones, así como las políticas y medidas pertinentes.

La tercera parte del informe trata de cuestiones relacionadas con la oferta y la demanda. Se agrega la información disponible sobre las emisiones de los distintos sectores y regiones y se analiza la diferencia entre la oferta y la demanda, teniendo en cuenta las cuestiones que afectan a los países en desarrollo (sección 3.8 del RT).

⁷ Cabe señalar que en los informes de los inventarios nacionales se utiliza la expresión “emisiones indirectas” para hacer referencia concretamente a las emisiones de gases de efecto invernadero que provienen de la descomposición de otra sustancia en el medio ambiente. Ese uso difiere del que se da a dicha expresión en el presente informe, la que se refiere específicamente a las emisiones de CO₂ derivadas de la producción de energía que se asocian a los criterios de evaluación del ciclo de vida (LCA), tales como el efecto de calentamiento total equivalente (TEWT) o la repercusión climática durante el ciclo de vida (LCCP).

2. Los halocarbonos, el agotamiento del ozono y el cambio climático

2.1 ¿Cómo contribuyen los CFC y sus sustitutos al forzamiento radiativo del sistema climático?

Muchos halocarbonos, incluidos los CFC, PFC, HFC y HCFC, son verdaderos gases de efecto invernadero pues absorben la radiación infrarroja que emite la Tierra en una gama espectral en la que la energía no es eliminada por el CO_2 o el vapor de agua (a veces denominada *ventana atmosférica*; véase el gráfico RT-2). Las moléculas de los halocarbonos pueden ser miles de veces más eficientes en términos de absorber la energía radiante emitida por la Tierra que una molécula de CO_2 , y pequeñas cantidades de estos gases pueden contribuir de manera considerable al forzamiento radiativo⁸ del sistema climático. [1.1]⁹

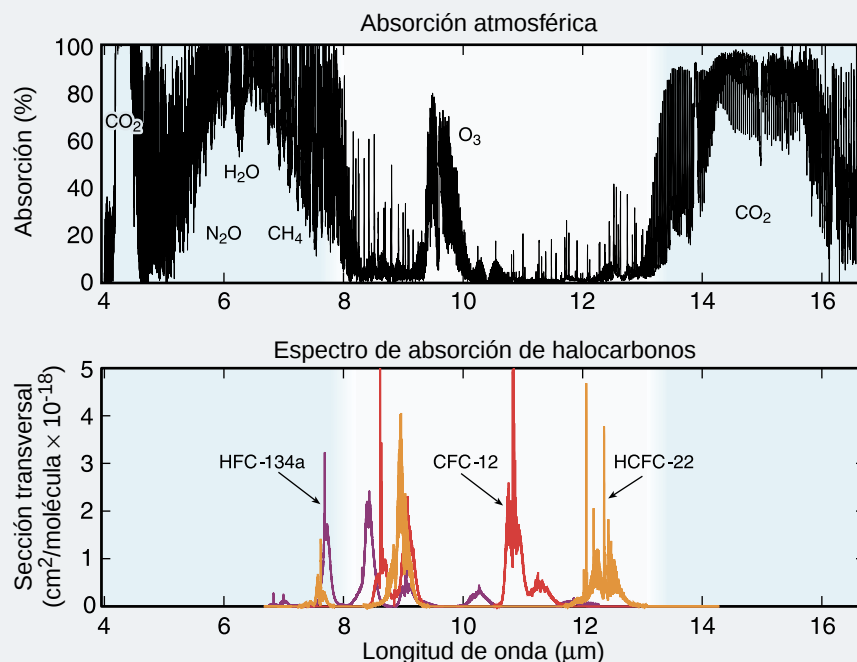
En el cuadro RT-1 figuran datos sobre la eficiencia radiativa ($\text{W m}^{-2} \text{ppmm}^{-1}$) de los halocarbonos y otros GEI homogeneizados previstos en los Protocolos de Montreal y Kyoto. En la mayoría de las sustancias mencionadas en el presente informe, la magnitud del forzamiento radiativo directo generado por un gas está dada por el producto de su relación de mezcla (en partes por mil millones, ppmm) y su eficiencia

radiativa. En el caso de los gases de efecto invernadero más abundantes – CO_2 , metano y óxido nitroso– existe una relación no lineal entre la relación de mezcla y el forzamiento radiativo. [1.1]

El principal efecto radiativo del CO_2 y el vapor de agua es calentar el clima a nivel de la superficie terrestre pero enfriar la *estratosfera*. No obstante, debido a su absorción en la ventana atmosférica, el efecto radiativo directo de los halocarbonos es calentar tanto la *troposfera* como la estratosfera. [1.2 y recuadro 1.4]

Además de su efecto directo sobre el clima, algunos gases producen un efecto indirecto como consecuencia del forzamiento radiativo causado por los productos de su degradación, o debido a su influencia en la química atmosférica. Los halocarbonos que contienen cloro y bromo son SAO, y como el *ozono* tiene una gran capacidad de absorción de la radiación ultravioleta, surten un efecto de enfriamiento indirecto bastante considerable en comparación con su efecto de calentamiento directo. En el caso de los *hidrocarburos*, los efectos indirectos asociados a la producción de ozono troposférico pueden ser significativamente mayores que sus efectos directos. [1.1, 1.5, recuadro 1.3, 2.2 y 2.5]

Gráfico RT-2. Parte superior: absorción atmosférica infrarroja (0 representa absorción nula y 100% representa la absorción total de la radiación) según las mediciones de la radiancia desde el espacio obtenidas mediante el IMG (*Interferometric Monitor for Greenhouse Gases*) del ADEOS (satélite avanzado de observación de la Tierra) (3 de abril de 1997, 9,5°W, 38,4°N). Parte inferior: secciones transversales de la absorción correspondiente a los halocarbonos (HCFC-22, CFC-12, HFC-134a) en la ventana atmosférica infrarroja, que queda entre las regiones que son casi opacas debido a las fuertes absorciones por el CO_2 , H_2O , O_3 , CH_4 y N_2O . [Gráfico 2.6]



⁸ El forzamiento radiativo es una medida de la influencia que un factor ejerce en la modificación del equilibrio entre la energía entrante y saliente en el sistema Tierra-atmósfera, y es un índice de la importancia del factor como mecanismo potencial de cambio climático. Se expresa en vatios por metro cuadrado (W m^{-2}). Un gas de efecto invernadero causa un forzamiento radiativo directo mediante la absorción y emisión de radiación y puede provocar un forzamiento radiativo indirecto mediante las interacciones químicas que influyen en otros gases o partículas de efecto invernadero.

⁹ Los números entre corchetes corresponden a las secciones del informe principal donde puede encontrarse el material y las referencias en que se basa el párrafo.

Cuadro RT-1. Eficiencia radiativa, tiempos de vida y forzamiento radiativo directo positivo de los GEI homogeneizados y halocarbonos normalmente incluidos en los informes presentados en virtud de los Protocolos de Montreal y Kyoto, debido a los aumentos registrados en estos gases entre 1750 y 2000 y entre 1970 y 2000. Para más detalles, véase la sección 1.1, especialmente el cuadro 1.1, y la sección 2.2, en particular el cuadro 2.6.

Gases ^b	Eficiencia radiativa (W m ⁻² ppm ⁻¹)	Tiempo de vida (años)	Forzamiento radiativo (W m ⁻²)	
			1750–2000	1970–2000
CO ₂	1,55 × 10 ⁻⁵ ^a	∞ ^b	1,50	0,67
CH ₄	3,7 × 10 ⁻⁴	12 ^c	0,49	0,13
N ₂ O	3,1 × 10 ⁻³	114 ^c	0,15	0,068
CFC-11	0,25	45	0,066	0,053
CFC-12	0,32	100	0,173	0,136
CFC-113	0,3	85	0,025	0,023
CFC-114	0,31	300	0,005	0,003
CFC-115	0,18	1 700	0,002	0,002
HCFC-22	0,2	12	0,0283	0,0263
HCFC-123	0,14	1,3	0,0000	0,0000
HCFC-124	0,22	5,8	0,0003	0,0003
HCFC-141b	0,14	9,3	0,0018	0,0018
HCFC-142b	0,2	17,9	0,0024	0,0024
HCFC-225ca	0,2	1,9	0,0000	0,0000
HCFC-225cb	0,32	5,8	0,0000	0,0000
HFC-23	0,19	270	0,0029	0,0029
HFC-32	0,11	4,9	0,0000	0,0000
HFC-125	0,23	29	0,0003	0,0003
HFC-134a	0,16	14	0,0024	0,0024
HFC-152a	0,09	1,4	0,0002	0,0002
HFC-227ea	0,26	34,2	0,0000	0,0000
Halón-1211	0,30	16	0,0012	0,0012
Halón-1301	0,32	65	0,0009	0,0009
Halón-2402	0,33	20	0,0001	0,0001
CCl ₄	0,13	26	0,0127	0,0029
CH ₃ Br	0,01	0,7	0,0001	0,0000
CH ₃ CCl ₃	0,06	5	0,0028	0,0018
CF ₄	0,08	50 000	0,0029	0,0029
C ₂ F ₆	0,26	10 000	0,0006	0,0006
C ₃ F ₈	0,26	2 600	0,0001	0,0001
Etano	0,0032	0,21	-	-
Pentano	0,0046	0,010	-	-

Notas

^a La eficiencia radiativa del CO₂ disminuye a medida que aumenta su concentración.

^b La eliminación del CO₂ de la atmósfera supone muchos procesos diferentes y su tasa no puede expresarse con exactitud respecto de un solo tiempo de vida. No obstante, los modelos del ciclo del carbono estiman normalmente que entre el 30 y el 50% de las emisiones de CO₂ permanecen en la atmósfera durante más de 100 años.

^c Los tiempos de vida del CH₄ y el N₂O incorporan efectos indirectos de la emisión de cada gas en su propio tiempo de vida.

2.2 ¿Por cuánto tiempo permanecen en la atmósfera los CFC y sus sustitutos una vez que son emitidos?

Los gases que tienen un tiempo de vida más largo permanecen en la atmósfera por períodos más prolongados y, en consecuencia, pueden afectar al clima. En el cuadro RT-1 se indica el tiempo de vida de distintos halocarbonos y sustancias sustitutivas.

La mayoría de los CFC se eliminan de la atmósfera en escalas temporales que van de los 50 a los 100 años. Con excepción del HFC-23, que tiene una vida de 270 años, los HCFC y los HFC se eliminan de manera eficiente de la troposfera mediante procesos de oxidación de la química atmosférica. En consecuencia, su tiempo de vida oscila entre un año y algunos decenios. Los PFC tienen moléculas muy inertes y sus emisiones contribuyen a elevar la temperatura del sistema climático en escalas temporales que pueden superar los 1 000 años. [2.2]

La mayoría de los gases de halocarbonos tienen una vida lo suficientemente larga como para mezclarse en toda la atmósfera antes de ser destruidos. Por lo tanto, sus relaciones de mezcla son prácticamente constantes en toda la troposfera. En cambio, el tiempo de vida del amoníaco y los compuestos orgánicos oscila en general entre días y semanas, lo que hace que su distribución sea variable, tanto en el espacio como en el tiempo. [2.2]

2.3 ¿Cómo están cambiando las emisiones y concentraciones atmosféricas de los CFC, los halones, los HCFC, los HFC y los PFC?

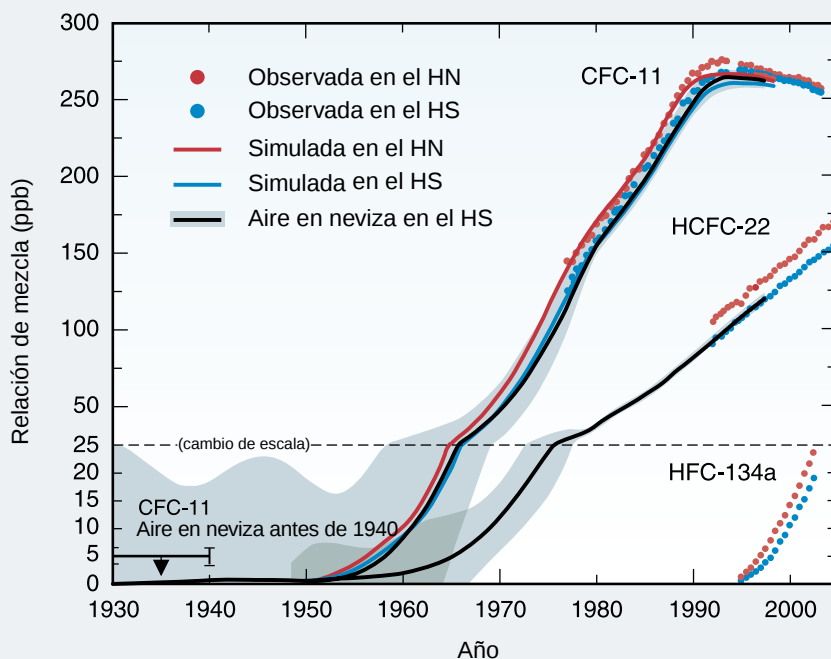
Como puede verse por ejemplo en el gráfico RT-3, las observaciones atmosféricas muestran que los niveles mundiales de concentración de los CFC aumentaron en mayor medida durante los decenios de 1970 a 1990, por lo que su contribución al forzamiento radiativo creció principalmente durante ese período, mientras que las concentraciones de las sustancias sustitutivas están subiendo en la actualidad. El HCFC-22 es el HCFC más abundante, con una concentración de 160 ppt en el momento actual. Su concentración empezó a elevarse a principios de los años setenta, al mismo tiempo que la de los CFC, mientras que las concentraciones de otros HCFC importantes aumentaron principalmente durante los años noventa, al igual que las de los HFC. [1.2, 2.3]

Las tasas de cambio que se observan actualmente varían de unas SAO a otras, dependiendo fundamentalmente de sus emi-

siones y de su tiempo de permanencia en la atmósfera (véase el cuadro RT-2). Como resultado del Protocolo de Montreal y sus posteriores enmiendas, se han registrado importantes reducciones en la producción y emisión de SAO. Si bien las concentraciones de algunos CFC han alcanzado sus valores más altos, se espera que las de otros se reduzcan en el futuro. En una hipótesis de ausencia total de emisiones, las concentraciones de estos gases disminuirían, pero a un ritmo lento determinado por su tiempo de permanencia en la atmósfera, que puede ser de decenios hasta siglos. Si las emisiones continúan, aumentará la concentración de estos gases o disminuirá su ritmo de reducción. Las observaciones de los cambios anuales ocurridos en las concentraciones atmosféricas permiten hacer las estimaciones más fiables de las emisiones mundiales totales de los gases de larga vida. Por ejemplo, se ha observado que el CFC-11 está disminuyendo a un ritmo aproximadamente un 60% más lento que el que se observaría en ausencia de emisiones, mientras que el CFC-12 continúa aumentando ligeramente, lo que indica que sigue habiendo emisiones de ambas sustancias. En cambio, el CFC-113 está disminuyendo a un ritmo cercano al que cabría esperar si no hubiera emisiones. En el cuadro RT-2 se indican las concentraciones mundiales observadas y las tasas de aumento o disminución de los principales CFC, halones, HCFC, HFC y PFC, así como una estimación de las emisiones a la atmósfera que serían necesarias para explicar las tendencias actuales observadas. [2.3, 2.5]

También se indican, con fines de comparación, estimaciones anteriores de las emisiones (OMM, 2003)¹⁰ correspondientes al año 1990, poco tiempo después de que las emisiones de SAO alcanzaran sus niveles máximos. Las emisiones de CFC-113 y

Gráfico RT-3. Estimaciones de las relaciones de mezcla (ppb) troposféricas mundiales del CFC-11, HCFC-22 y HFC-134a presentadas en forma separada para los hemisferios Norte (HN) y Sur (HS). Los símbolos rojos y azules muestran las mediciones realizadas por las redes del AGAGE (*Advanced Global Atmospheric Gases Experiment*) y el CMDL (Laboratorio para la vigilancia y el diagnóstico del clima), mientras que las líneas rojas y azules representan simulaciones de las concentraciones de CFC-11 basadas en estimaciones de las emisiones y su tiempo de permanencia en la atmósfera. Las líneas negras y el sector sombreado representan estimaciones y bandas de incertidumbre del CFC-11 y el HCFC-22 calculados por inversión de síntesis de mediciones del aire en la nevíza antártica y las mediciones atmosféricas realizadas *in situ* en Cape Grim. La línea negra horizontal gruesa con flechas y barras de error representa una estimación del límite superior de las concentraciones de CFC-11 anteriores a 1940 sobre la base de las mediciones del aire en la nevíza del Polo Sur. Téngase presente que los gases indicados en este gráfico se usan en diferentes aplicaciones y se mencionan únicamente a modo de ejemplo. [Gráfico 1.8].



¹⁰ OMM, 2003: *Evaluación científica del agotamiento del ozono, 2002*. Proyecto de investigación y vigilancia del ozono mundial – Informe N° 47, Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, 498 págs.

Cuadro RT-2. Concentraciones y tendencias mundiales observadas de algunos de los CFC, HCFC, HFC y PFC más abundantes en torno al año 2003, así como las emisiones mundiales totales necesarias para explicar esas tendencias. Con fines de comparación se indican las emisiones estimadas para el año 1990, poco después de que las emisiones totales de SAO alcanzaran su punto máximo. Para más detalles véase la sección 2.3, en particular el cuadro 2.1 y el gráfico 2.4.

Sustancias	Concentración en 2003 ^a (ppb)	Tendencia entre 2001 y 2003 ^a (ppb/año)	Tendencia en % de la concentración %	Emisiones estimadas en 2002 ^b (kt/año) (GtCO ₂ -eq año ⁻¹) ^d		Emisiones estimadas en 1990 ^c (kt año ⁻¹) (GtCO ₂ -eq año ⁻¹) ^d	
CFC-11	256	- 1,9 – - 2,7	- 0,7 – - 1,1	70 – 90	0,33 – 0,42	280 – 300	1,31 – 1,40
CFC-12	538	+ 0,2 – + 0,8	+ 0,04 – + 0,16	110 – 130	1,2 – 1,4	400 – 430	4,29 – 4,61
CFC-113	80	- 0,6 – - 0,7	- 0,8 – - 1,0	5 – 12	0,03 – 0,07	180 – 230	1,09 – 1,39
Total de CFC principales				185 – 232	1,54 – 1,89	860 – 960	6,68 – 7,40
HCFC-22	157	+ 4,5 – + 5,4	+ 2,8 – + 3,4	240 – 260	0,43 – 0,46	185 – 205	0,33 – 0,36
HCFC-123	0,03	0	0	n.d. ^e		0	0
HCFC-141b	16	+ 1,0 – + 1,2	+ 6,3 – + 7,5	55 – 58	0,04	0	0
HCFC-142b	14	+ 0,7 – + 0,8	+ 4,3 – + 5,7	25	0,06	10 – 20	0,02 – 0,05
Total de HCFC principales				320 – 343	0,53 – 0,56	195 – 225	0,35 – 0,41
HFC-23	17,5	+ 0,58	+ 3,3	13	0,19	6,4	0,09
HFC-125	2,7	+ 0,46	+ 17	9 – 10	0,03	0	0
HFC-134a	26,0	+ 3,8 – + 4,1	+ 15 – + 16	96 – 98	0,14	0	0
HFC-152a	2,6	+ 0,34	+ 13	21 – 22	0,003	0	0
Total de HFC principales				139 – 143	0,36	6,4	0,09
Halón-1211	4,3	+ 0,04 – + 0,09	+ 0,9 – + 2,8	7 – 8	0,013 – 0,015	11,5	0,02
Halón-1301	2,9	+ 0,04 – + 0,08	+ 1,4 – + 2,8	1 – 2	0,007 – 0,014	5,1	0,04
CCl ₄	95,0	- 0,9 – - 1,0	- 1,0 – - 1,1	64 – 76	0,09 – 0,10	120 – 130	0,17 – 0,18
CH ₃ CCl ₃	27,0	- 5,6 – - 5,8	- 21 – - 23	15 – 17	0,002	646	0,09
CF ₄	76,0	n.d. ^e	n.d. ^e				
C ₂ F ₆	2,9	+ 0,1	+ 3,4	n.d. ^e			
C ₃ F ₈	0,26	n.d. ^e	n.d. ^e				

Notas :

^a Promedio de concentraciones troposféricas y gama de las tendencias indicadas por distintas redes de vigilancia.

^b Estimación en base a las concentraciones y tendencias actuales.

^c Emisiones estimadas para 1990 de acuerdo con el capítulo 2, gráfico 2.4, con excepción de las emisiones del HFC-23, cuyas estimaciones se indican en el capítulo 10.

^d Emisiones ponderadas en función del PCM, utilizando los valores del PCM directo indicados en el presente informe.

^e n.d. – no disponible. Datos insuficientes para determinar si una tendencia o un valor de emisión es fiable

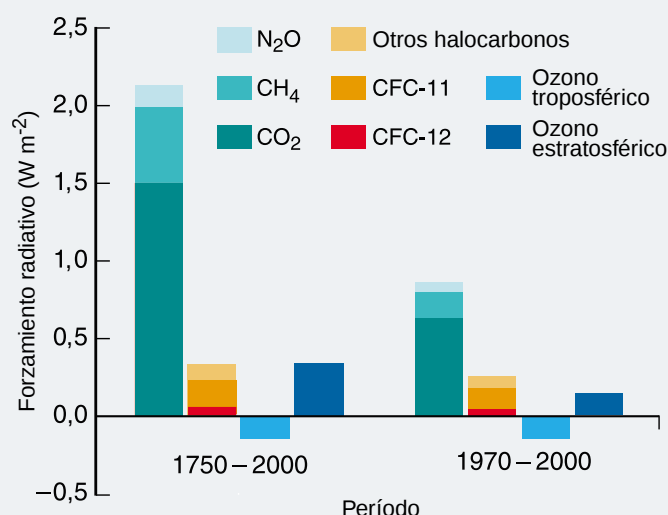


Gráfico RT-4. Forzamiento radiativo (W m^{-2}) causado por los cambios ocurridos en los GEI homogeneizados y el ozono durante los períodos comprendidos entre 1750 y 2000 y entre 1970 y 2000. El forzamiento radiativo negativo proveniente del ozono estratosférico se debe a su agotamiento como resultado de las emisiones de halocarbonos registradas entre 1970 y 2000. En cambio, el forzamiento radiativo del ozono troposférico es mayormente independiente del forzamiento radiativo causado por los halocarbonos. [Gráfico 1.3]

CH_3CCl_3 , dos sustancias que se utilizan principalmente como disolventes y que no se almacenan en depósitos, se redujeron por un factor de más de 10 entre 1990 y 2000. Los niveles de cloro estratosférico prácticamente se han estabilizado y es posible que hayan comenzado a declinar [2.3]

Las emisiones actuales estimadas de CFC-11 y CFC-12 que se indican en el cuadro RT-2 son superiores a las estimaciones de la nueva producción, lo que indica que gran parte de estas emisiones proviene de depósitos de estas sustancias químicas acumulados durante procesos de producción anteriores. Esos depósitos están formados por el material contenido en las espumas, los equipos de aire acondicionado, los sistemas de refrigeración y otras aplicaciones. En cambio, en el caso de casi todos los HCFC y HFC, hoy en día la producción es mayor que las emisiones, lo que significa que actualmente se están formando depósitos de estas sustancias químicas que podrían contribuir al forzamiento radiativo en el futuro. Una medida de la importancia de estos depósitos la da la relación entre el tamaño del depósito y la cantidad de sustancia ya existente en la atmósfera. Por ejemplo, en el caso del HFC-134a se estima que esas magnitudes son prácticamente iguales. [2.3, 2.5 y 11.3]

Actualmente, las observaciones atmosféricas continuas de los CFC y otras SAO permiten validar con mayor precisión las

estimaciones de la diferencia entre la producción y la emisión a la atmósfera. Esto genera una nueva perspectiva de la importancia global de los depósitos y las opciones aplicables al término de la vida útil en relación con el uso futuro de sustancias sustitutivas de los HCFC y HFC. [2.5]

En el caso de algunos gases, actualmente se dispone de observaciones atmosféricas suficientes como para restringir no solamente sus emisiones mundiales, sino también sus emisiones regionales en determinadas zonas. Por ejemplo, las mediciones atmosféricas sugieren que en Europa hubo un fuerte incremento de las emisiones de HFC-134a entre 1995 y 1998, y de HFC-152a en el período comprendido entre 1996 y 2000, y que luego se estabilizaron relativamente hasta 2003. [2.3]

2.4 ¿En qué medida contribuyen los gases de halocarbonos y sus sustitutos al forzamiento radiativo positivo del sistema climático en comparación con la era preindustrial? ¿Y en comparación con 1970?

En el cuadro RT-1 y en el gráfico RT-4 se resumen las contribuciones al forzamiento radiativo directo derivadas del aumento de las concentraciones de halocarbonos entre 1750 y 2000 y entre 1970 y 2000. Se estima que el forzamiento radiativo directo causado por los aumentos registrados entre 1750 y 2000 fue de $0,33 \pm 0,03 \text{ W m}^{-2}$, lo que representa aproximadamente el 13% del forzamiento total producido por todos los GEI homogeneizados durante ese período. Las contribuciones de los CFC, HCFC y HFC son de aproximadamente $0,27 \text{ W m}^{-2}$, $0,033 \text{ W m}^{-2}$ y $0,006 \text{ W m}^{-2}$ respectivamente. [1.1 y 1.5]

Dado que las concentraciones de halocarbonos aumentaron principalmente en los tres últimos decenios, su contribución relativa al forzamiento radiativo total fue mayor durante ese período. El forzamiento radiativo directo causado por el aumento de los halocarbonos entre 1970 y 2000 fue de $0,27 \pm 0,03 \text{ W m}^{-2}$, lo que representa alrededor del 23% del forzamiento debido al aumento de todos los GEI homogeneizados. Actualmente, el HCFC-22 es el gas que más contribuye al forzamiento radiativo directo causado por los HCFC, mientras que en el caso de los HFC, los principales contribuyentes son el HFC-134a y el HFC-23, este último emitido principalmente como subproducto de la fabricación de HCFC-22. [1.1, 1.5]

2.5 ¿Cómo y por qué ha cambiado el ozono estratosférico en los últimos decenios?

Como puede verse en el gráfico RT-5, la cantidad de ozono estratosférico ha disminuido en los últimos decenios, particularmente en la Antártida. Las mayores reducciones desde 1980 se han observado sobre la Antártida en la primavera (*agujero de ozono en la Antártida*), cuando los valores mensuales totales de la *columna de ozono* en los meses de septiembre y octubre oscilan entre 40 y 50% por debajo de los valores anteriores a la presencia del agujero en la capa de ozono. [1.2, 1.3 y 1.4]

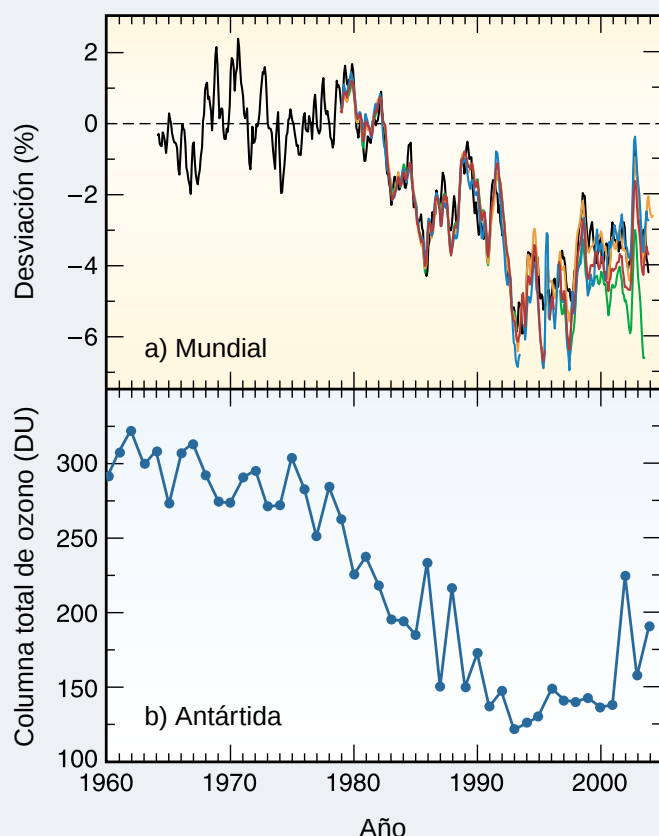


Gráfico RT-5. Parte superior: series cronológicas de las anomalías medias registradas fuera de estación en la columna de ozono, estimadas a partir de cinco grupos de datos diferentes y sobre la base de mediciones realizadas al nivel del suelo (línea negra) y por satélite (líneas de color). Las anomalías se expresan como porcentajes del tiempo medio durante el período 1964–1980. Parte inferior: mediciones de los valores medios de la columna total de ozono en el mes de octubre, realizadas con el espectrofotómetro Dobson en Halley, Antártida (73,5°S, 26,7°W). [Gráficos 1.4 y 1.5]

La pérdida de ozono en el Ártico en un año cualquiera depende en gran medida de las condiciones meteorológicas. El ozono del Ártico ha sido agotado químicamente hasta en un 30% en los últimos años fríos, pero las pérdidas observadas en los años cálidos han sido muy pequeñas. Desde 1980, la cantidad de ozono calculada como promedio de todo el planeta se ha reducido aproximadamente un 3%. La columna de ozono

disminuyó alrededor del 6% en las latitudes medias (35° a 60°) en el hemisferio sur y 3% en el hemisferio norte. En los trópicos no se han observado cambios importantes a largo plazo en la columna de ozono. Las observaciones y los cálculos de los modelos indican que actualmente el agotamiento del ozono calculado como promedio mundial está casi estabilizado (véase el gráfico RT-5). [1.2]

Los cambios observados en el ozono son causados por factores tanto químicos como dinámicos, con una predominancia de los primeros. Este agotamiento del ozono se debe principalmente al aumento de las concentraciones de compuestos reactivos de cloro y bromo causado por la degradación de SAO antropógenas, incluidos los halones, los CFC, los HCFC, el metilcloroformo (CH_3CCl_3), el tetracloruro de carbono (CCl_4) y el bromuro de metilo (CH_3Br). En relación con las estimaciones de los niveles de fondo naturales, las actividades humanas han determinado que la cantidad de cloro presente en la estratosfera se haya multiplicado aproximadamente por cinco desde 1970. Los CFC son la causa principal de este cambio, mientras que los HCFC aportan alrededor del 5% de la carga total de cloro en la estratosfera. [1.2, 1.3 y 1.4]

2.6 ¿Qué efectos ha tenido el agotamiento del ozono en el forzamiento radiativo del sistema climático?

Las observaciones y la elaboración de modelos demuestran que el agotamiento del ozono ha contribuido a enfriar la estratosfera, lo que a su vez puede contribuir al enfriamiento de la troposfera y la superficie. El calentamiento del clima causado por las SAO y el enfriamiento vinculado al agotamiento del ozono son dos mecanismos claramente diferenciados, que se rigen por interacciones y procesos físicos diferentes, respecto de los cuales existen niveles de comprensión científica muy diversos. A los fines del presente informe, nos guiamos por el IPCC (2001)¹¹ y partimos de la base de que el agotamiento observado es causado en su totalidad por las SAO y que el forzamiento radiativo del ozono puede considerarse un efecto indirecto de esas sustancias. Los gases que contienen bromo (como los halones) son particularmente eficaces como agentes agotadores del ozono, y contribuyen a producir el efecto indirecto por molécula en mayor proporción que otros gases destructores del ozono, como el CFC. [1.1, 1.2, 1.3 y 1.5]

La mejor estimación del forzamiento radiativo indirecto negativo asociado al agotamiento del ozono correspondiente al período 1970-2000 es de $-0,15 \pm 0,10 \text{ W m}^{-2}$, donde la gran incertidumbre está determinada por la variación de las estimaciones de los modelos, que se debe principalmente a las incertidumbres en la distribución vertical detallada del agotamiento del ozono. Es *muy probable*¹² que la magnitud de este efecto indirecto sea menor que la del forzamiento radiativo directo positivo causado exclusivamente por las SAO ($0,32 \pm 0,03 \text{ W m}^{-2}$), del que se tiene un conocimiento mucho más amplio.

¹¹ IPCC, 2001: Cambio climático 2001: La base científica. Contribución del Grupo de trabajo I al Tercer Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Houghton, J. T., Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell y C. A. Johnson (editores)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, y Nueva York, NY, Estados Unidos, 944 páginas.

¹² En este informe se utilizan, cuando corresponde, los términos siguientes para indicar estimaciones de confianza subjetivas: *muy probable* (90 a 99% de posibilidades); *probable* (66 a 90% de posibilidades); *improbable* (10 a 33% de posibilidades) y *muy improbable* (1 a 10% de posibilidades).

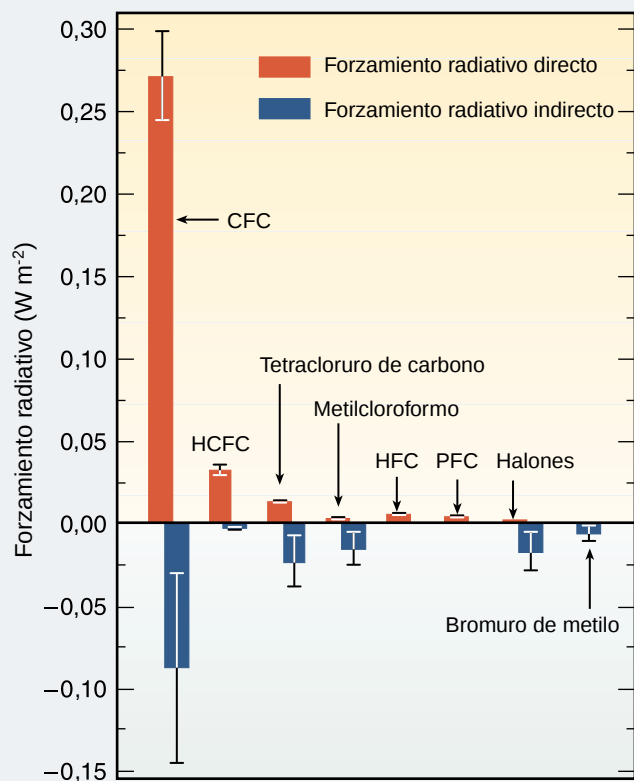


Gráfico RT-6. Forzamiento radiativo causado por los cambios experimentados por los halocarbonos entre 1750 y 2000. [Basado en el cuadro 1.1]

Si alguna fracción de los cambios observados en el ozono mundial no fuera atribuible a las SAO, la magnitud de ese efecto indirecto se reduciría. [1.5]

En el gráfico RT-6 se indican las contribuciones relativas de los distintos tipos de gases al forzamiento radiativo positivo directo y negativo indirecto. Sin embargo, los efectos de calentamiento y enfriamiento producidos por el forzamiento directo e indirecto no se compensan simplemente entre sí, ya que los efectos en el clima de la superficie no tienen la misma distribución espacial y estacional. [1.2, 1.5 y recuadro 1.4]

Hay unos pocos estudios estadísticos y de modelización del clima mundial que sugieren que el agotamiento del ozono es un mecanismo que puede afectar a los regímenes de **variabilidad del clima** que son importantes para la circulación troposférica y la temperatura en ambos hemisferios. En particular, es *probable* que el gran agotamiento del ozono estratosférico registrado en la región antártica haya afectado la circulación estratosférica, y por ende también la troposfera. Hay elementos que indican que el agujero de ozono en la Antártida ha contribuido al enfriamiento observado sobre la meseta antártica y al calentamiento detectado en la región de la península antártica. [1.3]

2.7 ¿Cuáles son los factores que se prevé que habrán de controlar el ozono en el próximo siglo? ¿Se “recuperarán” los valores anteriores a la aparición del agujero en la capa de ozono? ¿Ya ha comenzado esa recuperación?

Se espera que los niveles mundiales de ozono se recuperen como resultado de la disminución de la carga de cloro y bromo en la estratosfera a medida que baje la concentración de SAO como consecuencia de la reducción de sus emisiones. Si bien se prevé que éste será el principal factor determinante de la recuperación del ozono, las emisiones de otros GEI (como el CO₂, el metano y el óxido nítrico) pueden afectar a la composición química y al clima tanto de la troposfera como de la estratosfera, e influirán en cierto modo en la recuperación del ozono. [1.3 y 1.4]

El gráfico RT-7 muestra una gama de predicciones de los cambios en el ozono estratosférico en la franja comprendida entre los 60° de latitud sur y los 60° de latitud norte, obtenidas mediante modelos fotoquímicos bidimensionales y mediciones realizadas en tierra y por satélite hasta el año 2003. Estas simulaciones por computadora muestran una recuperación gradual del ozono mundial a medida que se reducen las emisiones y concentraciones de gases halogenados. Sin embargo, el tiempo de recuperación varía considerablemente dependiendo de las hipótesis sobre el clima y la composición de la atmósfera en el futuro, y por lo tanto continúa siendo muy incierto. [1.4 y recuadro 1.7]

Se prevé que los futuros cambios de temperatura relacionados con las emisiones de GEI agudizarán el agotamiento del ozono estratosférico en algunas partes de la estratosfera y lo reducirán en otras. Se espera que el aumento de la concentración de CO₂ enfríe la estratosfera, pues se sabe que esto reducirá las tasas de destrucción del ozono en fase gaseosa en gran parte de la estratosfera, elevando así sus concentraciones a altitudes superiores a los 25 km aproximadamente. En cambio, a altitudes menores, una temperatura más baja podría reducir la concentración de ozono. Si bien se supone que este último efecto sería más importante en el Ártico entre fines del invierno y comienzos de la primavera, podría ser pequeño en comparación con otros procesos y disminuiría lentamente con el transcurso del tiempo, a medida que se fuera reduciendo la carga de cloro y bromo. También podrían producirse cambios en la circulación estratosférica como consecuencia del incremento de los GEI, lo que podría determinar un aumento o una reducción del ozono en las latitudes medias o en los polos. El resultado neto que tendrán las emisiones futuras de GEI en el ozono mundial dependerá de la combinación de estos efectos, cuya magnitud y dirección aún no se han cuantificado suficientemente. [1.3 y 1.4]

Como puede verse en las mediciones que figuran en el gráfico RT-7, es difícil detectar el comienzo de la recuperación del ozono debido a la gran variabilidad de sus niveles, que obedece tanto a la variabilidad meteorológica como a la confusa influencia que ejercen las erupciones volcánicas en la capa de ozono. En consecuencia, aún no es posible afirmar que se haya detectado en forma inequívoca el comienzo de la recuperación del ozono. [1.2, 1.4 y recuadro 1.7]

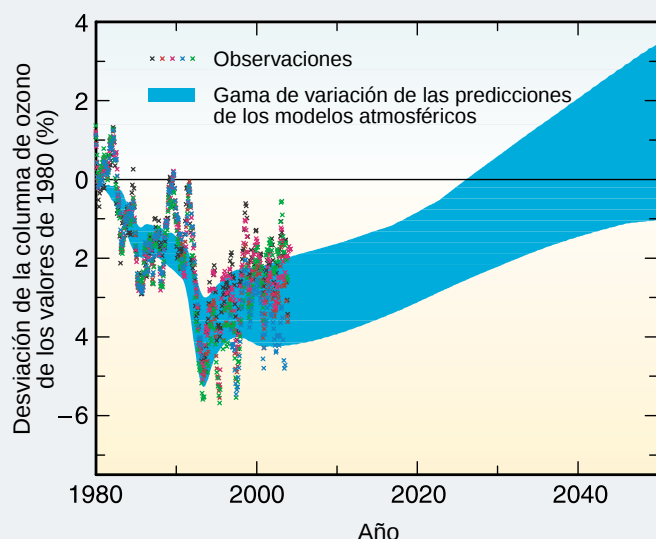


Gráfico RT-7. Cambios observados y pronosticados mediante modelos en la columna de ozono, en períodos fuera de estación y en latitudes bajas y medias (60°S – 60°N), en comparación con valores de 1980. Los símbolos negros indican las mediciones tomadas en tierra y los símbolos de color representan distintos grupos de datos tomados por satélite. Las diferencias en las predicciones de los modelos se deben al uso de varios modelos fotoquímicos bidimensionales distintos, forzados en el mismo escenario de halocarbonos; algunos modelos también permitieron estimar el efecto de los cambios en los volúmenes de CO₂ sobre la temperatura estratosférica. Las mediciones revelan que los valores de la columna de ozono entre los 60°S y los 60°N se redujeron a partir de comienzos de los años ochenta, y los modelos captan con bastante exactitud el momento y el alcance de esta reducción. Los modelos de las concentraciones de gases primarios halógenos muestran una reducción a comienzos del siglo XXI como resultado del Protocolo de Montreal, por lo que los valores simulados del ozono aumentan y vuelven a sus niveles anteriores a 1980. [Recuadro 1.7]

Los modelos indican que el ozono antártico puede haber alcanzado ya sus niveles mínimos, o que probablemente los alcance en los próximos años. Las predicciones en cuanto al momento en que el ozono del Ártico alcanzará sus valores mínimos son más inciertas debido a que la variabilidad natural en esa región es mucho mayor, pero los modelos sugieren que ello ocurrirá en los dos próximos decenios. Es *muy improbable* que se produzca en el Ártico un “agujero de ozono” similar al que se observa actualmente sobre la Antártida. [1.3 y 1.4]

2.8 ¿En qué medida se prevé que los CFC, los HCFC y sus posibles sustitutos afectarán al forzamiento radiativo del sistema climático en el futuro?

De acuerdo con los escenarios de emisiones del Informe especial del IPCC sobre [escenarios de emisiones \(IE-EE\)](#) se estima que en 2015 el forzamiento radiativo de los HFC será del orden de 0,022 a 0,025 W m⁻², mientras que, según los escenarios de emisiones que se describen en el capítulo 11 del presente informe, serían de entre 0,019 y 0,030 W m⁻². De acuerdo con los escenarios del IE-EE, el forzamiento radiativo de los PFC en 2015 será de aproximadamente 0,006 W m⁻². Estos forzamientos radiativos de los HFC y los PFC corresponden a alrededor del 6% al 10% y del 2% respectivamente del forzamiento radiativo total estimado de los CFC y los HCFC para 2015 (que se estima será de 0,297 W m⁻² en el escenario inicial de referencia). [2.5 y 11.5]

Las proyecciones del forzamiento radiativo futuro basadas en los escenarios se indican en el gráfico RT-8. A escalas temporales más largas, estas proyecciones se tornan más inciertas debido a que aumentan las incertidumbres respecto de las prácticas y políticas tecnológicas futuras, pero para el año 2100, de acuerdo con la gama de escenarios de emisiones del IE-EE, la contribución de los HFC puede ser de entre 0,1 y 0,25 W m⁻², mientras que la de los PFC puede oscilar entre 0,02 y 0,04 W m⁻². [1.5 y 2.5]

En el gráfico RT-8 se desglosan las estimaciones de la contribución de los halocarbonos al forzamiento radiativo futuro producida por: emisiones anteriores (es decir, lo que está actualmente en la atmósfera); emisiones futuras derivadas de la nueva producción, suponiendo que no se modifiquen las prácticas actuales (sobre la base del escenario Ab de la OMM), y las emisiones procedentes de los depósitos actuales de halocarbonos. Respecto de este último componente se dan dos estimaciones diferentes, una de ellas basada en la Evaluación del ozono de la OMM (2003) y la otra en algunas de las secciones siguientes del presente informe. Aunque la magnitud de los depósitos actuales de SAO continúa siendo incierta, se prevé que su contribución al forzamiento radiativo será comparable a la de las emisiones de HFC a la atmósfera en los próximos decenios. Ello indica que la opción que se elija al término de la vida útil de las aplicaciones, como la destrucción del material acumulado, puede ser sumamente beneficiosa para el sistema climático. Las prácticas de recuperación, reciclado y destrucción al término de la vida útil también podrían reducir las emisiones de todos los halocarbonos de producción nueva y su contribución al forzamiento radiativo, que se indican en el gráfico RT-8. [1.5]

Además de reducir la carga de cloro atmosférico, las medidas adoptadas en aplicación del Protocolo de Montreal y sus ajustes y enmiendas también han contribuido a reducir las emisiones totales de [CO₂ equivalente](#). Ello ha ocurrido porque las sustancias sustitutivas tienen en general un menor [potencial de calentamiento mundial](#) (PCM) y las emisiones totales de halocarbonos han disminuido. Esta reducción puede apreciarse si se comparan las emisiones registradas en 1990 y en 2000 que se indican en el cuadro RT-2, y que pueden verse en términos

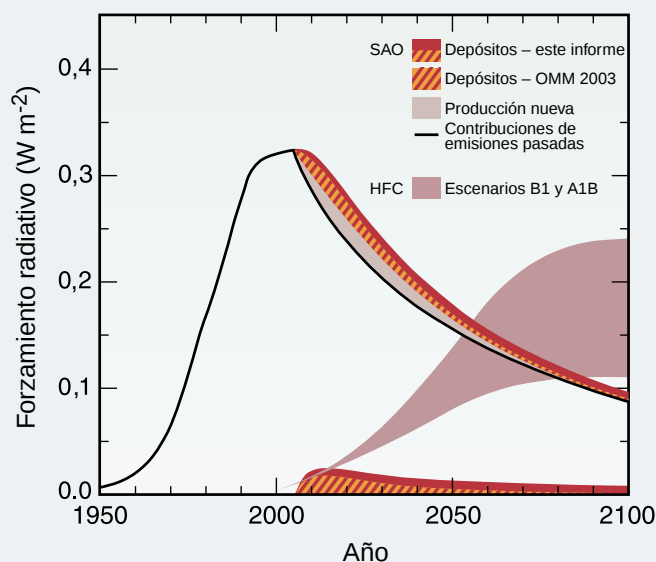


Gráfico RT-8. Forzamiento radiativo directo causado por todas las SAO en comparación con las proyecciones de los escenarios de emisiones del IE-EE con respecto al HFC. El forzamiento radiativo directo se divide en las contribuciones de emisiones pasadas (línea negra continua), la liberación de la producción nueva autorizada por el Protocolo de Montreal (sector sombreado en gris) y la liberación de los depósitos de SAO existentes en 2004. De estas últimas emisiones se dan dos estimaciones (véase el capítulo 2). Se indica el forzamiento radiativo causado por el HFC en los escenarios B1 y A1B del IE-EE (bordes del sector sombreado en rojo). La contribución derivada de la liberación retrasada de SAO acumuladas en depósitos se indica por separado y es comparable a la contribución proyectada del HFC en los próximos 20 años. Las SAO también producen otros efectos indirectos en el forzamiento radiativo. [Gráfico 1.19]

más generales en el gráfico RT-9. En consecuencia, las emisiones combinadas de CFC, HCFC y HFC como emisiones de CO_2 equivalente disminuyeron de un nivel máximo de $7,5 \pm 0,4 \text{ GtCO}_2\text{-eq año}^{-1}$ (gigatoneladas de CO_2 equivalente por año) registrado alrededor de 1990, a un nivel de $2,5 \pm 0,2 \text{ GtCO}_2\text{-eq año}^{-1}$ en torno al año 2000, lo que equivale aproximadamente al 10% de la contribución anual derivada de la quema de combustibles fósiles a nivel mundial en ese año. [2.3 y 2.5]

El amoníaco y los hidrocarburos utilizados como sustitutos de los halocarbonos permanecen en la atmósfera por períodos que van de días a meses, y es *muy probable* que los forzamientos radiativos directos e indirectos vinculados a su uso como sustancias sustitutivas tengan un efecto insignificante en el clima mundial.

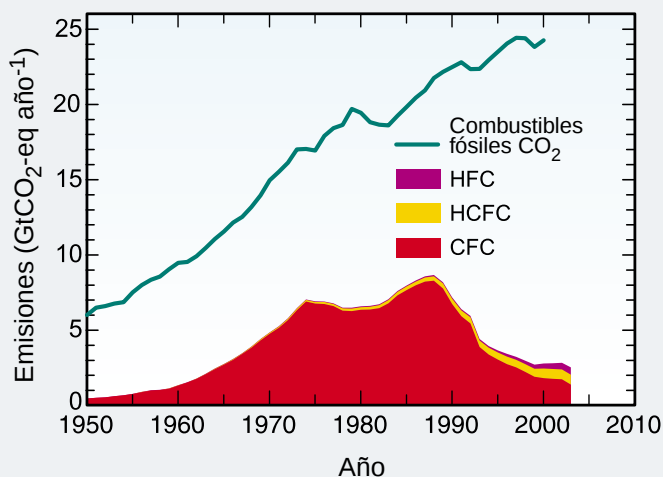


Gráfico RT-9. Emisiones directas ponderadas en función del PCM (horizonte temporal de 100 años) de CFC, HCFC y HFC, comparadas con las emisiones totales de CO_2 provenientes de la quema de combustibles fósiles y la producción de cemento. [Gráfico 2.11]

2.9 ¿Qué es y cómo se utiliza el potencial de calentamiento mundial?

El potencial de calentamiento mundial (PCM) es una medida del efecto radiativo futuro de la emisión de una sustancia en relación con la emisión de la misma cantidad de CO_2 integrado a lo largo de un horizonte temporal determinado. La magnitud del PCM de una sustancia es proporcional a su eficiencia radiativa y aumenta con su tiempo de permanencia en la atmósfera. El PCM es muy útil como medida relativa de la respuesta climática causada por el forzamiento radiativo directo de gases de efecto invernadero homogeneizados cuyo tiempo de permanencia en la atmósfera esté controlado por procesos similares, lo que incluye a la mayoría de los halocarbonos. [2.5 y recuadro 2.4]

La elección de un horizonte temporal es una cuestión de política e implica buscar un equilibrio entre la ponderación relativa de los efectos a corto y a largo plazo. En la práctica actual, el PCM se calcula casi siempre con un horizonte temporal de 100 años. Esto significa que no se tiene en cuenta el efecto total de los gases de muy larga vida y con alta eficiencia radiativa, como los PFC, que permanecen en la atmósfera por mucho más de 100 años. De manera similar, la integración a lo largo de un período de 100 años reduce la contribución de las

Cuadro RT-3. PCM de los halocarbonos incluidos normalmente en los informes presentados en virtud del Protocolo de Montreal y la CMCC y su Protocolo de Kyoto y evaluados en el presente informe, en relación con el CO₂ para un horizonte temporal de 100 años, junto con su tiempo de vida y el PCM utilizado en los informes presentados de conformidad con la CMCC. Los gases indicados sobre fondo azul (sombreado más oscuro) están comprendidos en el Protocolo de Montreal, y los gases que aparecen sobre fondo amarillo (sombreado más claro) están previstos en la CMCC [cuadros 2.6 y 2.7]

Gas	PCM correspondiente al forzamiento radiativo directo ^a		PCM correspondiente al forzamiento radiativo indirecto (emisiones en 2005 ^b)		Tiempo de vida (años)	PCM utilizado en los informes a la CMCC ^c
CFC						
CFC-12	10 720	± 3 750	-1 920	± 1 630	100	n.d. ^d
CFC-114	9 880	± 3 460	No disponible		300	n.d. ^d
CFC-115	7 250	± 2 540	No disponible		1 700	n.d. ^d
CFC-113	6 030	± 2 110	-2 250	± 1 890	85	n.d. ^d
CFC-11	4 680	± 1 640	-3 420	± 2 710	45	n.d. ^d
HCFC						
HCFC-142b	2 270	± 800	-337	± 237	17,9	n.d. ^d
HCFC-22	1 780	± 620	-269	± 183	12	n.d. ^d
HCFC-141b	713	± 250	-631	± 424	9,3	n.d. ^d
HCFC-124	599	± 210	-114	± 76	5,8	n.d. ^d
HCFC-225cb	586	± 205	-148	± 98	5,8	n.d. ^d
HCFC-225ca	120	± 42	-91	± 60	1,9	n.d. ^d
HCFC-123	76	± 27	-82	± 55	1,3	n.d. ^d
HFC						
HFC-23	14 310	± 5 000	~0		270	11 700
HFC-143a	4 400	± 1 540	~0		52	3 800
HFC-125	3 450	± 1 210	~0		29	2 800
HFC-227ea	3 140	± 1 100	~0		34,2	2 900
HFC-43-10mee	1 610	± 560	~0		15,9	1 300
HFC-134a	1 410	± 490	~0		14	1 300
HFC-245fa	1 020	± 360	~0		7,6	- ^e
HFC-365mfc	782	± 270	~0		8,6	- ^e
HFC-32	670	± 240	~0		4,9	650
HFC-152a	122	± 43	~0		1,4	140
PFC						
C ₂ F ₆	12 010	± 4 200	~0		10 000	9 200
C ₆ F ₁₄	9 140	± 3 200	~0		3 200	7 400
CF ₄	5 820	± 2 040	~0		50 000	6 500
Halones						
Halón-1301	7 030	± 2 460	-32 900	± 27 100	65	n.d. ^d
Halón-1211	1 860	± 650	-28 200	± 19 600	16	n.d. ^d
Halón-2402	1 620	± 570	-43 100	± 30 800	20	n.d. ^d
Otros halocarbonos						
Tetracloruro de carbono (CCl ₄)	1 380	± 480	-3 330	± 2 460	26	n.d. ^d
Metilcloroformo (CH ₃ CCl ₃)	144	± 50	-610	± 407	5,0	n.d. ^d
Bromuro de metilo (CH ₃ Br)	5	± 2	-1 610	± 1 070	0,7	n.d. ^d

^a Se considera que las incertidumbres en el PCM correspondiente al forzamiento radiativo positivo directo son de ±35% (2 desviaciones estándar) (IPCC, 2001).

^b Las incertidumbres en el PCM correspondiente al forzamiento radiativo negativo indirecto tienen en cuenta la incertidumbre estimada en cuanto al tiempo de recuperación de la capa de ozono, así como la incertidumbre en el forzamiento radiativo negativo causado por el agotamiento del ozono.

^c Las directrices de presentación de informes de la CMCC usan los valores del PCM que se indican en el Segundo Informe de Evaluación del IPCC (véase el documento FCCC/SBSTA/2004/8 y la página Web <http://unfccc.int/resource/docs/2004/sbsta/08.pdf>).

^d Las SAO no están comprendidas en la CMCC.

^e En el Segundo Informe de Evaluación del IPCC no se dan valores del PCM del HFC-245fa o del HFC-365mfc. No obstante, en las directrices de presentación de informes de la CMCC se prevé la presentación de información sobre las emisiones de todos los gases de efecto invernadero respecto de los cuales existen valores del PCM determinados por el IPCC.

sustancias de vida corta que permanecen en la atmósfera durante sólo una parte de ese período, en comparación con la del CO₂, que continúa contribuyendo al forzamiento radiativo durante ese horizonte temporal de 100 años e incluso después. [2.5]

En el cuadro RT-3 se indican los valores del PCM directo. Estos valores fueron modificados en el Tercer Informe de Evaluación del IPCC (IPCC, 2001) con respecto a la evaluación anterior (IPCC, 1996)¹³, debido a los ajustes introducidos en la eficiencia radiativa del CO₂ y del tiempo de vida y la eficiencia radiativa de otras sustancias. Los nuevos valores del PCM de algunas sustancias que figuran en el presente informe se deben principalmente a que se han utilizado datos actualizados sobre el tiempo de vida de esas sustancias, como se describe en la sección 2.5.4. [2.5]

Los valores del PCM indirecto asociado al agotamiento del ozono causado por distintas SAO se indican en el cuadro RT-3. Habida cuenta de que, según las proyecciones, los efectos de enfriamiento indirectos causados por las SAO cesarán cuando se recupere la capa de ozono, la duración de estos efectos no depende solamente del tiempo de vida de las SAO, sino también del tiempo que tarde en recuperarse el ozono. Las estimaciones del PCM indirecto tienen en cuenta esa dependencia, asignando un valor de cero a todos los efectos indirectos a partir del momento en que se estima que el contenido efectivo equivalente de cloro estratosférico recuperará sus valores anteriores a 1980. Por lo tanto, el PCM indirecto depende del año de emisión y tiene incertidumbres importantes que surgen de: la incertidumbre en el forzamiento radiativo causado por el agotamiento del ozono, las incertidumbres en el contenido efectivo equivalente de cloro estratosférico que se atribuye a cada sustancia, y la incertidumbre en cuanto al momento en que ese contenido de cloro recuperará sus valores anteriores a 1980. [1.5 y 2.5]

Dado que existen grandes diferencias en el grado de comprensión científica e incertidumbres relativas vinculadas al forzamiento radiativo directo e indirecto de las SAO, la persistencia de los efectos que producen esas sustancias en el clima de la superficie y que los valores del PCM indirecto dependen del año de emisión, en el presente informe no se examina el uso de valores netos del PCM que combinen efectos directos e indirectos. Cuando se utilicen valores de PCM directo para las

emisiones de SAO o para formular valores de CO₂ equivalente, deberá reconocerse que existen también efectos indirectos que pueden adquirir una magnitud considerable en los próximos decenios. [1.2, 1.5, recuadro 1.4 y 2.5]

2.10 ¿Se prevé que los HCFC, los HFC o sus sustitutos tendrán otros efectos en la química ambiental en el futuro?

Se supone que las emisiones de gases orgánicos (incluidos los HCFC, HFC, PFC e hidrocarburos) y de amoníaco que se producirán como consecuencia de la sustitución de las SAO en los sistemas de refrigeración y aire acondicionado no tendrán repercusiones significativas a gran escala en la calidad del aire. Es posible estimar los efectos locales de los sustitutos de los hidrocarburos y del amoníaco comparando la emisión prevista con las emisiones locales provenientes de todas las fuentes. Podrían producirse efectos reducidos pero no insignificantes cerca de las fuentes de emisión localizadas, y ello podría ser motivo de preocupación, por ejemplo en las zonas donde no se cumplen actualmente las normas locales. [2.4 y 2.6]

Los productos persistentes de la degradación de los HFC y los HCFC (como el ácido trifluoroacético, TFA) se eliminan de la atmósfera mediante procesos de deposición y arrastre; el TFA es tóxico para algunas especies acuáticas en concentraciones cercanas a 1 mg L⁻¹. Sin embargo, a pesar de la degradación de algunas fuentes identificadas persiste la abundancia de TFA observada en los océanos, las aguas superficiales y la atmósfera, lo que indica que existen fuentes naturales más grandes de TFA. Según las observaciones actuales, la concentración habitual en los océanos es de alrededor de 0,2 µg L⁻¹, mientras que en el Mar Muerto y los lagos de Nevada se han observado concentraciones de hasta 40 µg L⁻¹, lo que sugiere algún tipo de vínculo con la química de la sal. Los cálculos que se basan en las emisiones proyectadas de HCFC y HFC indican que la concentración de TFA en el agua de lluvia como consecuencia de la degradación de esas sustancias puede llegar a ser de 0,1 µg L⁻¹ a 0,5 µg L⁻¹ en 2010. En consecuencia, los estudios actuales no respaldan la tesis de que el uso de halocarbonos puede provocar un aumento de la concentración de TFA hasta alcanzar un nivel tóxico de 1 mg L⁻¹ en determinados ecosistemas. [2.4]

¹³ IPCC, 1996: Cambio climático 1995: La ciencia del cambio climático. Contribución del Grupo de trabajo I al Segundo Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Houghton, J. T., L. G. Meira Filho, B. A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg y K. Maskell (editores)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, y Nueva York, NY, EE.UU., 572 págs.

3. Opciones para la eliminación gradual de las SAO y la reducción de las emisiones de GEI

3.1 ¿Dónde se producen las emisiones de GEI vinculadas al uso de SAO y sus sustitutos?

Las sustancias que agotan la capa de ozono (SAO) y sus sustitutos se utilizan actualmente en una amplia gama de productos y procesos. Muchas de estas sustancias (o subproductos liberados durante su fabricación) son gases de efecto invernadero (GEI) cuyas emisiones contribuirán al forzamiento positivo directo del clima. Las emisiones directas de GEI pueden producirse durante la fabricación de estas sustancias, durante su uso en productos y procesos, y al término de la vida útil de esos productos (véase el gráfico RT-1). Se entiende por depósitos la cantidad total de sustancias contenidas actualmente en los equipos, las reservas de productos químicos, las espumas y otros productos que aún no se han liberado en la atmósfera.

Las emisiones indirectas de GEI provenientes de aplicaciones de SAO y sus sustitutos son las vinculadas al consumo de energía (combustibles y electricidad) durante todo el ciclo de vida de una aplicación. Este efecto es diferente al del forzamiento radiativo negativo indirecto causado por las SAO, analizado en secciones anteriores.

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC) clasifica las emisiones antropógenas de todos los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal de acuerdo con sus fuentes, y su eliminación de acuerdo con los sumideros utilizados, mientras que el Protocolo de Kyoto de la CMCC reglamenta las emisiones de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), HFC, PFC y hexafluoruro de azufre (SF_6). Por su parte, el Protocolo de Montreal no controla la emisión sino más bien la producción y el consumo de SAO. Por lo tanto, las emisiones causadas por la liberación de los CFC y los HCFC presentes en los depósitos (como los equipos de refrigeración y las espumas) no están comprendidas dentro del Protocolo de Montreal, ni de la Convención Marco sobre el Cambio Climático, ni del Protocolo de Kyoto. Estas emisiones podrían contribuir en gran medida al calentamiento de la atmósfera mundial en el futuro.

3.2 ¿Cuál se proyecta que será la evolución de las emisiones y depósitos estimados en el período 2002-2015?

Depósitos y emisiones actuales

Los perfiles actuales de las emisiones de SAO y sus sustitutos están determinados en gran medida por las modalidades de uso

que predominaron anteriormente, y cuyo resultado ha sido una contribución relativamente alta (tanto en el presente como en los próximos decenios) de los CFC y los HCFC almacenados en equipos y espumas. En 2002, las emisiones anuales de CFC, HCFC, HFC y PFC¹⁴ fueron de aproximadamente 2,5 GtCO₂-eq año⁻¹ (véase el cuadro RT-4¹⁵, 16). La contribución de las aplicaciones del sector de la refrigeración, junto con la de los equipos fijos y móviles de aire acondicionado, representa la mayor parte de las emisiones mundiales directas de GEI. En 2002 aproximadamente el 80% de las emisiones fueron de CFC y HCFC.

Pueden producirse fugas de los depósitos almacenados en equipos y espumas, tanto durante la vida útil de los productos de los que forman parte como al término de ésta (a menos que se recuperen o destruyan). El tiempo de renovación de los depósitos varía considerablemente de una aplicación a otra: desde meses (como en el caso de los disolventes) a varios años (en las aplicaciones de refrigeración) o a más de medio siglo (en las espumas aislantes).

Se estima que el contenido de los depósitos de CFC, HCFC, HFC y PFC es de alrededor de 21 GtCO₂-eq (2002). Los CFC, HCFC y HFC aportan respectivamente 16, 4 y 1 GtCO₂-eq (véase el cuadro RT-5), mientras que los PFC usados en sustitución de las SAO sólo representan alrededor de 0,005 GtCO₂-eq. A menos que se adopten nuevas medidas de gestión, la acumulación de estas sustancias en aplicaciones (relativamente) nuevas de los HFC determinarán en gran medida las emisiones futuras (>2015).

Proyecciones para 2015 en un escenario sin cambios

En los capítulos correspondientes a los distintos sectores se han elaborado proyecciones para el caso de que todo siga igual ([escenario sin cambios](#); en inglés: “*business-as-usual*”) en lo que respecta al uso y las emisiones de CFC, HCFC, halones, HFC y algunos PFC (cuando se utilizan como sustitutos de SAO). Dichas proyecciones parten de la premisa de que se seguirán aplicando las medidas actualmente en vigor, incluido el Protocolo de Montreal (eliminación gradual) y las normas nacionales pertinentes. Las prácticas habituales y las tasas de emisión se mantienen sin cambios hasta 2015. Se supone que no aumentará la eficiencia de la recuperación al término de la vida útil de las aplicaciones. En el cuadro RT-6 se da una panorámica general de las hipótesis más importantes en que se basan las proyecciones para 2015 en un escenario sin cambios.

Se prevé que las actividades que dan origen a las emisiones de [fluorocarbonos](#) registrarán un crecimiento considerable entre 2002 y 2015. Esas actividades y servicios (como los de refrigeración, aire acondicionado y aislamiento) serán posibles gracias a una serie de tecnologías y sustancias, entre ellas los CFC

¹⁴ Estas cifras se refieren únicamente a las emisiones de HFC y PFC que se producen cuando éstos son utilizados como sustitutos de las SAO. Las emisiones totales de HFC, y en particular de PFC, son mayores debido a las emisiones que provienen de otras aplicaciones que escapan al alcance del presente informe (por ejemplo, las emisiones provenientes de la producción de aluminio y del sector de los semiconductores).

¹⁵ Las emisiones y depósitos de gases de efecto invernadero (GEI) expresados en términos de CO₂ equivalente se calculan utilizando el PCM correspondiente al forzamiento radiativo directo en un horizonte temporal de 100 años. A menos que se indique lo contrario, se usan los valores científicos más recientes del PCM, como se establecen en el presente informe y se detallan en el cuadro RT-3.

¹⁶ Los halones causan un forzamiento radiativo negativo indirecto mucho mayor que el forzamiento positivo directo, por lo que, en aras de una mayor claridad, no se han incluido sus efectos en las estimaciones del total de emisiones y depósitos expresadas en millones de toneladas de CO₂ equivalente (MtCO₂-eq).

Cuadro RT-4. Emisiones anuales calculadas como CO₂ equivalente (ponderadas en función del PCM) de los gases de efecto invernadero halones, CFC, HCFC y HFC y de los PFC que se usan como sustitutos de las SAO: desglose por grupo de GEI y por sector de emisiones. Datos históricos correspondientes a 2002 y proyecciones de las emisiones para 2015 según el escenario sin cambios y según el escenario de mitigación. El potencial de reducción es la diferencia entre las proyecciones del escenario sin cambios para 2015 y las del escenario de mitigación para el mismo año.

Nota: Se usaron los valores del PCM directo para un horizonte temporal de 100 años indicados por el IPCC (2001) y la OMM (2003) (que figuran en el cuadro RT-3). El "Total" puede no coincidir con la suma de las cifras parciales debido al redondeo.

2002									
Emisiones anuales (MtCO₂-eq año⁻¹)									
	Refrigeración^a	AC fijo^b	AC móvil^c	Espumas	Aerosoles de uso médico	Protección contra incendios	HFC-23 como subproducto	Otras^d	Total
Halones ^e	-	-	-	-	-	[47] ^e	-	-	[47] ^e
CFC	726	99	641	117	69	0	-	0	1 651
HCFC	232	164	15	32	-	0,1	-	6	447
HFC	102	9	93	3	6	1	195	25	434
PFC	0	0	0	0	-	0,1	-	1	1
Total^e	1 060	271	749	152	75	1	195	32	2 534
2015									
Emisiones anuales (MtCO₂-eq año⁻¹)									
Escenario sin cambios	Refrigeración	AC fijo	AC móvil	Espumas	Aerosoles de uso médico	Protección contra incendios	HFC-23 como subproducto	Otras	Total
Halones	-	-	-	-	-	[12] ^e	-	-	[12] ^e
CFC	136	50	49	85	17	0	-	0	338
HCFC	570	210	19	20	-	0,1	-	9	828
HFC	391	109	247	18	23	4	332	27	1 153
PFC	0	0	0	0	-	0,1	-	0,1	0,2
Total^e	1 097	370	315	124	40	5	332	37	2 319
2015									
Emisiones anuales (MtCO₂-eq año⁻¹)									
Escenario sin cambios	Refrigeración	AC fijo	AC móvil	Espumas	Aerosoles de uso médico	Protección contra incendios	HFC-23 como subproducto	Otras	Total
Halones	-	-	-	-	-	[12] ^e	-	-	[12] ^e
CFC	84	24	32	81	0	0	-	0	221
HCFC	359	86	12	17	-	0,1	-	9	484
HFC	164	60	92	9	26	4	33	27	416
PFC	0	0	0	0	-	0,1	-	0,1	0,2
Total^e	607	170	136	107	26	5	33	37	1 121
2015									
Potencial de reducción de emisiones (MtCO₂-eq año⁻¹)									
Potencial de reducción	Refrigeración	AC fijo	AC móvil	Espumas	Aerosoles de uso médico	Protección contra incendios	HFC-23 como subproducto	Otras	Total
Halones	-	-	-	-	-	n.c.	-	-	-
CFC	53	26	17	4	17	-	-	-	117
HCFC	210	124	7	3	-	n.c.	-	n.c.	344
HFC	227	49	155	10	-3	n.c.	299	n.c.	737
PFC	-	-	-	0	-	-	-	-	0
Total^e	490	200	179	17	14	n.c.	299	n.c.	1 198

Notas:

n.c. No cuantificado.

^a "Refrigeración" comprende los sistemas de refrigeración domésticos, comerciales e industriales (incluidos la elaboración y el almacenamiento refrigerado de alimentos) y el transporte refrigerado.

^b "AC fijo" (sistemas fijos de aire acondicionado) comprende el aire acondicionado y la calefacción para viviendas y locales comerciales.

^c "AC móvil" (sistemas móviles de aire acondicionado) se refiere a los equipos de aire acondicionado para automóviles, autobuses y cabinas de camiones.

^d "Otras" incluye las emisiones provenientes de los aerosoles no médicos y los disolventes.

^e Los halones causan un forzamiento radiativo negativo indirecto mucho mayor que el forzamiento radiativo positivo directo, por lo que, en aras de una mayor claridad, sus efectos no se incluyen en los totales y se indican entre corchetes en el cuadro.

Cuadro RT-5. Depósitos calculados en términos de CO₂ equivalente (ponderados en función del PCM) de los gases de efecto invernadero halones, CFC, HCFC y HFC y de los PFC que se usan como sustitutos de las SAO: desglose por grupo de GEI y por sector de emisiones. Datos históricos correspondientes a 2002 y proyecciones del escenario sin cambios y del escenario de mitigación para 2015. Nota: Se usaron los valores del PCM directo para un horizonte temporal de 100 años indicados por el IPCC (2001) y la OMM (2003) (que figuran en el cuadro RT-3). El “Total” puede no coincidir con la suma de las cifras parciales debido al redondeo.

2002		Depósitos (MtCO ₂ -eq año ⁻¹)						Total
	Refrigeración ^a	AC fijo ^b	AC móvil	Espumas	Aerosoles de uso médico ^f	Protección contra incendios	Otras ^{d,f}	
Halones ^e	-	-	-	-	-	[531] ^e	-	[531] ^e
CFC	3 423	631	1 600	10 026	69	0	0	15 749
HCFC	810	1 755	36	1 229	-	5	6	3 841
HFC	518	123	350	16	6	65	25	1 103
PFC	0	0	0	0	-	4	1	5
Total^c	4 751	2 509	1 987	11 270	75	74	32	20 698

2015		Depósitos (MtCO ₂ -eq año ⁻¹)						Total
Escenario sin cambios	Refrigeración	AC fijo	AC móvil	Espumas	Aerosoles de uso médico	Protección contra incendios	Otras	
Halones	-	-	-	-	-	[206] ^e	-	[206] ^e
CFC	653	208	138	7 286	17	0	0	8 302
HCFC	1 582	1 536	42	1 696	-	6	9	4 871
HFC	1 922	1 488	896	644	23	226	27	5 227
PFC	-	-	-	0	-	4	0,1	4
Total^c	4 157	3 232	1 076	9 626	40	236	37	18 404

2015		Depósitos (MtCO ₂ -eq año ⁻¹)						Total
Escenario de mitigación	Refrigeración	AC fijo	AC móvil	Espumas	Aerosoles de uso médico	Protección contra incendios	Otras	
Halones	-	-	-	-	-	[206] ^e	-	[206] ^e
CFC	627	208	138	7286	0	0	0	8 258
HCFC	1 466	1 134	41	1 696	-	6	9	4 352
HFC	1 455	1 586	712	494	26	226	27	4 527
PFC	-	-	-	0	-	4	0,1	4
Total^c	3 548	2 928	891	9 475	26	236	37	17 141

Notas:

^a “Refrigeración” comprende los sistemas de refrigeración domésticos, comerciales e industriales (incluidos la elaboración y el almacenamiento refrigerado de alimentos) y el transporte refrigerado.

^b “AC fijo” (sistemas fijos de aire acondicionado) comprende el aire acondicionado y la calefacción para viviendas y locales comerciales.

^c “AC móvil” (sistemas móviles de aire acondicionado) se refiere a los equipos de aire acondicionado para automóviles, autobuses y cabinas de camiones.

^d “Otras” incluye los depósitos de aerosoles no médicos y disolventes.

^e Los halones causan un forzamiento radiativo negativo indirecto mucho mayor que el forzamiento radiativo positivo directo, por lo que, en aras de una mayor claridad, sus efectos no se incluyen en los totales y se indican entre corchetes en el cuadro.

^f Se presume que las aplicaciones cuyo uso produce emisiones tienen depósitos equivalentes a sus emisiones anuales.

y los HCFC. En los países industrializados, el uso y las emisiones de CFC y HCFC irán decreciendo a medida que se retiren los equipos obsoletos en cumplimiento de las disposiciones del Protocolo de Montreal relativas a la eliminación gradual. En los países en desarrollo, es posible que se sigan produciendo HCFC hasta 2040, y se prevé que la producción tendrá un aumento significativo. Estos cambios y sus efectos se reflejan en los datos que figuran en el cuadro RT-4. [11.6]

La reducción de las emisiones de CFC no va acompañada de un incremento similar en las emisiones de HFC debido a que se mantienen las tendencias favorables a la aplicación de tecnologías sin HFC y al uso de sustitutos con un menor PCM. Además, y aunque esto no se tiene en cuenta en el escenario sin cambios, es probable que la recolección y la eliminación sin riesgos de sustancias emitidas en el pasado aumenten en relación con los HFC debido que estas sustancias están controladas por el

Cuadro RT-6. Hipótesis más importantes del escenario sin cambios y del escenario de mitigación.

Sector	Crecimiento anual del mercado 2002-2015 (en ambos escenarios: sin cambios y de mitigación) (% año ⁻¹)				Hipótesis de aplicación de las mejores prácticas								
Refrigeración AC fijo y AC móvil	EU % año ⁻¹	EE.UU. % año ⁻¹	Japón % año ⁻¹	PED ¹ % año ⁻¹	Tipo de reducción	UE		EE.UU.		Japón		PED ¹	
						Sin cambio	Mitigación	Sin cambio	Mitigación	Sin cambio	Mitigación	Sin cambio	Mitigación
Refrigeración doméstica	1	2,2	1,6	2-4,8	Sustancia	HFC-134a / HC-600a	HC-600a	HFC-134a	HFC-134a / HC-600a (50%)	HFC-134a	HC-600a	CFC-12 / HFC-134a	Más el HC-600a (50% en 2010)
					Recuperación	0%	80%	0%	80%	0%	80%	0%	50%
Refrigeración comercial	1,8	2,7	1,8	2,6-5,2	Sustancia	R-404A	R-404A / R-410A (50%)	HCFC-22 / R-404A	R-404A / R-410A (50%)	HCFC / R-404A	R-404A / R-410A (50%)	CFC / HCFC	R-404A / R-410A (50%)
					Recuperación	50%	90%	50%	90%	50%	90%	25%	30%
					Carga		-30%		-30%		-30%		-10%
Refrigeración industrial	1	1	1	3,6-4	Sustancia	HFC-NH ₃ (35%)	HFC-NH ₃ (70%)	HCFC / HFC-NH ₃ (60%)	HCFC / HFC-NH ₃ (80%)	HCFC / HFC-NH ₃ (35%)	HCFC / HFC-NH ₃ (70%)	CFC / HCFC-22	NH ₃ (40-70%)
					Recuperación	50%	90%	50%	90%	50%	90%	15-25%	50%
					Carga		-40%		-40%		-40%		-10%
Transporte refrigerado	2	3	1	3,3-5,2	Sustancia	HFC	HFC	HCFC / HFC	HCFC / HFC	HCFC / HFC	HCFC / HFC	CFC / HCFC-22	Más el HFC hasta 30%
					Recuperación	50%	80%	50%	70%	50%	70%	0%	20-30%
AC fijo	3,8	3	1	5,4-6	Sustancia	HFC	HFC	HCFC / HFC	HCFC / HFC	HCFC / HFC	HCFC / HFC	CFC / HCFC-22	CFC / HCFC-22 (HFC 30% en algunos PED)
					Recuperación	50%	80%	30%	80%	30%	80%	0%	50%
					Carga				-20%		-20%		

Cuadro RT-6. (continuación)

Sector	Crecimiento anual del mercado 2002-2015 (en ambos escenarios: sin cambios y de mitigación) (% año ⁻¹)				Hipótesis de aplicación de las mejores prácticas								
Refrigeración AC fijo y AC móvil	EU	EE.UU.	Japón	PED ¹	Tipo de reducción	UE		EE.UU.		Japón		PED ¹	
	% año ⁻¹	% año ⁻¹	% año ⁻¹	% año ⁻¹		Sin cambio	Mitigación	Sin cambio	Mitigación	Sin cambio	Mitigación	Sin cambio	Mitigación
AC móvil	4	4	1	6-8	Sustancia	HFC-134a/ CO ₂ (10%) en 2008	HFC-134a/ CO ₂ (50%) en 2008	HFC-134a	HFC-134a/ CO ₂ (30%) en 2008	HFC-134a	HFC-134a/ CO ₂ (30%) en 2008	CFC/ HFC-134a	CFC/ HFC-134a
					Recuperación	50%	80%	0%	70%	0%	70%	0%	50%
					Carga	700 g	500 g	900 g	700 g	750 g	500 g	750-900 g	750-900 g
Espuma	Aproximadamente 2% año ⁻¹				Sin cambio Mitigación	Hipótesis sobre el uso de sustancias (véase la sección 4.4. del presente Resumen técnico) Reducción del consumo de HFC: Disminución lineal del uso de HFC entre 2010 y 2015 que lleva a una reducción del 50% en 2015. Mejoras en la producción/instalación: Adopción de estrategias para reducir las emisiones derivadas de la producción de todos los bloques de espuma a partir de 2005 y de otros subsectores de espumas a partir de 2008. Opciones de medidas al término de la vida útil: Extensión de todas las medidas que se adoptan actualmente al término de la vida útil a todos los aparatos electrodomésticos y a todos los paneles con revestimiento de acero para 2010, junto con una tasa de recuperación del							
Aerosoles de uso médico	1,5–3% año ⁻¹				Sin cambios Mitigación	Eliminación parcial de los CFC Eliminación total de los CFC							
Protección contra incendios	-4,5 % año ⁻¹ (todas las sustancias) +0,4 % año ⁻¹ (HCFC/HFC/PFC)				Sin cambios Mitigación	Eliminación de los halones No cuantificable							
HFC-23 como subproducto	2,5% año ⁻¹				Sin cambios Mitigación	Emisiones de HFC-23 correspondientes a la capacidad de producción actual: 2% de la producción de HCFC-22 (en kt) Emisiones de HFC-23 correspondientes a la nueva capacidad de producción: 4% de la producción de HCFC-22 (en kt) 100% de implementación de las opciones de reducción (reducción del 90% de las emisiones)							
Aerosoles no médicos y disolventes	Período con 16% de aumento en el total de emisiones ponderadas en términos CO ₂ entre 2002 y 2015				Sin cambios Mitigación	Véase el texto del capítulo respectivo No cuantificable							

¹ PED: Países en desarrollo

Protocolo de Kyoto. El escenario sin cambios parte de la base de que se seguirán aplicando todas las medidas en vigor, mientras que el escenario de mitigación incorpora las mejoras que podrían ponerse en práctica si se aplicaran a nivel mundial las mejores prácticas de reducción de las emisiones que se conocen actualmente.

Las proyecciones del escenario sin cambios indican que la cantidad de material almacenado en depósitos disminuirá a 18 GtCO₂-eq en 2015. Se prevé que los depósitos de CFC almacenados en equipos de refrigeración y acondicionadores de aire fijos¹⁷ y móviles se reducirán de alrededor de 6 GtCO₂-eq en 2002 a 1 GtCO₂-eq en 2015, debido principalmente a su liberación en la atmósfera y en parte debido a la recuperación y destrucción de los equipos al término de su vida útil. Los depósitos de CFC almacenados en las espumas seguirán siendo importantes (aunque se reducirán de 10 a 7 GtCO₂-eq en el mismo período). Los depósitos de HCFC aumentarán de alrededor de 4 a 5 GtCO₂-eq, fundamentalmente como resultado del incremento proyectado en el uso del HCFC-22 en la refrigeración comercial. Los depósitos totales de HFC comenzarán a crecer hasta alcanzar las 5 GtCO₂-eq en 2015. Los HFC almacenados en espumas ascienden apenas a 0,6 GtCO₂-eq y las proyecciones indican que aumentarán aún más después de 2015. [11.4 y 11.6]

En el escenario sin cambios, las proyecciones indican que las emisiones directas totales de CFC, HCFC, HFC y PFC representarán alrededor de 2,3 GtCO₂-eq año⁻¹ en 2015 (en comparación con un valor aproximado de 2,5 GtCO₂-eq año⁻¹ en 2002). Las emisiones combinadas de CFC y HCFC están disminuyendo y pasarán de 2,1 (2002) a 1,2 GtCO₂-eq año⁻¹ (2015), mientras que las emisiones de HFC van en aumento y pasarán de 0,4 (2002) a 1,2 GtCO₂-eq año⁻¹ (2015)¹⁸. Las emisiones de PFC provenientes del uso de sustitutos de las SAO son de aproximadamente 0,001 GtCO₂-eq año⁻¹ (2002) y las proyecciones indican que disminuirán.

En el cuadro RT-4 puede verse la contribución relativa de los distintos sectores a las emisiones mundiales directas de GEI vinculadas al uso de SAO y sus sustitutos. Las aplicaciones del sector de la refrigeración, junto con los equipos fijos y móviles de aire acondicionado, son las causantes de la mayor parte de las emisiones directas mundiales de GEI (77% en 2015 en el escenario sin cambios), en consonancia con las tasas de emisión más altas que se asocian a los depósitos de refrigerantes. Se prevé que la mayor parte de las emisiones de GEI provenientes de las espumas ocurrirán después de 2015, ya que la mayoría de las liberaciones se producen al término de la vida útil. Las emisiones de HFC-23 como subproducto representan el 14% de todas las emisiones directas de GEI (escenario sin cambios, 2015).

Debido a las fugas de los depósitos de CFC que se liberan en la atmósfera, las emisiones de estos gases se reducirán de 1,7 (2002) a 0,3 GtCO₂-eq (2015). Las proyecciones indican que las emisiones de HCFC aumentarán de 0,4 (2002) a 0,8 GtCO₂-eq año⁻¹ (2015) debido a un marcado incremento de su uso en las

aplicaciones del sector de la refrigeración (comercial) y de los sistemas fijos de aire acondicionado. La triplicación proyectada de las emisiones de HFC es el resultado de una mayor aplicación de los HFC en los sectores de la refrigeración y los equipos fijos y móviles de aire acondicionado, y de las emisiones secundarias de HFC-23 derivadas de una mayor producción de HCFC-22. Según las proyecciones, la producción de HCFC-22 crecerá alrededor de un 40% en el período comprendido entre 2002 y 2015. [11.4 y 11.6]

La bibliografía no permite estimar las emisiones indirectas totales de GEI relacionadas con el consumo de energía. En las distintas aplicaciones, la importancia de las emisiones indirectas de GEI durante un ciclo de vida puede oscilar entre niveles altos y bajos, y en determinadas aplicaciones puede ser hasta de un orden de magnitud mayor que las emisiones directas. Ello depende en gran medida de las características del sector y del producto o aplicación de que se trate; de la cantidad de carbono necesaria para producir la electricidad utilizada o que se encuentre presente en los combustibles consumidos durante todo el ciclo de vida de la aplicación; del confinamiento durante el período de uso, y del tratamiento de las sustancias almacenadas al término de la vida útil de la aplicación. En el cuadro RT-7 se dan ejemplos extraídos de la bibliografía sobre la proporción que representan las emisiones directas en el total de las emisiones de GEI provenientes de las aplicaciones que utilizan HFC. En las aplicaciones que usan otras sustancias, esa proporción puede variar considerablemente. En particular, la generación pasada de equipos de refrigeración relativamente antiguos que aún existen y usan CFC puede representar una mayor proporción de las emisiones directas. [3.2, 4 y 5]

Proyecciones de los escenarios de mitigación para 2015

Las opciones de mitigación se identifican y describen en los capítulos correspondientes a cada sector. En la sección 4 de este Resumen técnico figura información más detallada sobre las oportunidades de reducción en cada sector. A un nivel más agregado, el potencial total de reducción sectorial de las emisiones para 2015 se determina en función del escenario sin cambios. Las estimaciones se basan en un escenario de mitigación, que parte de la hipótesis de que se aplican a nivel mundial las mejores prácticas en términos de uso, recuperación y destrucción de SAO y sus sustitutos. Las hipótesis que utiliza este escenario se describen en el cuadro RT-6, mientras que las emisiones de GEI en cada sector para 2015, de acuerdo con el escenario de mitigación, se indican en el cuadro RT-4.

Mediante la aplicación a nivel mundial de las mejores prácticas y métodos de recuperación que se conocen, es posible reducir las emisiones directas de GEI en alrededor de 1,2 GtCO₂-eq año⁻¹ para 2015, a diferencia de lo que ocurriría en un escenario sin cambios. Aproximadamente el 60% de ese potencial de reducción correspondería a la disminución de las emisiones de HFC, mientras que los HCFC y CFC representarían respectivamente el 30% y el 10%. Casi el 75% del potencial de reducción se concentra en los sectores de la refrigeración y los equipos fijos y móviles de aire acondicionado, y el 25% en la destruc-

¹⁷ En este Resumen técnico, el sector de la “refrigeración” abarca la refrigeración para viviendas y locales comerciales e industriales (incluyendo la elaboración y el almacenamiento refrigerado de alimentos) y el transporte refrigerado. [4] Los “equipos fijos de aire acondicionado” comprenden los equipos de aire acondicionado y calefacción para viviendas y locales comerciales. [5] La denominación de “equipos móviles de aire acondicionado” se aplica a los automóviles, los autobuses y las cabinas de los camiones.

¹⁸ Para calcular estos valores de las emisiones se usaron los valores científicos más recientes del PCM (véase el cuadro RT-3). Si se utilizaran los valores del PCM de la CMCC, las emisiones de HFC indicadas en los informes (expresadas en toneladas de CO₂ equivalente) serían un 15% menores.

Cuadro RT-7. Contribución porcentual de las emisiones directas al total de las emisiones de gases de efecto invernadero producidas durante toda la vida útil de diversas aplicaciones (emisiones asociadas a una unidad en funcionamiento) – algunos ejemplos indicativos de aplicaciones que usan HFC.

Sector de aplicaciones	Método aplicado	Porcentaje de emisiones de HFC del total de emisiones de gases de efecto invernadero durante la vida útil del sistema (usando valores del PCM para 100 años)	Caracterización de los sistemas y las hipótesis fundamentales
AC móvil	TEWI	40–60 % – Sistemas actuales (motor de gasolina) 50–70 % – Sistemas actuales (motor diesel)	Vehículos de pasajeros; HFC-134a Sevilla (España)
Refrigeración comercial	LCCP	20–50 % – Para una amplia gama de pruebas de sensibilidad respecto de la tasa de fugas, la eficiencia energética y el suministro de energía	Unidad de refrigeración de expansión directa; supermercado (1000 m ²); R-404A; Alemania
Refrigeración doméstica	TEWI	2–3 % – No hay recuperación al término de la vida útil	Refrigerador doméstico utilizado corrientemente en Europa; HFC-134a; promedio mundial de fuentes combinadas de energía eléctrica
Espuma aislante en refrigeradores domésticos	LCCP	6% – Recuperación del 90% del agente espumante al momento de la eliminación 17% – Recuperación del 50% del agente espumante al momento de la eliminación	HFC-24fa; Europa
Espuma aislante de poliuretano (PU) en camión refrigerado	LCCP	2% – Recuperación total del HFC al momento de la eliminación 13% – No se recupera el HFC al momento de la eliminación	Camión refrigerado con motor diesel; Alemania
Espuma de PU proyectada en techos térmicos planos de instalaciones industriales	LCA	13% – Recuperación total del HFC al momento de la eliminación 20% – No se recupera el HFC al momento de la eliminación	4 cm de espesor; HFC-365mfc; Alemania
Planchas de PU en paredes dobles con cámara de aire en edificios privados	LCA	4% – Recuperación total del HFC al momento de la eliminación 17% – No se recupera el HFC al momento de la eliminación	5 cm de espesor; HFC-365mfc; Alemania
Planchas de PU en techos térmicos inclinados de edificios privados	LCA	10% – Recuperación total del HFC al momento de la eliminación 33% – No se recupera el HFC al momento de la eliminación	10 cm de espesor; HFC-365mfc; Alemania

ción de las emisiones secundarias de HFC-23 derivadas de la producción de HCFC-22. Esta última opción representa alrededor del 40% del potencial de reducción de los HFC. [11.6]

De las emisiones relacionadas con depósitos que pueden evitarse en el período anterior a 2015, la mayor parte proviene de las aplicaciones que utilizan refrigerantes, cuyas tasas de emisión en un escenario sin cambios son considerablemente más altas que las de las espumas en el mismo período. La adopción de medidas en forma más inmediata puede permitir rescatar una mayor cantidad de CFC almacenados en depósitos.

La mayor parte de las emisiones indirectas de GEI relacionadas con la energía se producen durante el período de uso de las aplicaciones y, en muchos casos, el aumento de la eficiencia energética puede dar lugar a reducciones importantes en las

emisiones de GEI, sobre todo cuando el período de uso es prolongado. Todo aumento de la eficiencia puede ser rentable y bajar los costos netos de las opciones de reducción de las emisiones, aunque también en este caso el potencial de reducción depende en gran medida de las circunstancias concretas. Si bien la bibliografía consultada no permite hacer una estimación de este potencial de reducción a nivel mundial, hay varios estudios de casos específicos de tecnologías y países que ilustran este punto.

Incertidumbres

Las incertidumbres en las proyecciones de las emisiones son considerables. Si se comparan las mediciones atmosféricas con los cálculos de los inventarios, se observan diferencias del orden del 10 al 25% entre los distintos grupos de sustancias (CFC,

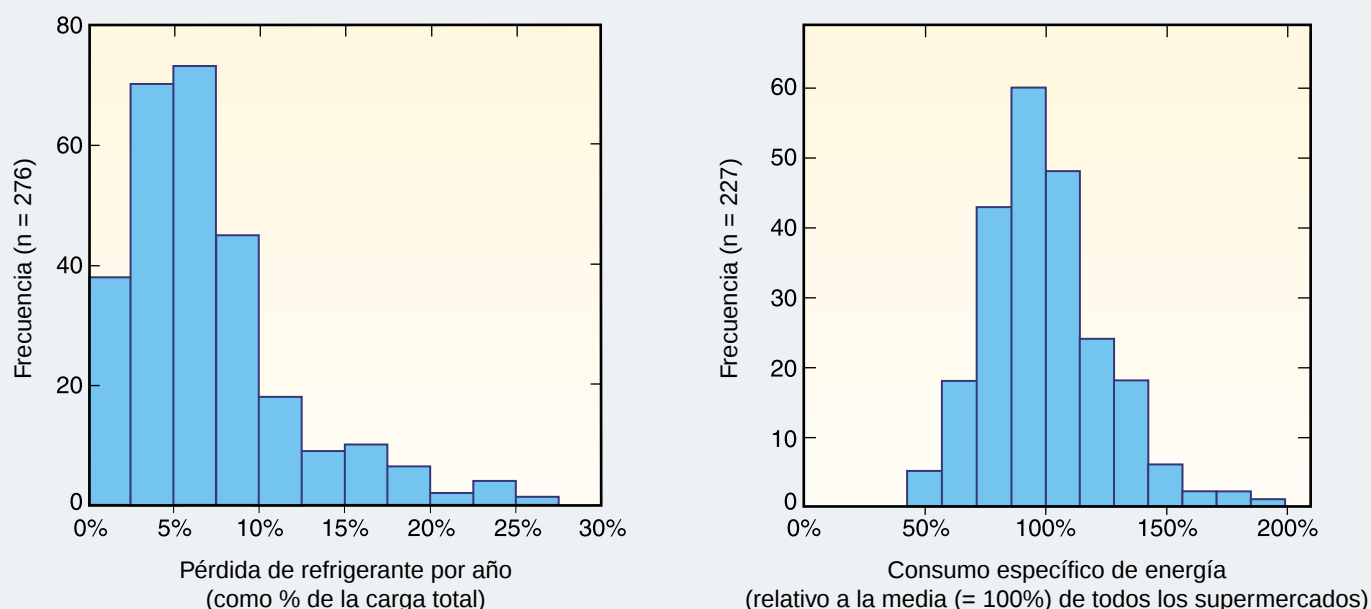


Gráfico RT-10. Varianza de las emisiones directas e indirectas para distintas cantidades de equipos. Tasas anuales de fugas de los sistemas móviles de aire acondicionado de una flota de vehículos para pasajeros (sector izquierdo, n=276). Los consumos específicos de energía se expresan como porcentaje de la media correspondiente a un grupo de aparatos de refrigeración de diseño corriente en supermercados (sector derecho, n=227).

HCFC, HFC y PFC). Estas diferencias, que pueden ser mucho mayores si se considera cada gas individualmente, se deben a las emisiones provenientes de aplicaciones no identificadas de algunas sustancias (por ejemplo, CFC-11, HCFC-141b, HCFC-142b) que no se tienen en cuenta en los cálculos de los inventarios, y a las incertidumbres en las series de datos desglosados por región geográfica sobre los equipos en uso. [11.3.4]

3.3 ¿Cuáles son las opciones disponibles para reducir las emisiones de GEI?

En general, las opciones técnicas para reducir las emisiones directas de GEI pueden ponerse en práctica mediante:

- un mejor confinamiento de las sustancias;
- la reducción de la carga de sustancias en los equipos y productos;
- la recuperación y el reciclado o la destrucción de las sustancias al término de la vida útil;
- un mayor uso de sustancias alternativas con un potencial reducido o insignificante de calentamiento mundial;
- [tecnologías que no dependen del uso de fluorocarbonos](#).

La reducción de las emisiones indirectas de GEI puede lograrse aumentando la eficiencia energética de los productos y procesos (y reduciendo las emisiones de GEI específicas del sistema de energía). Para determinar cuál es la opción tecnológica que ofrece las mayores posibilidades de reducción de las emisiones de GEI, es necesario evaluar tanto las emisiones directas como

las indirectas. La comparación de opciones tecnológicas no es una tarea sencilla, ya que incluso en una misma aplicación tecnológica puede haber grandes variaciones en las emisiones directas e indirectas. En el gráfico RT-10 puede verse la distribución de las emisiones directas provenientes de los equipos de aire acondicionado instalados en una flota de automóviles de pasajeros, y de las emisiones indirectas relacionadas con la energía provenientes de refrigeradores de supermercados. Las gráficas muestran que aun en una misma clase tecnológica suelen existir grandes diferencias en cuanto al potencial de reducción de las emisiones directas y/o indirectas. Una vigilancia adecuada, el establecimiento de parámetros de referencia y la comprensión del funcionamiento del sistema serán el primer paso fundamental para facilitar la reducción de las emisiones en el corto y mediano plazo. Sin embargo, a fin de lograr reducciones importantes de las emisiones en el largo plazo, es preciso elegir entre las diversas tecnologías establecidas y, en consecuencia, prepararse e informarse mediante instrumentos de evaluación ambiental normalizados.

3.4 ¿Cuáles son los instrumentos de evaluación que pueden brindar información sobre las posibles opciones tecnológicas?

La protección de la capa de ozono estratosférico y del clima exige seleccionar tecnologías que tengan efectos diferentes en

el clima, la salud, la seguridad y otros factores que resultan afectados por el medio ambiente, así como en sus costos privados y sociales. El análisis de los diversos efectos puede ayudar a los responsables de la adopción de decisiones a elegir entre las distintas tecnologías de sustitución que compiten entre sí. Sin embargo, los resultados de estos análisis pueden variar dependiendo de cuáles de los numerosos factores no intrínsecos a esas tecnologías se tomen en cuenta; esos factores son, entre otros, el método analítico (descendente o ascendente), el grado de optimización de los productos o procesos, las prácticas de mantenimiento y eliminación, las circunstancias regionales y un sinnúmero de otros elementos e hipótesis. Por lo tanto, para elegir de manera inteligente, los responsables de la adopción de decisiones deben conocer los aspectos vulnerables, las incertidumbres y las limitaciones inherentes a cada tipo de análisis y deben además ser capaces de evaluar si el método y las hipótesis utilizados en un determinado análisis son razonables para las regiones y los períodos en los que se aplicarían las posibles tecnologías.

Para hacer frente a estos desafíos es necesario contar con metodologías reconocidas y claramente definidas. En este informe se ofrece una sinopsis de los distintos tipos de análisis y se proporciona orientación concisa sobre la forma de evaluarlos y aplicarlos. Se examinan los métodos analíticos y las variables más importantes de cada tipo de análisis, así como sus aspectos vulnerables, incertidumbres y limitaciones.

Toda evaluación que se haga de las opciones técnicas para reducir los efectos de las emisiones implica a su vez la evaluación de múltiples factores. Entre ellos cabe mencionar la influencia de las emisiones directas e indirectas en el forzamiento radiativo, los costos, la salud y la seguridad y el impacto ambiental correspondiente a cada aplicación y compuesto; las prácticas de mantenimiento o diseño que puedan reducir las posibles fugas, y los efectos de la recuperación y el reciclado. Estos factores pueden estar sujetos a grandes incertidumbres y difieren de una aplicación a otra y de una región a otra. También es necesario considerar los factores no técnicos, como los diversos sistemas reglamentarios y de gestión que existen en distintas partes del mundo, la disponibilidad de infraestructura, la financiación de inversiones y factores históricos. En muchos casos sólo se dispone de información incompleta sobre estos factores, lo que limita el alcance de la evaluación.

En el presente informe se examinan las emisiones directas de halocarbonos relacionadas con su producción, uso y puesta fuera de servicio, así como las emisiones indirectas vinculadas a necesidades energéticas. Todas ellas se cuantifican, y los costos asociados a su reducción se evalúan de acuerdo con las metodologías que aquí se presentan. Para poder hacer una evaluación exhaustiva no sólo se deben cuantificar los costos privados, sino que también es preciso tener en cuenta los costos externos que no paga el sector privado pero que representan una carga para la sociedad.

El capítulo sobre metodologías del presente informe (capítulo 3) tiene por objeto describir los procedimientos que pueden utilizarse para cuantificar tanto las emisiones de SAO como las de GEI y los costos de su reducción. Existe una amplia gama de instrumentos de evaluación, desde los que se basan en

procedimientos reconocidos aplicables a nivel mundial, hasta los que se definen con vaguedad y no se aplican de manera uniforme. En el cuadro RT-8 se describen a grandes rasgos las metodologías que se han considerado aplicables a los fines del presente informe.

Al evaluar los efectos en el medio ambiente y el cambio climático, los responsables de la adopción de decisiones prefieren tener un panorama amplio de todos los aspectos ambientales pertinentes. Sin embargo, a veces resulta difícil cuantificar la información que no se refiere a las emisiones directas o indirectas de GEI. En consecuencia, criterios tales como el [efecto de calentamiento total equivalente](#) (TEWI por su sigla en inglés, una medida de las emisiones de GEI durante el período de uso y la eliminación) y la [repercusión climática durante el ciclo de vida](#) (LCCP por su sigla en inglés, que también incluye las emisiones directas de GEI durante los procesos de fabricación y las emisiones indirectas vinculadas a la energía incorporada en las sustancias de interés), tienen más valor práctico que otras metodologías más amplias, como la [evaluación del ciclo de vida](#) (LCA), la carga para el medio ambiente y otras. Es importante destacar que no existe un fundamento establecido científicamente para reducir los resultados de efectos múltiples (como en el LCA) a un único puntaje o cifra total.

Anteriormente se prestaba poca atención a asegurar la comparabilidad de los resultados de las evaluaciones de diversas tecnologías. Existe una amplia gama de resultados de evaluaciones diferentes de los efectos de los GEI que a menudo no son comparables. El tratamiento de las incertidumbres suele ser incompleto, y las recomendaciones resultantes no son lo suficientemente sólidas como para hacer comparaciones entre sectores. A la luz de las numerosas hipótesis y metodologías existentes, se ha llegado a la conclusión de que es importante comparar las diversas metodologías en condiciones previamente acordadas y usando un conjunto de métodos e hipótesis comunes. Se recomienda diseñar metodologías uniformes sencillas y pragmáticas y sus respectivos criterios de calidad. En el futuro será necesario seguir trabajando para cerrar la brecha existente entre la aplicación de comparaciones específicas y resultados que sean lo suficientemente sólidos como para utilizarlos en el diseño de políticas aplicables a subsectores enteros.

Para el análisis de las emisiones sectoriales y mundiales y de los potenciales de reducción de las emisiones se utilizan grandes bases de datos sobre la cantidad de equipos existentes y las distribuciones de otros productos, que abarcan datos obtenidos sobre el terreno en relación con las emisiones de sustancias y el consumo de energía. Lo ideal sería que estas bases de datos fueran coherentes y compatibles con los inventarios nacionales de emisiones de GEI. Será necesario que se proporcione información sobre las ventas de fluidos realizadas a las distintas partes involucradas en el subsector. La ampliación de estas series de datos bastante completas en apoyo de la formulación de políticas sectoriales sólidas requiere un volumen considerable de recursos y resultados en relación con cuestiones confidenciales que deben analizarse con cautela. Para lograr la aceptabilidad en todos los subsectores con respecto a los acontecimientos futuros, los responsables de la adopción de decisiones podrían considerar especialmente la posibilidad de incrementar la participación de los actores interesados e

Cuadro RT-8. Sinopsis de las metodologías de evaluación examinadas en este informe.

Metodología para evaluar	Sinopsis
Emisiones directas	
Producción	1) Identificación de todas las necesidades de materias primas y de las etapas de los procesos químicos necesarios para transformar la materia prima en sustancias intermediarias y en el producto final. 2) Contabilización de todas las emisiones que se producen en cada una de las etapas, mediante mediciones y/o modelización.
Uso	1) Mediciones para estimar las pérdidas de fluidos durante la vida útil de los equipos, con las emisiones directas que se generan. 2) Las pérdidas ocurridas durante el transporte y la distribución se incluyen como emisiones directas derivadas del uso.
Puesta fuera de servicio	1) Las emisiones se contabilizan sobre la base del destino final de los productos. 2) Si no hay recuperación, se presume que todos los fluidos no recuperados producen emisiones directas. 3) Si se recuperan, también se pueden producir emisiones durante el tratamiento ulterior de los fluidos.
Emisiones indirectas	
Producción	1) Modelización y/o medición de la energía incorporada en los equipos utilizados para obtener la materia prima, someterla a un tratamiento previo y luego transformarla en el producto final en las plantas. 2) Modelización y/o medición del total de energía consumida para producir una unidad de un determinado fluido a partir de la materia prima. 3) Establecimiento de una relación entre el consumo de energía y la emisión de GEI sobre la base de datos específicos de una región o de un país.
Uso	1) Evaluación del consumo de energía durante la vida útil de los equipos. a) Aplicaciones de refrigeración, aire acondicionado y calefacción: modelización y/o medición de la energía consumida por los equipos. b) Espumas aislantes: b1) modelización de la compensación del espesor y/o b2) medición de la energía consumida por la aplicación utilizada como referencia y por la aplicación con espuma aislante. 2) Establecimiento de una relación entre el consumo de energía y la emisión de GEI sobre la base de datos específicos de una región o de un país.
Puesta fuera de servicio	1) Consumo de energía necesario para reciclar o destruir un producto al término de su vida útil. 2) Establecimiento de una relación entre el consumo de energía y la emisión de GEI sobre la base de datos específicos de una región o de un país.
Costos	
Costos privados	Los costos se calculan sobre la base de los conocimientos especializados de las empresas privadas, y abarcan principalmente costos de capital, mano de obra, tierra, materiales, mantenimiento y administración.
Costos sociales	Costos que se suelen trasladar a la sociedad, como la contaminación del aire y el agua, y que están vinculados a la producción de bienes por el sector privado. Los costos se estiman mediante la cuantificación de los beneficios y los perjuicios generados por el producto final.
Tasas de descuento	Se usan para tener en cuenta una distribución temporal diferente de los costos en que se incurra. El valor actual o el costo nivelado se evalúan tomando en consideración la tasa de descuento social o del mercado para los costos sociales o privados, respectivamente.
Desarrollo sostenible	Cuantificación, o por lo menos calificación, de los efectos positivos y negativos causados en el bienestar de una sociedad por los cambios en la producción y el uso de fluidos.
Salud y seguridad	
Salud y seguridad	1) Centre la atención en la evaluación de los riesgos de las sustancias químicas y luego reduzca al mínimo los efectos negativos en la salud y la seguridad mediante una gestión de los riesgos de los sistemas. 2) Para las sustancias pertinentes use las referencias a las bases de datos y fuentes de datos existentes.
Efectos en el medio ambiente	
TEWI (efecto de calentamiento total equivalente) – Contabiliza los GEI provenientes de las emisiones directas de los fluidos de funcionamiento, así como el CO ₂ relacionado con la energía	$TEWI = \sum (a_i \cdot b_i + a_i \cdot c_i) + d$ a_i = PCM del gas i emitido; b_i = masa del gas i liberado durante la vida útil de funcionamiento del sistema; c_i = masa del gas i que se libera cuando el sistema es puesto fuera de servicio al término de su vida útil; d = emisión de CO ₂ resultante de la energía utilizada para hacer funcionar el sistema (durante toda su vida útil).
LCCP (repercusión climática durante el ciclo de vida) – Tiene en cuenta los factores del TEWI más las emisiones fugitivas que se producen durante la fabricación (de los fluidos de funcionamiento únicamente) y el CO ₂ asociado a la energía incorporada.	$LCCP = TEWI \text{ (valor calculado como se describió supra)} + \sum x_i \cdot y_i + z$ x_i = PCM del gas i emitido durante la fabricación del fluido; y_i = masa del gas i liberada durante la fabricación del fluido; z = energía incorporada en todo el material utilizado para la fabricación del fluido (la energía específica utilizada para fabricar una unidad de masa de cada material multiplicada por la masa total emitida) expresada en CO ₂ -eq.
LCA (evaluación del ciclo de vida) – Describe los efectos en el medio ambiente de los sistemas de los productos, desde la materia prima hasta la eliminación final	1) Describa el sistema en términos de sus procesos unitarios y sus interrelaciones. 2) Compile un inventario de los insumos y productos pertinentes de cada proceso unitario y de los sistemas relacionados con esos insumos y productos (análisis del inventario del ciclo de vida). 3) Evalúe los posibles efectos de esos insumos y productos en el medio ambiente. Las categorías más notorias de impactos ambientales son el cambio climático y el agotamiento del ozono, pero pueden ser importantes algunas categorías ambientales o todas.

introducir medidas adicionales para aumentar la transparencia frente a los usuarios externos mediante una documentación más detallada de los métodos e hipótesis utilizados.

3.5 ¿En qué consisten las diferencias regionales?

La diferencia en el grado de desarrollo económico es un factor muy importante que explica las diferencias regionales que se reflejan en las evaluaciones. Las hipótesis fundamentales sobre los indicadores de desempeño técnico, como el tiempo de vida útil de los equipos y el costo de funcionamiento de los equipos y productos, muestran grandes diferencias entre los países desarrollados y los países en desarrollo que parecen estar relacionadas con el costo del capital.

En los países en desarrollo se suelen tener en cuenta los costos privados tradicionales, mientras que rara vez se consideran otros costos privados ocultos (como los derivados de las actividades de investigación y desarrollo, la capacitación y la responsabilidad ambiental). Por lo general, los costos externos no se reflejan debidamente porque no es habitual que existan normas que regulen las externalidades y la población no está informada al respecto. Las reglamentaciones locales en materia de salud y seguridad suelen tomarse en cuenta debido a la existencia y aplicación efectiva de leyes laborales en la mayoría de los países en desarrollo.

También pueden observarse diferencias importantes entre los países desarrollados y en desarrollo en cuanto al grado de incertidumbre de sus estimaciones de las emisiones (tanto directas como indirectas), las que a su vez se utilizan para análisis posteriores. En el caso de las emisiones directas, se han logrado ciertos avances en la difusión de las metodologías de preparación de los inventarios de emisiones gracias a las inversiones realizadas por el Fondo Multilateral del Protocolo de Montreal en los países en desarrollo. No obstante, las incertidumbres son por lo general importantes, tanto en los países desarrollados como en desarrollo. La necesidad de mejorar la cuantificación de las emisiones indirectas de GEI, que son

considerables en relación con las emisiones totales de GEI, sigue siendo un desafío para todos los países. Las dificultades se centran en torno a aspectos como la disponibilidad de datos sobre el consumo de energía, la determinación del contenido de carbono en la energía consumida y la estimación de las emisiones de GEI vinculadas a la energía incorporada en los insumos de producción. Estos desafíos muestran la necesidad de aunar esfuerzos a nivel mundial para proporcionar a los responsables de la adopción de decisiones la información necesaria para que tomen decisiones en apoyo de las políticas mundiales relativas a la capa de ozono y el clima.

A las dificultades mencionadas se suma el hecho de que se necesitan datos diferentes sobre cada una de las tecnologías que causan emisiones directas o indirectas para poder determinar sus efectos en el clima y la capa de ozono. Esta situación plantea problemas de capacidad, normas, políticas y reglamentación, para los cuales los países desarrollados han establecido marcos de respuesta más adecuados, pero no exhaustivos. Como se recomienda en el informe, esto pone de relieve la necesidad de diseñar metodologías uniformes y sencillas y sus respectivos criterios de calidad. [3.6]

3.6 ¿Cuáles son las oportunidades más importantes que se han identificado para reducir las emisiones de GEI vinculadas al uso de SAO y sus sustitutos y las emisiones indirectas conexas?

En el cuadro RT-4 se cuantifican las principales oportunidades para reducir las emisiones directas por sector y por grupo de sustancias. En el cuadro RT-9 se resumen las características de cada sector y las oportunidades específicas de mitigación. En la sección 4 de este Resumen técnico se analizan en mayor detalle las oportunidades de reducción de las emisiones de GEI.

Cuadro RT-9. Sinopsis de las conclusiones por sector y por aplicación.

Sector	Descripción y situación del sector	Situación de las emisiones y tendencias y oportunidades de reducción de las emisiones en un escenario sin cambios
Refrigeración doméstica	El proceso de sustitución del CFC-12 en el sector manufacturero ha concluido en los países desarrollados y está avanzando en los países en desarrollo.	<u>Situación de las emisiones y tendencias en un escenario sin cambios</u> - Las tasas de fuga de refrigerantes derivadas por el método ascendente sugieren una tasa mundial anual de emisiones del 6% de la carga acumulada en los sistemas, causadas por los cuantiosos depósitos de CFC acumulados en equipos antiguos. Los sistemas nuevos que no usan CFC tienen por lo general una tasa de fuga de aproximadamente 1% año⁻¹. - Las emisiones proyectadas para 2015 en este subsector son de alrededor de 65 MtCO₂-eq año⁻¹ en un escenario sin cambios. <u>Oportunidades de reducción de las emisiones</u> - El HFC-134a y el isobutano (HC-600a) son las principales alternativas para sustituir al refrigerante CFC-12 que se usaba anteriormente. Ambos han demostrado una capacidad de producción en masa que garantiza un uso seguro, eficiente, fiable y económico. La elección del HFC-134a o el HC-600a varía según la región y depende en gran medida del entorno reglamentario y de la responsabilidad legal. - En ambos refrigerantes, las emisiones indirectas predominan en el total de las emisiones, casi sin necesidad de tener en cuenta la cantidad de carbono consumida para generar la energía eléctrica. A igual eficiencia energética, los refrigeradores domésticos que usan HC-600a tienen un mejor índice de LCCP, con recuperación al término de la vida útil o sin ella. La diferencia con el HFC-134a es pequeña, y la recuperación al término de la vida útil puede reducir aún más la magnitud de la diferencia. - Los productos de refrigeración más modernos son por lo menos un 50% más eficientes desde el punto de vista energético que las unidades con 20 años de antigüedad a las que suelen reemplazar.
Refrigeración comercial	- La refrigeración comercial comprende tres tipos principales de equipos: equipos autónomos, unidades de condensación y sistemas completos de supermercados. - Los refrigerantes más usados en este sector son el HCFC-22, el R-404A y el HFC-134a.	<u>Situación de las emisiones y tendencias en un escenario sin cambios</u> - Las tasas de fuga de refrigerantes derivadas por el método ascendente sugieren una tasa mundial anual de emisiones del 30% de la carga acumulada en los sistemas, lo que significa que las emisiones de refrigerantes representan normalmente el 60% del total de las emisiones de GEI resultantes del funcionamiento de los sistemas. - Según datos obtenidos sobre más de 1 700 sistemas completos de supermercados en los Estados Unidos y Europa, las tasas de fuga de refrigerantes oscilaban entre 3 y 22%, con un promedio de 18%. - En 2002, todos los tipos de refrigerantes acumulados en equipos de refrigeración comercial –principalmente CFC, HCFC y HFC– representaban 606 kt de un total de 2 691 kt de refrigerantes de todo tipo acumulados en todos los sistemas de refrigeración y aire acondicionado, que es el 22,5% del depósito total acumulado en el sector de la refrigeración y el aire acondicionado. - El volumen proyectado de emisiones para 2015 en este subsector es de aproximadamente 902 MtCO₂-eq año⁻¹ en un escenario sin cambios. <u>Oportunidades de reducción de las emisiones</u> - Es posible lograr reducciones importantes del total de las emisiones, es decir, un mejor índice de LCCP, si se usan HFC, hidrocarburos, amoníaco o CO₂ como refrigerantes, se reduce la carga, se incrementa la eficiencia del confinamiento y se aumenta la eficiencia energética en general con nuevos diseños de los sistemas. - En los sistemas completos de supermercados, se pueden obtener valores de LCCP hasta un 60% más bajos que en los sistemas directos centralizados de diseño tradicional si se aplican sistemas directos que usen otros refrigerantes diferentes, un mejor confinamiento, sistemas distribuidos, sistemas indirectos o sistemas en cascada. Los resultados publicados muestran que las alternativas tienen un costo inicial entre 0 y 35% más alto que los sistemas actuales y que consumen entre 0 y 20% más energía que éstos. - Se estimó que el costo de reducir las emisiones oscilaba entre US\$ 20 y US\$ 280 por tCO₂-eq (con una tasa de descuento de 10% año⁻¹). Se sigue trabajando en el desarrollo de nuevos sistemas para reducir el costo y el consumo de energía. Esto permitirá bajar aún más los costos de reducción. Si se tiene en cuenta un posible aumento de la eficiencia energética, también es posible que los costos de reducción lleguen a ser negativos (ahorros). - En el caso de las unidades comerciales pequeñas, en particular los equipos autónomos y las unidades de condensación (máquinas expendedoras, congeladores para helados, cámaras frigoríficas, etc.), las empresas internacionales han comenzado a utilizar sustancias sustitutivas de los HFC (hidrocarburos y CO₂) con un PCA reducido o nulo, así como tecnologías alternativas, que prometen reducir tanto las emisiones directas como las emisiones indirectas con niveles comparables o inferiores.

Cuadro RT-9. (continuación)

Sector	Descripción y situación del sector	Situación de las emisiones y tendencias y oportunidades de reducción de las emisiones en un escenario sin cambios
Elaboración y almacenamiento refrigerado de alimentos y refrigeración industrial	- Este amplio sector comprende los equipos de refrigeración para elaboración y almacenamiento de alimentos congelados y refrigerados, más las aplicaciones industriales en las industrias químicas, del petróleo y del gas, la licuefacción de aire y la fabricación de hielo en instalaciones de recreación. - Los refrigerantes más utilizados en este sector son el amoníaco y el HCFC-22, con pequeñas cantidades de CFC y HFC; los hidrocarburos se usan en la industria petroquímica.	<u>Situación de las emisiones y tendencias en un escenario sin cambios</u> - En 2002, todos los tipos de refrigerantes acumulados en depósitos en este sector alcanzaban un volumen de 298 kt (35% de amoníaco y 43% de HCFC-22). Las emisiones anuales provenientes de los refrigerantes representaban el 17% de la carga acumulada en los sistemas. - Las emisiones proyectadas en este subsector para 2015 son de alrededor de 104 MtCO₂-eq año⁻¹ en un escenario sin cambios. <u>Oportunidades de reducción de las emisiones</u> - Se ha pronosticado que el uso del amoníaco aumentará en el futuro, y que los HFC 404A, 507A, 410A y 134a sustituirán al HCFC-22 y al CFC. Se está empezando a utilizar CO₂ y sistemas de amoníaco y CO₂ en cascada en aplicaciones que tienen temperaturas de evaporación de -40°C y menos. - Es posible lograr reducciones importantes del total de las emisiones si se usan refrigerantes con un menor PCM, se reduce la carga de refrigerantes en los sistemas, se aumenta la eficiencia del confinamiento, se mejora la recuperación de los refrigerantes y se aumenta la eficiencia energética en general y de los refrigerantes en particular con nuevos diseños de los sistemas. Se usan cálculos del índice de LCCP para optimizar la elección de los refrigerantes y el diseño de los sistemas con el fin de reducir al mínimo el impacto ambiental. - Se ha determinado que el costo de reducir las emisiones provenientes de los refrigerantes en el sector de la refrigeración industrial oscila entre US\$ 27 y US\$ 37 US\$ (2002) por tCO₂-eq (tasa de descuento de 8% año⁻¹).
Transporte refrigerado	- El sector del transporte refrigerado abarca los sistemas utilizados para transportar productos refrigerados o congelados por carretera, ferrocarril, mar y aire. Los refrigerantes utilizados por los sistemas actuales son el CFC-12, el R-502 (una mezcla de CFC y HCFC), el HCFC-22, los HFC (HFC-134a, R-404A, R-507A, R-410A y R-407C) y pequeñas cantidades de amoníaco, hidrocarburos y CO₂ en los sistemas de compresión de vapor. En este sector se utiliza también el CO₂ en forma de hielo y líquido o sólido para la refrigeración. - Se usan varios tipos de configuraciones de refrigeración, como los sistemas a bordo de buques, contenedores con equipos individuales de refrigeración que pueden transportarse por mar, ferrocarril o carretera, y camiones y vagones refrigerados. La refrigeración en el transporte aéreo usa principalmente CO₂ en forma de hielo o sólido.	<u>Situación de las emisiones y tendencias en un escenario sin cambios</u> - Como consecuencia de la relativa inclemencia de las condiciones ambientales de funcionamiento, como la exposición a temperaturas altas o bajas a la intemperie, alto porcentaje de humedad, corrosión por el agua salada, vibraciones de la carretera y golpes durante el movimiento de los contenedores, las tasas de fuga de refrigerantes fueron de entre 25% y 35% año⁻¹. - Las emisiones proyectadas para 2015 en este subsector son de alrededor de 22 MtCO₂-eq año⁻¹ en un escenario sin cambios. <u>Oportunidades de reducción de las emisiones</u> - Un mejor confinamiento de los refrigerantes mediante un diseño más adecuado de los sistemas. Un ejemplo de esto es la reciente aplicación de sistemas de compresores herméticos con bajas tasas de fuga a los equipos de refrigeración para medios de transporte por carretera y contenedores. - Un menor consumo de energía gracias al mejoramiento del aislamiento, el control de la frecuencia del motor de los compresores en condiciones de carga parcial, condensadores enfriados con agua para los sistemas a bordo de buques y mantenimiento preventivo para disminuir la acumulación de impurezas en los intercambiadores de calor. - Uso de refrigerantes con un menor PCM, como los sistemas de refrigeración para buques que usan amoníaco o amoníaco con CO₂, y los sistemas de compresión de vapor con hidrocarburos o CO₂ para refrigerar medios de transporte por carretera y ferrocarril y contenedores. Las ventajas de estos refrigerantes en comparación con los sistemas con fluorocarbonos son, entre otras, las condiciones de seguridad que ofrecen, los costos de la eficiencia energética y el grado de comercialización. Los sistemas que usan CO₂ están todavía en las etapas de prueba y demostración.
Aire acondicionado fijo y bombas de calor	Los "sistemas fijos de aire acondicionado (AC fijo) y las bombas de calor" comprenden los acondicionadores de aire individuales (los que se instalan en ventanas, o los sistemas "split" con componentes separados), los sistemas centralizados de aire acondicionado con	<u>Situación de las emisiones y tendencias en un escenario sin cambios</u> - Los enfriadores pequeños con compresores de desplazamiento positivo generalmente utilizaban HCFC-22 como refrigerante, que está siendo reemplazado por HFC-134a, mezclas HFC y, en menor grado, amoníaco e hidrocarburos. - Las emisiones proyectadas para 2015 en este sector son de aproximadamente 370 MtCO₂-eq año⁻¹ en un escenario sin cambios. <u>Oportunidades de reducción de las emisiones</u> - Las medidas para mejorar la integridad de las paredes y cerramientos exteriores de los edificios (a fin de reducir la ganancia o pérdida de calor) pueden tener un efecto considerable en las emisiones indirectas.

Cuadro RT-9. (continuación)

Sector	Descripción y situación del sector	Situación de las emisiones y tendencias y oportunidades de reducción de las emisiones en un escenario sin cambios
Aire acondicionado fijo y bombas de calor (continuación)	agua fría (enfriadores) y los sistemas de calefacción mediante bombeo de agua caliente. - El HCFC-22 es el refrigerante de uso más difundido en los sistemas aire-aire. Las mezclas de HFC se utilizaron por primera vez en gran escala en Europa y el Japón. A nivel mundial, el 90% de los acondicionadores de aire se siguen produciendo con HCFC-22. En los últimos 5 años, China se ha convertido en el mayor productor y consumidor de aparatos de AC del mundo. La producción de China es aproximadamente igual a la producción total anual del resto del mundo. - Actualmente, la mayor parte de los enfriadores centrífugos que se venden usan HCFC-123 y HFC-134a. - En 1993 se detuvo en todo el mundo la fabricación de enfriadores (centrífugos) con CFC, pero alrededor del 50% de los aparatos centrífugos siguen utilizando CFC-11 y 12 debido a la prolongada vida útil de los equipos. - Los equipos de aire acondicionado y calefacción para viviendas y locales comerciales consumen cantidades considerables de energía eléctrica, y las emisiones indirectas de GEI vinculadas a esos equipos y sus modalidades de uso suelen coincidir con los períodos típicamente de mayor demanda de electricidad. En algunos climas tropicales, representan más del 50% del consumo de energía de los edificios. En la mayoría de los casos, las emisiones indirectas de GEI relacionadas con la energía superan largamente las emisiones directas provenientes del refrigerante.	- En los países desarrollados se usan mezclas de HFC (R-407C y R-410A) e hidrocarburos (en sistemas pequeños, principalmente portátiles, en Europa) como alternativas en lugar del HCFC-22. En las aplicaciones en que los hidrocarburos pueden emplearse sin riesgos, la eficiencia energética es comparable a la del HCFC-22 y el R-410A. Los adelantos técnicos futuros podrían reducir la carga de refrigerantes y ampliar así las posibilidades de aplicación de los hidrocarburos. - Las restricciones para la aplicación de los hidrocarburos se definen en normas nacionales e internacionales, disposiciones reglamentarias y códigos de la construcción. - Las bombas de calor que se utilizan en las viviendas ofrecen importantes oportunidades de reducir el consumo de energía con fines de calefacción. El CO₂ tiene particulares ventajas en el caso de las bombas de calor que usan agua corriente del grifo, por los beneficios que se derivan del intercambio de calor en flujo cruzado y las altas temperaturas de funcionamiento. - Los equipos con alto grado de eficiencia se encuentran disponibles en los mercados que manejan un gran volumen de acondicionadores de aire y enfriadores y en los que el precio de la electricidad es alto. En comparación con la base media instalada, se pueden lograr mejoras importantes: por ejemplo, hasta un 33% de reducción del consumo de energía. - Los costos específicos de las opciones de reducción oscilan entre US\$ -3 y US\$ 170 por tCO₂-eq. El aumento de la eficiencia energética de los sistemas puede reducir considerablemente las emisiones indirectas de GEI y conducir en algunos casos a un costo total de US\$ -75 por tCO₂-eq.
Aire acondicionado móvil	Los sistemas móviles de aire acondicionado (AC móvil) se han producido en gran escala en los EE.UU. desde principios de la década de 1960 y en el Japón a partir de los años setenta. El principal refrigerante era el CFC-12. El	<u>Situación de las emisiones y tendencias en un escenario sin cambios</u> - Las emisiones proyectadas para 2015 en este subsector son de aproximadamente 315 MtCO₂-eq año⁻¹ en un escenario sin cambios. <u>Oportunidades de reducción de las emisiones</u> - Las opciones para reducir las emisiones directas de GEI provenientes de equipos móviles de AC son: 1) sustituir los refrigerantes que se usan actualmente por otros con un menor PCM; 2) mejorar el confinamiento del HFC-134a; 3) aumentar la eficiencia y reducir la carga de frío.

Cuadro RT-9. (continuación)

Sector	Descripción y situación del sector	Situación de las emisiones y tendencias y oportunidades de reducción de las emisiones en un escenario sin cambios
Aire acondicionado móvil (continuación)	aumento sustancial en la cantidad de automóviles con aire acondicionado en Europa comenzó más tarde, aproximadamente en 1995, cuando se introdujo el uso del HFC-134a.	- El HFC-152a y el CO₂ (R-744) son las dos opciones principales para sustituir el HFC-134a. El HFC-152a, aparte de su inflamabilidad, es muy similar a la actual tecnología del HFC-134a. Los sistemas que usan CO₂ exigen componentes y tecnologías de reciente invención. Ningún fabricante de vehículos está considerando la posibilidad de utilizar hidrocarburos en los vehículos nuevos, pero en varios países se están usando hidrocarburos como refrigerantes de recambio en contra de las recomendaciones de los fabricantes (y a menudo en contravención de las reglamentaciones). - Los sistemas de HFC-134a mejorados muestran una reducción de las emisiones directas de GEI del 50%, los sistemas de HFC-152a una reducción del 92% y los sistemas de CO₂ una reducción de casi 100% en términos de CO₂-equivalente, en relación con los sistemas de HFC-134a actuales. - Es técnica y económicamente factible reducir las emisiones indirectas aumentando la eficiencia energética de los sistemas y reduciendo la carga de calor, con independencia del refrigerante que se elija. - Actualmente no existe una diferencia significativa entre los sistemas que usan HFC-152a y los que usan CO₂ en cuanto al índice de LCCP que es técnicamente posible lograr. - Los obstáculos para la comercialización del HFC-152a y el CO₂ tienen que ver con la necesidad de: - eliminar el riesgo de inflamabilidad y garantizar el suministro comercial del refrigerante para los sistemas que usan HFC-152a; - eliminar el riesgo de asfixia; - resolver los problemas técnicos y de costos aún pendientes en la tecnología del CO₂. - El costo de referencia de un sistema europeo típico con HFC-134a se evalúa en aproximadamente US\$ 215 con un compresor de control interno. Se calcula que el costo adicional de un sistema con CO₂ oscila entre US\$ 48 y US\$ 180. El costo adicional de un sistema con HFC-152a se evalúa en US\$ 48 en el caso de los sistemas con mayores medidas de seguridad.
Espumas	- Las espumas se dividen en dos categorías principales: aislantes (edificios, aparatos electrodomésticos, almacenamiento refrigerado, etc.) y no aislantes (ropa de cama, colchones, almohadas, muebles, material de embalaje y de protección contra golpes, etc). - Los materiales que no contienen fluorocarbonos, como las fibras minerales, han tenido una participación mayoritaria en el mercado de las aplicaciones de aislamiento térmico en los últimos 40 años. Sin embargo, las soluciones de aislamiento basadas en el uso de espumas han ganado una participación en el mercado en los últimos 15 años, en parte debido a una tendencia más marcada a favor de las soluciones prefabricadas, en las que son importantes la integridad estructural y el poco peso. La longevidad del resultado térmico también adquiere mayor importancia. Sin embargo, el costo de inversión y sus características ignífugas siguen respaldando a las fibras minerales como el principal componente de	<u>Situación de las emisiones y tendencias en un escenario sin cambios</u> - Las consideraciones de seguridad en el sector manufacturero llevan a las empresas más pequeñas a utilizar agentes espumantes de HFC, ya que sus inversiones en seguridad tienen una incidencia proporcionalmente mayor en el costo de los productos. La seguridad de los productos puede determinar que se elijan HFC para determinadas aplicaciones en los edificios, sobre todo cuando existe una preocupación por los seguros. - En el caso de las espumas no aislantes rígidas y flexibles, actualmente se ha difundido mucho el uso de agentes espumantes que no contienen halocarbonos. Se ha demostrado que las tecnologías que usan hidrocarburos y CO₂ (tanto las de base líquida como las que usan agua) son técnicamente viables en diversas categorías de espumas, lo que indica que el consumo mundial de halocarbonos en esta categoría continuará a niveles muy reducidos. - Las emisiones proyectadas para 2015 en este subsector son de aproximadamente 124 MtCO₂-eq año⁻¹ en un escenario sin cambios. <u>Oportunidades de reducción de las emisiones</u> - Se prevé que las espumas aislantes contribuirán en gran medida a la reducción de las emisiones de CO₂ en los edificios y los aparatos electrodomésticos como consecuencia de la demanda de una mayor eficiencia energética. La selección de los agentes espumantes puede influir considerablemente en el resultado térmico. - Los análisis de LCCP pueden aportar información interesante cuando se comparan distintos tipos de aislamiento. Sin embargo, los cálculos pueden variar de acuerdo con la cantidad de carbono utilizada para generar la energía consumida, la presunción en cuanto al ciclo de vida del producto, el espesor del producto aislante y el grado de recuperación o destrucción al término de la vida útil de la aplicación. - Se proyecta que los hidrocarburos serán los principales agentes espumantes utilizados en el sector de las espumas rígidas en el año 2015, cuando llegarán a representar cerca del 60% del consumo total. También se utilizarán, aunque en forma más modesta, HFC (24%) y HCFC (16%). El uso de HCFC se limitará a los países en desarrollo, donde se emplearán mayormente en aparatos electrodomésticos. Las estimaciones actuales del uso futuro de HFC son menores que las que se predecían anteriormente, y ello se debe sobre todo al alto costo de los HFC. El uso del CO₂ en combinación con otro agente espumante ha surgido como un medio importante de limitar el uso de HFC en algunas aplicaciones fundamentales. - Las medidas que se adopten para reducir el uso de los HFC en un 50% entre 2010 y 2015 tendrían como resultado una reducción de las emisiones de aproximadamente 10 MtCO₂-eq año⁻¹, y reducciones aún mayores de 2015 en adelante, a un costo específico de entre US\$ 15 y US\$ 100 por tCO₂-eq.

Cuadro RT-9. (continuación)

Sector	Descripción y situación del sector	Situación de las emisiones y tendencias y oportunidades de reducción de las emisiones en un escenario sin cambios
Espumas (cont.)	la mayoría de los mercados de aislamiento térmico.	Aunque la eficacia de la recuperación no se ha demostrado aún, particularmente en el sector de la construcción, algunas empresas comerciales ya están recuperando halocarbonos de aparatos electrodomésticos a un costo de entre US\$ 10 y US\$ 50 por tCO₂-eq. En 2015 la reducción de las emisiones puede llegar a ser de alrededor de 7 MtCO₂-eq año⁻¹. Sin embargo, este potencial podría aumentar considerablemente en el período 2030-2050, cuando se desmantelen y retiren grandes cantidades de espumas aislantes utilizadas en el sector de la construcción.
Aerosoles de uso médico	El asma y las enfermedades pulmonares obstructivas crónicas (EPOC) son enfermedades importantes que afectan a más de 300 millones de personas en todo el mundo. Los inhaladores de dosis medidas (IDM) son el tratamiento predominante. Los inhaladores de polvo seco (IPS) que no contienen propelentes se han difundido más últimamente, pero no constituyen la solución adecuada para todos los pacientes y son más caros.	<u>Situación de las emisiones y tendencias en un escenario sin cambios</u> - Las emisiones proyectadas para 2015 en este subsector son de aproximadamente 40 MtCO₂-eq año⁻¹ en un escenario sin cambios. - No se prevé que haya grandes adelantos en la administración de medicamentos por inhalación en los próximos 10 a 15 años, habida cuenta del estado actual de la tecnología y del tiempo que tarda su desarrollo. <u>Oportunidades de reducción de las emisiones</u> - El efecto más importante de reducción de las emisiones de GEI en relación con los IDM se lograría mediante la sustitución total de los CFC por HFC en la fabricación de los IDM más allá de la tendencia pronosticada por el escenario sin cambios (17 MtCO₂-eq año⁻¹ para 2015). - La salud y la seguridad del paciente son de vital importancia en la adopción de decisiones sobre tratamientos y en la formulación de políticas que puedan afectar a esas decisiones. Esto puede restringir el uso de los IPS. - En el caso hipotético de que el medicamento inhalado de uso más generalizado (el salbutamol) comenzara a administrarse mediante IPS en lugar de IDM con HFC, lo que daría lugar a una reducción modesta de alrededor de 10 MtCO₂-eq año⁻¹, los costos periódicos anuales proyectados serían del orden de US\$ 1 700 millones, con un costo real de mitigación de entre US\$ 150 y US\$ 300 por tCO₂-eq.
Equipos de protección contra incendios	- El 75% de los halones que se usaban al principio han sido sustituidos por agentes que no afectan al clima. El 4% de las aplicaciones que contenían halones originalmente continúan utilizándolos. El 21% restante ha sido reemplazado por HFC y en un reducido número de aplicaciones ha sido sustituido por HCFC y PFC. - Los HFC y los gases inertes se han convertido en los agentes gaseosos más comúnmente utilizados y han logrado un cierto grado de equilibrio en términos de aplicaciones y participación en el mercado. - Se ha comercializado una nueva fluoroquetona (FK) que tiene un efecto casi nulo en el clima, pero no hay elementos que permitan cuantificar su grado de aceptación por el mercado.	<u>Situación de las emisiones y tendencias en un escenario sin cambios</u> - Las emisiones proyectadas para 2015 en este subsector son de aproximadamente 5 MtCO₂-eq año⁻¹ en un escenario sin cambios (excluidos los halones). - El costo sigue siendo el principal factor que limita la aceptación en el mercado de los HFC, HCFC y PFC en los extintores portátiles, en comparación con otros extintores que usan agentes de extinción más tradicionales, como el CO₂, los productos químicos secos y el agua. El uso de los PFC está limitado actualmente a un componente de escasa importancia en una mezcla que contiene HCFC. <u>Oportunidades de reducción de las emisiones</u> - Los halones y los HFC son las únicas alternativas disponibles para varios sistemas fijos cuando se tiene en cuenta la seguridad, el volumen y el peso, el costo, la velocidad de extinción del fuego y características especiales como las de las aplicaciones que funcionan en condiciones de muy bajas temperaturas y a bordo de buques y vehículos militares. Los PFC y los HCFC no ofrecen ventajas respecto de otras alternativas. Existe una nueva fluoroquetona (FK) de bajo PCM, que aún no se ha probado en aplicaciones especializadas, que abrirá nuevas opciones en el futuro, con un impacto climático menor a un costo adicional. Debido a la extensa duración del proceso de pruebas, aprobación y aceptación por el mercado de los nuevos equipos y agentes de los sistemas de protección contra incendios, no es probable que surjan nuevas opciones que puedan producir un efecto apreciable para 2015. - Cuando ello es posible, el uso de agentes sin efectos climáticos puede reducir las emisiones de GEI provenientes de este sector, siempre que su uso reúna los requisitos de la aplicación específica de protección contra incendios y sea rentable. - Se debe prestar especial atención al manejo de los depósitos de halones, HFC, HCFC y PFC para que se generen incentivos económicos que garanticen el logro de los objetivos de las políticas (por ejemplo, la eliminación obligatoria de determinadas aplicaciones). - La aplicación de prácticas responsables de gestión de los agentes reducirá las emisiones anuales provenientes de los depósitos acumulados en los sistemas fijos a 2% ± 1% y las de los depósitos acumulados en extintores portátiles a 4% ± 2%.
Productos no médicos en aerosol	Este sector comprende los aerosoles que tienen un fin técnico, de seguridad, de consumo y de entretenimiento.	<u>Situación de las emisiones y tendencias en un escenario sin cambios</u> - Las emisiones proyectadas para 2015 en este subsector son de aproximadamente 23 MtCO₂-eq año⁻¹ en un escenario sin cambios. <u>Oportunidades de reducción de las emisiones</u> - El potencial de reducción es incierto pero se estima que es pequeño.

Cuadro RT-9. (continuación)

Sector	Descripción y situación del sector	Situación de las emisiones y tendencias y oportunidades de reducción de las emisiones en un escenario sin cambios
Productos no médicos en aerosol (cont.)	- En más del 98% de los aerosoles no médicos utilizados en los países desarrollados se han sustituido los CFC por alternativas no perjudiciales para la capa de ozono y el clima. - Entre los productos no médicos en aerosol, los que por sí solos representan el uso mayoritario de HFC son los pulverizadores “quitapolvo”, que usan gas a presión para eliminar partículas de las superficies e instrumentos de trabajo.	La sustitución del HFC-134a por el HFC-152a en los pulverizadores de uso técnico para remoción de partículas es una de las opciones más importantes para reducir las emisiones de GEI. En el caso de los productos de limpieza por contacto y de los agentes desmoldantes utilizados en la fabricación de moldes de plástico, la sustitución de los HCFC por hidrofluoréteres (HFE) y HFC con un menor PCM ofrece una posibilidad de reducción de las emisiones. Los aerosoles de seguridad, en los que no se puede usar propelentes e ingredientes inflamables, siguen utilizando el HFC-134a debido a que no es inflamable. En algunos países se ha prohibido el uso de HFC en artículos para fiestas en aerosol, aunque el HFC-134a se sigue usando en muchos países por razones de seguridad.
Disolventes	Con anterioridad al Protocolo de Montreal, el CFC-113 y el metilcloroformo se usaban ampliamente como disolventes para la limpieza de metales, artículos electrónicos y de precisión, y telas. El uso de las SAO en estas aplicaciones se ha eliminado o reducido drásticamente. La mayor parte de las aplicaciones de limpieza con disolventes se basan actualmente en sustitutos que no usan fluorocarbonos. Un pequeño porcentaje ya ha sido o será remplazado próximamente por HFC o HFE. El uso de los PFC está declinando y se prevé su eliminación para 2025.	<u>Situación de las emisiones y tendencias en un escenario sin cambios</u> - Las emisiones proyectadas para 2015 en este subsector son de aproximadamente 14 MtCO₂-eq año⁻¹ en un escenario sin cambios. <u>Oportunidades de reducción de las emisiones</u> - Existe una variedad de disolventes orgánicos que pueden sustituir a los HFC, los PFC y las SAO en muchas aplicaciones. - Entre los fluidos alternativos hay compuestos con un menor PCM, como los disolventes clorados tradicionales, los hidrofluoréteres (HFE) y el n-propil bromuro. Existen numerosas tecnologías que no dependen del uso de fluorocarbonos, como los hidrocarburos y los disolventes oxigenados, que constituyen alternativas viables en algunas aplicaciones. - La seguridad, especialmente la toxicidad, desempeña un papel fundamental en la elección de los disolventes. Es preciso actuar con cautela antes de elegir cualquier alternativa cuyo perfil de toxicidad no esté completo. - Los disolventes con HFC se usan principalmente en aplicaciones especializadas con exigencias técnicas, y solamente en determinados países. El uso tiende a concentrarse en aplicaciones críticas en las que no existen otros sustitutos. El consumo puede disminuir en el futuro. - El uso de los disolventes con PFC está restringido a unas pocas aplicaciones específicas debido a su eficacia limitada, su elevado costo y su sustitución por disolventes con un menor PCM. - Es importante mejorar el confinamiento en los usos actuales porque la optimización de los equipos puede reducir el consumo de disolventes hasta en un 80% en algunas aplicaciones. Debido a su alto costo y a que es fácil purificarlos durante el reciclado, los disolventes fluorados pueden recuperarse y volver a utilizarse, lo cual se hace a menudo.
HFC-23 como subproducto	- El HFC-23 es un subproducto de la fabricación del HCFC-22. - Si bien la producción de HCFC-22 para uso directo está llegando a su fin en los países desarrollados y en definitiva cesará también en los países en desarrollo, se proyecta que su producción como sustancia intermediaria seguirá creciendo.	<u>Situación de las emisiones y tendencias en un escenario sin cambios</u> - Las emisiones proyectadas para 2015 en este subsector son de aproximadamente 332 MtCO₂-eq año⁻¹ en un escenario sin cambios. - El límite superior de las emisiones de HFC-23 es del orden del 4% de la producción de HCFC-22. La optimización de los procesos puede disminuir el promedio de emisiones a 2% o menos. Sin embargo, la reducción que efectivamente se puede lograr depende de cada instalación en particular. <u>Oportunidades de reducción de las emisiones</u> - La captación y destrucción del HFC-23 mediante oxidación térmica es una opción sumamente eficaz para reducir las emisiones, a costos específicos inferiores a US\$ 0,2 por tCO₂-eq. Las emisiones pueden reducirse más de un 90%.

3.7 ¿De qué instrumentos de políticas se dispone para lograr la reducción de las emisiones de GEI a que se refiere el presente informe?

Como se expuso en el Tercer Informe de Evaluación del IPCC, hay una amplia gama de políticas, medidas e instrumentos que es posible utilizar para reducir las emisiones de GEI. Entre ellos cabe mencionar los siguientes:

- reglamentaciones (por ejemplo, la aplicación obligatoria de ciertas normas tecnológicas y de funcionamiento, la prohibición de determinados productos);
- incentivos financieros (por ejemplo, impuestos sobre las emisiones, la producción, la importación o el consumo; subvenciones y gastos e inversiones públicas directas; sistemas de reembolso de depósitos; permisos negociables y no negociables);
- acuerdos voluntarios.

Casi todas las categorías de instrumentos normativos mencionadas *supra* se han tomado en cuenta o se han aplicado para reducir el uso o las emisiones de SAO y sus sustitutos, como los HFC y los PFC. Además, las políticas generales sobre la energía o el clima repercuten en las emisiones indirectas de GEI derivadas de aplicaciones que contienen SAO, sustancias sustitutivas de éstas o productos alternativos que no dependen del uso de fluorocarbonos. También se han formulado políticas específicas para reducir las emisiones de GEI provenientes de sustancias sustitutivas de las SAO (como los HFC y los PFC). En el cuadro RT-10 se dan ejemplos.

3.8 ¿Qué puede decirse acerca de la disponibilidad futura de HFC y PFC para su uso en países en desarrollo?

No se dispone de datos publicados que permitan proyectar la capacidad de producción futura. Sin embargo, puesto que no existen límites técnicos ni legales a la producción de HFC y PFC, puede suponerse que en general la capacidad de producción mundial continuará tratando de satisfacer o superar la demanda. Por lo tanto, en el presente informe se calcula la producción futura agregando la demanda sectorial.

En el escenario sin cambios se prevé un aumento de la capacidad mundial de producción como consecuencia del crecimiento que se registrará principalmente en los países en desarrollo y por conducto de empresas mixtas. La capacidad mundial de producción de HFC y PFC suele superar la demanda actual. Hay varias plantas de HFC-134a en países desarrollados y una en un país en desarrollo, con perspectivas de que se instalen otras; las pocas plantas que existen para la producción de otros HFC se encuentran casi exclusivamente en países desarrollados. La propuesta de la Comunidad Europea de eliminar gradualmente el HFC-134a en los sistemas de aire acondicionado de los automóviles nuevos y el programa voluntario del sector para reducir sus emisiones de HFC-134a en un 50% repercutirán en la demanda, la capacidad de producción y el volumen efectivamente producido. La rápida expansión de los mercados en los países en desarrollo, particularmente de las sustancias sustitutivas de los CFC, está generando una nueva demanda de gases fluorados que actualmente se satisface merced a un aumento en la capacidad de producción de HCFC-22 y 141b. [11]

Cuadro RT-10. Instrumentos normativos para reducir las emisiones de GEI derivadas de productos sustitutivos de las SAO.

Tipo de instrumento	Ejemplos concretos de instrumentos
Reglamentaciones	Normas de cumplimiento obligatorio: En varios países existen normas que exigen determinados niveles de eficiencia energética y seguridad a prueba de fugas, especialmente en el caso de las aplicaciones de refrigeración y enfriamiento. En muchos países se han aprobado reglamentaciones que prohíben la liberación de gases al exterior por conductos de ventilación y exigen el reciclado, pero a menudo es difícil lograr que se cumplan. Para que estas normas se apliquen efectivamente es necesario adoptar programas de cumplimiento complementarios y exigir la capacitación obligatoria de los técnicos. Se está considerando (por ej. en el Estado de California) la posibilidad de aprobar normas sobre el nivel de emisiones de los vehículos (por ej., restricciones en cuanto a la cantidad de GEI que pueden emitir los automóviles, ya sea por causa del combustible o del AC móvil). Obligación de contratar a empresas certificadas para que se ocupen de la reparación o el mantenimiento de las instalaciones y equipos (por ej. el programa “STEK” en los Países Bajos). Prohibiciones y restricciones en cuanto al uso de determinadas sustancias para ciertas aplicaciones: en varios países existen o se han propuesto planes de eliminación gradual de los HFC (por ej. en Austria, Dinamarca y Suiza). El proyecto de Directiva de la UE apunta a modificar la legislación actual de la UE sobre aprobación de tipos de vehículos a fin de introducir un umbral de PCM respecto de los HFC usados en los equipos móviles de aire acondicionado. Medidas adoptadas al término de la vida útil, como el reciclado obligatorio y la prohibición de liberar gases al exterior por conductos de ventilación.
Incentivos financieros y mecanismos del mercado	Los costos relativos de los HFC y los PFC y de otros sustitutos de las SAO influyen en la elección que hacen de estas sustancias tanto los usuarios como los productores. Los HFC y los PFC son sustancias químicas complejas y tienden a ser más caras que las SAO que reemplazan, lo que fomenta la sustitución por alternativas que no dependen del uso de fluorocarbonos. Los incentivos financieros pueden también repercutir en esta diferencia de costo entre sustancias y tecnologías. En varios países se cobran depósitos o impuestos sobre la importación y la producción de HFC. Esto determina un incremento en el costo de estas sustancias, lo que a su vez constituye un incentivo para mejorar el confinamiento y aumenta el atractivo del reciclado. Las rebajas de impuestos que se otorgan a cambio de que los HFC y PFC usados se lleven a plantas de destrucción son un incentivo para la reducción de las emisiones. En Noruega las rebajas tributarias son de Nkr 183 (US\$ 26) por tCO₂-eq. Subsidios: Además de las donaciones internacionales que otorgan el Fondo Multilateral del Protocolo de Montreal y, por ejemplo, el Fondo para el Medio Ambiente Mundial, los gobiernos nacionales subvencionan actividades de investigación y desarrollo así como la aplicación de nuevas tecnologías con bajos niveles de emisión de GEI. En los Países Bajos se otorgó una subvención (50%) sobre el costo de recuperación y destrucción de halones y CFC para desalentar la liberación de gases al exterior por conductos de ventilación, poco antes de que se prohibiera el almacenamiento de reservas de estas sustancias en 2004. La reducción de las emisiones de HFC y PFC puede financiarse con cargo al mecanismo para un desarrollo limpio (MDL) del Protocolo de Kyoto. Ya existen proyectos de MDL para Corea y China y se están preparando proyectos de MDL para la India y México. Las grandes fuentes puntuales de HFC pueden incluirse en los sistemas de intercambio de derechos de emisión. Hasta el presente, estas fuentes (por ej., las emisiones secundarias de HFC-23 derivadas de la producción de HCFC-22) no se han incluido normalmente en los sistemas de intercambio de derechos de emisión, aunque el sistema del Reino Unido es una excepción digna de mención. La vigilancia del uso y las emisiones de estas sustancias puede ser menos práctica en el caso de las fuentes de emisión más difusas.
Acuerdos voluntarios	Hay varios programas de reducción de las emisiones y uso responsable auspiciados por el sector industrial y los gobiernos. La adhesión a los principios de uso responsable puede dar lugar a que la reducción de las emisiones de HFC supere las proyecciones actuales. Los siguientes son principios de uso responsable: • Usar HFC solamente en aplicaciones en las que ofrezcan ventajas desde el punto de vista de la seguridad, la eficiencia energética, el medio ambiente o la salud pública o ventajas fundamentales en términos económicos; • Limitar las emisiones de HFC al nivel más bajo posible durante la fabricación, el uso y la eliminación de equipos y productos; • Si es necesario usar HFC, seleccionar el compuesto o sistema que cumpla las exigencias de la aplicación con el menor impacto climático posible. Se han elaborado directrices sobre las buenas prácticas aplicables a la selección y el mantenimiento de los equipos, entre ellas las que se refieren a un mejor confinamiento de las sustancias y a su recuperación durante las operaciones de reparación y mantenimiento y al término de la vida útil de los equipos.

4. Conclusiones importantes en relación con los sectores que usan SAO y sus alternativas

4.1 ¿Cuáles son las conclusiones más importantes en relación con el sector de la refrigeración?

Los refrigerantes son, por un amplio margen, las sustancias que más contribuyen a las emisiones directas de GEI. En el presente informe, el sector de la refrigeración se clasifica en los subsectores siguientes: refrigeración doméstica, refrigeración comercial, refrigeración industrial, elaboración y almacenamiento refrigerado de alimentos y transporte refrigerado. El sector de aire acondicionado y calefacción para viviendas y locales comerciales y el de los equipos móviles de aire acondicionado se presentan por separado en otras secciones (4.2 y 4.3) del presente Resumen técnico. En el cuadro RT-11 figura un desglose detallado de los depósitos y emisiones directas de GEI en todos los sectores en que se utilizan refrigerantes.

Las cinco opciones generales para reducir las emisiones directas de GEI en el sector de la refrigeración pueden describirse de la siguiente manera:

- mejor confinamiento: sistemas herméticos a prueba de fugas;
- recuperación, reciclado y destrucción de los refrigerantes durante el período de uso y al término de la vida útil de los equipos;
- aplicación de sistemas con cargas más reducidas:
 - menor carga de refrigerantes por unidad de capacidad de frío;
 - menor demanda de capacidad de refrigeración;
- uso de refrigerantes alternativos con un potencial de calentamiento mundial reducido o insignificante (por ejemplo, [hidrocarburos](#) (HC), dióxido de carbono (CO₂), amoníaco, etc.);
- tecnologías que no dependen del uso de fluorocarbonos.

Estos principios se aplican de igual manera al sector de los equipos fijos y móviles de aire acondicionado.

4.1.1 Refrigeración doméstica

Los refrigeradores y congeladores domésticos se usan en todo el mundo para el almacenamiento de alimentos en viviendas y locales no comerciales, como oficinas. Anualmente se producen más de 80 millones de unidades con una capacidad interna de almacenamiento de entre 20 y más de 850 litros. Estos equipos, que tienen en promedio una vida útil de 20 años por unidad, conforman un inventario instalado de aproximadamente 1 500 millones de unidades. Como resultado del Protocolo de Montreal, a principios del decenio de 1990 los fabricantes comenzaron la transición hacia aplicaciones que no utilizaban CFC como refrigerantes. En los países desarrollados esa transición ya ha concluido, y en los países en desarrollo ha avanzado considerablemente. Sin embargo, debido a la duración de la vida útil de los refrigeradores domésticos, las unidades fabricadas con el refrigerante CFC-12 siguen representando la mayor parte de los equipos instalados. Esto a su vez retrasa considerablemente la tasa de reducción de la demanda del refrigerante CFC-12 en el sector de mantenimiento y reparación.

El isobutano (HC-600a) y el HFC-134a son los principales refrigerantes alternativos que se emplean en sustitución del CFC-12 en los nuevos equipos de refrigeración doméstica (véase el cuadro RT-12). Ambos han demostrado una capacidad de producción masiva destinada a un uso seguro, eficiente, fiable y económico, y los dos le otorgan al producto un grado de eficiencia similar. En estudios independientes se ha llegado a la conclusión de que los parámetros de diseño de las aplicaciones influyen más en su eficiencia, causando variaciones más importantes en ésta, que la elección del refrigerante. Los criterios de selección más completos de los refrigerantes tienen en cuenta los aspectos ambientales, funcionales, de seguridad, de costo y de desempeño. En la elección de un refrigerante puede influir en gran medida el contexto local en materia de reglamentación y acciones judiciales. Por lo general cada refrigerador contiene entre 50 y 250 gramos de refrigerante almacenado en un sistema hermético, sellado de fábrica. A continuación figura un resumen simplificado de las consideraciones técnicas relativas correspondientes a estos dos refrigerantes:

- El HC-600a ha utilizado históricamente un conocido aceite mineral como lubricante en su sistema hermético. Los procesos y diseños de fabricación deben tener en cuenta el carácter inflamable de este refrigerante. Ello exige la adopción de medidas tales como la adecuada ventilación de la fábrica y el uso del equipo eléctrico apropiado, la prevención de fugas de refrigerante y del acceso a los componentes eléctricos, el uso de materiales eléctricos sellados o con dispositivos antichispas cuando se tiene acceso a fugas de refrigerante, y el uso de técnicas apropiadas de soldadura, preferentemente evitando las operaciones de soldadura en sistemas ya cargados. Cuando se prestan servicios de mantenimiento o reparación a domicilio también es preciso tener debidamente en cuenta el carácter inflamable de este refrigerante.
- El HFC-134a usa un aceite de poliol éster sensible a la humedad como lubricante en el sistema hermético. En los procesos de fabricación y servicios de mantenimiento o reparación se deben adoptar medidas para mantener la humedad en niveles bajos. A fin de garantizar la fiabilidad de los equipos a largo plazo, es necesario tomar mayores precauciones que en el caso del CFC-12 o del HC-600a, para evitar la presencia de contaminantes durante la producción o la reparación.

El uso de la [mezcla](#) de los hidrocarburos propano (HC-290) e isobutano (HC-600a) permite igualar la capacidad volumétrica del CFC-12 y evita tener que invertir capital en el reacondicionamiento de los compresores. Estas mezclas tornan más complejos los procesos de fabricación y exigen el empleo de técnicas de carga apropiadas para mezclas de refrigerantes con distintos puntos de ebullición. La aplicación de estas mezclas en Europa en los años noventa fue un paso intermedio en la transición hacia el HC-600a, utilizando compresores reacondicionados. Los aspectos de seguridad que deben tenerse en cuenta respecto de las mezclas de hidrocarburos son similares a los que se aplican al HC-600a.

Hay tecnologías de refrigeración alternativas como el ciclo de Stirling, el ciclo de absorción y los sistemas termoeléctricos,

Cuadro RT-11. Depósitos de refrigerantes y emisiones directas de CFC, HCFC, HFC y otras sustancias (hidrocarburos, amoníaco y dióxido de carbono) en el sector de la refrigeración, el sector del aire acondicionado y la calefacción para viviendas y locales comerciales (*sistemas fijos de aire acondicionado*) y el sector de los sistemas móviles de aire acondicionado, en 2002, en 2015 según el escenario sin cambios y en 2015 según el escenario de mitigación.

	Depósitos (kt)					Emisiones (kt año ⁻¹)					Emisiones (MtCO ₂ -eq año ⁻¹) SIE/TIE ^b	Emisiones (MtCO ₂ -eq año ⁻¹) Este informe ^c
	CFC	HCFC	HFC	Otros	Total	CFC	HCFC	HFC	Otros	Total		
2002												
Refrigeración	330	461	180	108	1 079	71	132	29	18	250	848	1 060
– Doméstica	107	-	50	3	160	8	-	0,5	0,04	9	69	91
– Comercial	187	316	104	-	606	55	107	23	-	185	669	837
– Industrial ^a	34	142	16	105	298	7	24	2	18	50	92	110
– Transporte refrigerado	2	4	10	-	16	1	1	3	-	6	19	22
Aire acondicionado fijo	84	1 028	81	1	1 194	13	96	6	0,2	115	222	271
Aire acondicionado móvil	149	20	249	-	418	60	8	66	-	134	583	749
Total 2002	563	1 509	509	109	2 691	144	236	100	18	499	1 653	2 080
Sin cambios 2015												
Refrigeración	64	891	720	136	1 811	13	321	115	21	471	919	1 097
– Doméstica	37	-	189	13	239	5	-	8	1	13	51	65
– Comercial		6	762	425	-	1 193	5	299	89	-	393	758
– Industrial ^a		21	126	85	123	356	4	21	11	21	56	88
– Transporte refrigerado	0,1	2,8	20,3	-	23,2	0,1	1,3	7,4	-	9	22	26
Aire acondicionado fijo	27	878	951	2	1 858	7	124	68	0	199	314	370
Aire acondicionado móvil	13	23	635	4	676	5	11	175	1	191	281	315
Total 2015	104	1 792	2 306	143	4 345	25	455	359	23	861	1 514	1 782
Mitigación 2015												
Refrigeración	62	825	568	186	1 641	8	202	52	15	278	508	607
– Doméstica	35	-	105	60	200	3		3	1	6	27	35
– Comercial	6	703	378	-	1 087	3	188	40	-	230	414	494
– Industrial ^a	21	120	65	126	331	3	13	5	14	36	53	63
– Transporte refrigerado	0,1	2,8	20,3	-	23,2	0,0	0,9	4,3	-	5	13	15
Aire acondicionado fijo	27	644	1 018	2	1 691	3	50	38	0	91	145	170
Aire acondicionado móvil	13	23	505	70	611	3	7	65	7	82	119	136
Total 2015	102	1 493	2 090	259	3 943	14	259	155	22	451	772	914

Notas:

^a Incluye la elaboración y el almacenamiento refrigerado de alimentos.

^b Emisiones de GEI calculadas como CO₂ equivalente (ponderadas en función del PCM), usando los valores del PCM directo indicados por el IPCC (1996 y 2001) (Segundo Informe de Evaluación (SIE)/Tercer Informe de Evaluación (TIE)).

^c Emisiones de GEI calculadas como CO₂ equivalente (ponderadas en función del PCM), usando los valores del PCM directo indicados en el capítulo 2 del presente informe.

Cuadro RT-12. Refrigeración doméstica, situación actual y opciones de reducción.

Configuración del producto	Pared fría	Evaporador abierto ("Roll Bond")	Frío seco (sin escarcha)
Capacidad de frío	De 60 W Hasta 140 W	60 W 140 W	120 W 250 W
Carga de refrigerantes (HFC)	De 40 g Hasta 170 g	40 g 170 g	120 g 180 g
% aproximado del depósito de refrigerantes del sector (160 kt) correspondiente a esta configuración	20/85 unidades de un promedio de 100 g 18% de 160 kt	15/85 unidades de un promedio de 100 g 14% de 160 kt	50/85 unidades de un promedio de 150 g 68% de 160 kt
% aproximado de las emisiones de refrigerantes del sector (8 950 t) originadas en este subsector	18% de 8 950 toneladas	14% de 8 950 toneladas	68% de 8 950 toneladas
Tecnología predominante	HC-600a	HFC-134a	HFC-134a
Otras tecnologías que se comercializan	HFC-134a, CFC-12	HFC-600a, CFC-12	HFC-600a, CFC-12
Tecnologías de bajo PCM con posibilidades regulares o algo mejor que regulares de sustituir a los CFC/HFC en los mercados	HC-600a	HC-600a	HC-600a
Situación de las alternativas	Plenamente desarrolladas y en producción	Plenamente desarrolladas y en producción	Plenamente desarrolladas y en producción
HC-600a Mfg. Costo adicional	Ninguno	3–5 dólares EE.UU.	8–30 dólares EE.UU.
Inversión de capital	0	45–75 millones de dólares EE.UU.	400–1 500 millones de dólares EE.UU.
Reducción de las emisiones	1 432 toneladas	1 253 toneladas	6 086 toneladas

termoiónicos y termoacústicos, que se siguen utilizando en aplicaciones o situaciones especiales en que los sistemas de funcionamiento básicos son diferentes a los de los refrigeradores domésticos convencionales. En el futuro previsible no se vislumbra la posibilidad de que estas opciones tecnológicas alteren de manera significativa el lugar que ocupa la tecnología de compresión de vapor como la opción preferida en el sector de la refrigeración doméstica.

El sistema de compresión de vapor es una tecnología firmemente establecida a la que se puede acceder fácilmente en todo el mundo. Los diseños tecnológicos actuales, que se basan en el HC-600a o el HFC-134a, suelen utilizar menos de la mitad de la energía eléctrica que consumen las unidades a las que reemplaza. Este desempeño fiable se logra sin necesidad de recurrir a diseños más costosos o complejos. Se prevé que el desempeño y/o la eficiencia energética de las unidades continuarán mejorando. En varios países, la reglamentación oficial y los acuerdos voluntarios sobre eficiencia energética y programas de etiquetado han demostrado su eficacia al impulsar la oferta de productos más eficientes desde el punto de vista energético.

Las buenas prácticas de diseño, fabricación y mantenimiento reducirán al mínimo las emisiones de refrigerantes durante la producción y el uso de refrigeradores; sin embargo, debe prestarse especial atención al retiro de la gran cantidad de unidades que contienen CFC-12. Dado que su vida útil es nor-

malmente de unos 20 años, el retiro y la eliminación de los refrigeradores al término de su vida útil ocurre con una frecuencia anual que equivale aproximadamente al 5% de la base instalada. Esto significa que se eliminan anualmente alrededor de 75 millones de refrigeradores que contienen 100 gramos por unidad, o sea un total de 7 500 toneladas de refrigerantes. Durante por lo menos 10 años más, ese refrigerante será mayormente el CFC-12. La reducida carga de refrigerantes que tiene cada unidad quita toda justificación económica a su recuperación. Los organismos reguladores de todo el mundo han ofrecido incentivos o aplicado multas por incumplimiento para promover la recuperación de esta SAO.

Actualmente (datos de 2002), la tasa anualizada de emisión de HFC-134a correspondiente a los refrigeradores domésticos es de 1,0% durante el período de uso del producto. Se estima que las emisiones de HFC procedentes de la refrigeración doméstica ascendieron a 480 toneladas en 2002, y que para 2015, en un escenario sin cambios, alcanzarán las 7 800 toneladas. En un escenario de mitigación, en el año 2015 las emisiones serían de 2 800 toneladas, gracias a las mejoras que se introducirían en el confinamiento y la recuperación de los refrigerantes. En el cuadro RT-12 se resumen las oportunidades de reducción de las emisiones mediante una mayor aplicación del refrigerante HC-600a. También se indican las primas de costos e inversiones de capital necesarias para la fabricación de las tres configuraciones más comunes de refrigeradores, así como los costos de desarrollo en que habría que incurrir para su implementación.

4.1.2 Refrigeración comercial

La refrigeración comercial comprende tres tipos principales de equipos: los autónomos, las unidades de condensación y los sistemas completos para supermercados. El subsector de la refrigeración comercial abarca una amplia gama de sistemas de refrigeración: desde congeladores para helados, con una capacidad de enfriamiento de alrededor de 200 vatios que no difieren mucho de los congeladores domésticos, hasta salas de máquinas que contienen bastidores con múltiples compresores que consumen varios cientos de kilovatios. Los refrigerantes de uso más común en este subsector son el HCFC-22, el R-404A y el HFC-134a.

En 2002, todos los tipos de refrigerantes almacenados en sistemas de refrigeración comercial, principalmente en equipos que contienen CFC, HCFC y HFC, representaban 605 kilotoneladas del total de 2 690 kilotoneladas correspondiente a todos los tipos de refrigerantes almacenados en todos los sistemas de refrigeración y aire acondicionado; esto equivale al 22% del depósito total de refrigerantes almacenados en sistemas de refrigeración y aire acondicionado.

A nivel mundial, la refrigeración comercial es el subsector de la refrigeración que produce la mayor cantidad de emisiones de refrigerantes, calculadas en términos de **CO₂ equivalente**, que representan el 40% de las emisiones totales de refrigerantes (de los sectores de la refrigeración y los sistemas fijos y móviles de aire acondicionado). Los niveles de emisión, que incluyen las emisiones fugitivas, las emisiones por roturas y las que se producen durante operaciones de mantenimiento o reparación y al término de la vida útil, son generalmente muy altos, especialmente en el caso de los supermercados e hipermercados. Cuanto mayor es la carga, mayor es la tasa media de emisión, y ello se debe al uso de cañerías muy extensas, al gran número de accesorios y válvulas y al altísimo nivel de emisiones que se producen cuando hay roturas.

Las tasas de fuga de refrigerantes calculadas con el método ascendente sugieren que la tasa mundial anual de emisiones es del 30% de la carga almacenada en los sistemas. Las emisiones de refrigerantes representan normalmente el 60% de las emisiones totales de GEI derivadas del funcionamiento de los sistemas, y el resto son emisiones indirectas causadas por la producción de energía. Estos porcentajes muestran la importancia de reducir las emisiones en este sector.

Según datos obtenidos sobre la tasa anual de fuga de refrigerantes en más de 1 700 supermercados de los Estados Unidos y Europa con sistemas de refrigeración completos, anualmente se pierde entre el 3 y el 22% de la carga de los sistemas, con un promedio de 18%. Esto permite concluir que si la estimación de 30% para la tasa mundial de emisiones es correcta, esos valores de 3 a 22% deben representar datos de empresas seleccionadas de países que ponen mucho énfasis en la reducción de las emisiones.

En el cuadro RT-11 figuran las proyecciones, según distintos escenarios, de las emisiones futuras de halocarbonos utilizados como refrigerantes. Las altas tasas de crecimiento económico de algunos países en desarrollo tendrán fuertes repercusiones en el aumento de los depósitos y emisiones de refrigerantes.

Es posible lograr reducciones importantes de las emisiones totales, es decir, un mejor índice de repercusión climática durante el ciclo de vida (LCCP), mediante el uso de refrigerantes como los HFC, los hidrocarburos, el amoníaco o el CO₂, reduciendo las cargas y usando sistemas de confinamiento más eficientes, y mejorando la eficiencia energética total con nuevos diseños de los sistemas. Todo esto se resume en el cuadro RT-13. Deben tenerse en cuenta los aspectos de seguridad si se utilizan refrigerantes tóxicos o inflamables; esto depende de las normas nacionales y, en algunos casos, de los reglamentos locales, que pueden limitar las posibilidades de aplicar algunos de estos refrigerantes.

En los sistemas completos para supermercados pueden obtenerse valores de la repercusión climática durante el ciclo de vida (LCCP) hasta un 60% más bajos que en los sistemas directos centralizados de diseño tradicional, mediante la aplicación de sistemas directos que usen refrigerantes alternativos, un mejor confinamiento, sistemas distribuidos, sistemas indirectos o sistemas configurados en cascada.

Según los resultados publicados, el costo inicial de los sistemas alternativos es entre un 0 y un 35% más alto que el de los sistemas actuales, y su consumo de energía es entre un 0 y un 20% mayor que el de éstos.

El costo de la reducción de las emisiones de refrigerantes oscila entre US\$ 20 y US\$ 280 por tonelada de CO₂-eq^{19, 20}. Se sigue trabajando en el desarrollo de nuevos sistemas para reducir el costo y el consumo de energía, lo que permitirá bajar aún más los costos de reducción de las emisiones. Si se tienen en cuenta los posibles aumentos de la eficiencia energética, también es posible que los costos de reducción lleguen a ser negativos (ahorros).

En el caso de las unidades comerciales pequeñas, en particular los equipos autónomos y las unidades de condensación (máquinas expendedoras, congeladores para helados, cámaras frigoríficas, etc.), las empresas internacionales han comenzado a utilizar sustancias sustitutivas de los HFC (hidrocarburos y CO₂) con un PCM reducido o nulo, así como tecnologías alternativas. Ambas opciones prometen reducir tanto las emisiones directas como las emisiones indirectas con niveles comparables o inferiores.

4.1.3 Elaboración y almacenamiento refrigerado de alimentos y refrigeración industrial

La elaboración y el almacenamiento refrigerado de alimentos es una de las aplicaciones importantes de la refrigeración, pues permite conservar y distribuir los alimentos manteniendo intactos sus nutrientes. La importancia económica y la magnitud de esta aplicación son enormes en todos los países, incluidos los países en desarrollo. Comprende tanto el almacenamiento refrigerado (a temperaturas que oscilan entre -1°C y 10°C) y la congelación (-30°C a -35°C), como el almacenamiento a largo plazo de productos congelados (-20°C a -30°C). El volumen de alimentos refrigerados es alrededor de 10 a 12 veces mayor que el de productos congelados.

La mayoría de los sistemas de refrigeración para la elaboración y el almacenamiento refrigerado de alimentos se basa en el uso de compresores de pistón y de tornillo. Los refrigerantes utilizados

¹⁹ A menos que se indique lo contrario, en el presente informe los costos se expresan en dólares de los EE.UU. de 2002.

²⁰ Los costos indicados se refieren únicamente a la reducción de las emisiones directas. Si se tiene en cuenta un aumento de la eficiencia energética, el resultado puede ser incluso un costo específico neto negativo (ahorro).

Cuadro RT-13. Refrigeración comercial, situación actual y opciones de reducción.

Subsector		Equipos autónomos	Unidades de condensación	Sistemas completos de supermercados			
				Centralizados directos	Centralizados indirectos	Distribuidos	Híbridos
Capacidad de frío	De Hasta	0,2 kW 3 kW	2 kW 30 kW	20 kW > 1 000 kW			
Carga de refrigerantes	De Hasta	0,5 kg ~2 kg	1 kg 15 kg	2 000 kg	100 kg 500 kg	20 *	* *
Porcentaje aproximado del depó- sito de refrigerantes del sector acumulado en este subsector		11% de 606 kt	46% de 606 kt	43% de 606 kt	* Se han comercializado alternativas en estas categorías, pero como actualmente existe un número limitado de sistemas, se mencionan más abajo sólo como opciones		
Porcentaje aproximado de las emisiones de refrigerantes del sector originadas en este subsector		3% de 185 kt	50% de 185 kt	47% de 185 kt			
Depósito de refrigerantes en 2002, porcentaje según el peso		CFC 33%; HCFC 53%; HFC 14%					
Tasa media mundial típica de emisiones derivadas de la carga		30%					
Subsector		Equipos autónomos	Unidades de condensación	Sistemas completos de supermercados			
				Centralizados directos	Centralizados indirectos	Distribuidos	Híbridos
Tecnologías con un índice reducido de LCCP		HFC mejorados NDDS	HFC mejorados NDDS	HFC mejorados REm 30% CUE 0% CaCt 0±10%	Amoníaco REm 100% CUE 0-20% CaCt 20-30%	HFC REm 75% CUE 0-10% CaCt 0-10%	HFC/CO₂ en cascada REm 50-90 CUE 0% CaCt 0-15%
			R-410A NDDS	CO₂ (todos) REm 100% CUE 0±10% CaCt 0±10%	HC REm 100% CUE 0-20% CaCt 20-30%	R-404A economizado NDDS	Amoníaco /CO₂ en cascada NDDS
		HC NDDS	HC NDDS		HFC REm 50-90% CUE 0-20% CaCt 10-25%	R-404A economizado NDDS	HC/CO₂ en cascada NDDS
		CO₂ NDDS	CO₂ NDDS			CO₂ NDDS	
Potencial de reducción del índice de LCCP (usando el factor medio mundial de emisión de la producción de energía eléctrica)		NDDS		35-60%			
Estimaciones de la rebaja en los costos (ciclo de vida de 10 años, tasa de interés del 10%)		NDDS		US\$ 20–US\$ 280 por tonelada de CO ₂ -eq mitigada			

Notas:

REm (%): Reducción de las emisiones directas (comparadas con los sistemas instalados)

CUE (%): Cambios en el uso de energía (+ o –) (en comparación con las tecnologías más modernas)

CaCt (%): Cambios en los costos (+ o –) (en comparación con las tecnologías más modernas)

NDDS: No se dispone de datos suficientes en la bibliografía sobre reducción de las emisiones, uso de energía y cambios en los costos

tradicionalmente han sido el amoníaco, el HCFC-22, el R-502 y el CFC-12. En algunas regiones se están utilizando actualmente refrigerantes de HFC en lugar de CFC-12, R-502 y HCFC-22. Los HFC preferidos son las mezclas de HFC-134a y HFC con un

pequeño gradiente de temperatura, como el R-404A, el R-507A y el R-410A. También se usan sistemas con amoníaco y CO₂ configurados en cascada, al igual que hidrocarburos como refrigerantes primarios en los sistemas indirectos.

Los datos disponibles sobre el efecto de calentamiento total equivalente (TEWT) y la repercusión climática durante el ciclo de vida (LCCP) correspondientes a esta categoría son limitados. En un estudio reciente sobre el desempeño de los sistemas y el cálculo de los valores LCCP se demostró que, en el caso de un sistema de refrigeración de 11-kW equipado con R-404A, R-410A y HC-290, las diferencias en los valores LCCP eran insignificantes, según las hipótesis utilizadas en los cálculos.

Al final de la sección siguiente figura más información sobre las fugas de refrigerantes y las opciones de reducción de sus emisiones en todo el sector de la elaboración y el almacenamiento refrigerado de alimentos y la refrigeración industrial.

La refrigeración industrial abarca una amplia gama de aplicaciones de enfriamiento y congelación, como las utilizadas en las industrias química, petrolífera y del gas, en la fabricación de hielo para usos industriales y actividades de esparcimiento y la producción de aire licuado. En la mayoría de los sistemas se usan ciclos de compresión de vapor, con temperaturas de evaporación que oscilan entre 15°C y -70°C. Las aplicaciones criogénicas funcionan a temperaturas aún más bajas. La capacidad de las unidades varía de 25 kW a 30 MW, con sistemas que son a menudo fabricados a medida y armados en el lugar. Los refrigerantes preferentemente utilizados son de componente único o azeotrópicos, ya que muchos de los sistemas usan evaporadores de saturación para lograr una alta eficiencia. En algunos diseños se aplican sistemas indirectos con fluidos termostatores con el fin de reducir la carga de refrigerante y/o minimizar el riesgo de contacto directo con éste.

Estos sistemas de refrigeración están normalmente ubicados en zonas industriales de acceso público restringido. El amoníaco es el refrigerante de uso predominante y cada vez mayor, y el HCFC-22 es el segundo refrigerante más común en términos de volumen de uso, aunque desde enero de 2001 las regulaciones europeas han prohibido el uso del HCFC-22 en los sistemas nuevos utilizados en todos los tipos de equipos de refrigeración. Los refrigerantes de CFC como el CFC-12 y el R-502, que representan un volumen menor, están siendo reemplazados por el HFC-134a y R-404A, R-507A y R-410A. El CFC-13 y el R-503 están siendo sustituidos por el HFC-23 y el R-508A o el R-508B. El HCFC-22 es reemplazado por el R-410A pues la eficiencia energética de los sistemas con R-410A puede ser ligeramente superior a la de los que utilizan HCFC-22, y el R-410A es similar al amoníaco en cuanto a las temperaturas de evaporación, que llegan a -40°C. Los refrigerantes de hidrocarburos se han utilizado tradicionalmente en grandes plantas de refrigeración en las industrias del petróleo y el gas.

El CO₂ está comenzando a encontrar aplicación en este subsector como refrigerante de baja temperatura y en sistemas

configurados en cascada, con amoníaco en la fase superior y CO₂ en la fase inferior. La eficiencia energética de los sistemas que funcionan con CO₂ puede ser similar a la de los que usan HCFC-22, amoníaco y R-410A, con un rango de evaporación de entre -40°C y -50°C. El CO₂ también se usa como fluido termostator en los sistemas indirectos.

Se estima que las tasas anuales de fuga de refrigerantes de los sistemas de refrigeración industrial oscilan entre 7 y 10%, mientras que, según se ha informado, las tasas de fuga en los sectores de la elaboración y el almacenamiento refrigerado de alimentos y refrigeración industrial combinados representaron en 2002 el 17% del total de refrigerantes almacenados en los sistemas. Los depósitos de refrigerantes estaban compuestos por un 35% de amoníaco y un 43% de HCFC-22 calculados según el peso, mientras que el resto lo componían CFC, HFC e hidrocarburos. En el cuadro RT-14 puede verse la distribución en 2002 de los principales refrigerantes y emisiones en todo este sector.

Las opciones de reducción de las emisiones consisten en utilizar refrigerantes con un menor PCM, mejorar el diseño de los equipos y las operaciones de manera de reducir la carga de refrigerantes en los sistemas, mejorar los métodos de confinamiento y recuperación de los refrigerantes y aumentar la eficiencia energética introduciendo innovaciones en el diseño de los sistemas. Se debe calcular la repercusión climática durante el ciclo de vida (LCCP) y usar los valores resultantes para optimizar la elección del refrigerante y el diseño de sistemas que causen el menor impacto ambiental posible. Se ha determinado que el costo de reducir las emisiones de los refrigerantes utilizados en la refrigeración industrial oscila entre US\$ 27 y US\$ 37 por tonelada de CO₂-eq (con una tasa de descuento del 8% año⁻¹).

4.1.4 Transporte refrigerado

El subsector del transporte refrigerado comprende los sistemas de refrigeración utilizados para el transporte de productos enfriados o congelados por carretera, ferrocarril, aire y mar. Se usan varios tipos de configuraciones, ya sea a bordo de los buques, en contenedores con unidades individuales de refrigeración que pueden transportarse por mar, ferrocarril o carretera, o en camiones y vagones refrigerados. El subsector del transporte también abarca el uso de la refrigeración en los buques pesqueros que usan sistemas de refrigeración para la elaboración y el almacenamiento de alimentos.

Los requisitos técnicos de las unidades de transporte refrigerado son más rigurosos que los de otras aplicaciones de la refrigeración. Los equipos tienen que funcionar en una amplia gama de temperaturas ambiente y en condiciones meteorológicas extremadamente variables (radiación solar, lluvia, etc.). El equipo de transporte debe ser capaz de transportar muy diver-

Cuadro RT-14. Elaboración y almacenamiento refrigerado de alimentos y refrigeración industrial (2002).

	CFC (CFC-12 y R-502)	HCFC-22	Amoníaco NH ₃	HFC (HFC-134a, R-404A, R-507A, R-410A)
Capacidad de frío	25 kW–1 000 kW	25 kW–30 MW	25 kW–30 MW	25 kW–1 000 kW
Emisiones, toneladas año ⁻¹	9 500	23 500	17 700	1 900
Refrigerantes acumulados en depósitos, toneladas	48 500	127 500	105 300	16 200
Emisiones, % año ⁻¹	14%	18%	17%	12%

Cuadro RT-15. Transporte refrigerado, características y alternativas.

Subsector		Transporte marítimo y pesca	Transporte por carretera	Transporte por ferrocarril	Transporte en contenedores
Capacidad de frío	De Hasta	5 kW 1400 kW	2 kW 30 kW	10 kW 30 kW	Aprox. 5 kW
Carga de refrigerantes	De Hasta	1 kg Varias toneladas	1 kg 20 kg	10 kg 20 kg	Aprox. 5 kg
Porcentaje aproximado del depósito de refrigerantes del sector acumulado en este subsector		52% de 15 900 toneladas	27% de 15 900 toneladas	5% de 15 900 toneladas	16% de 15 900 toneladas
Porcentaje aproximado de las emisiones de refrigerantes del sector originadas en este subsector		46% de 6 000 toneladas	30% de 6 000 toneladas	6% de 6 000 toneladas	18% de 6 000 toneladas
Tecnología predominante		HCFC-22	HFC-134a, R-404A, R-410A	HFC-134a, R-404A, R-410A	R-404A
Otras tecnologías que se comercializan		Diversos HFC, amoníaco, amoníaco con CO ₂ para bajas temperaturas; sistemas con hidrocarburos para buques cisterna de transporte de gas; sistemas de absorción para parte de la carga de enfriamiento	Hidrocarburos, CO ₂ líquido o sólido, suspensión acuosa de partículas de hielo, placas eutécticas	CO ₂ sólido	HFC-134a, HCFC-22
Tecnologías de bajo PCM con posibilidades regulares o algo mejor que regulares de sustituir a los HCFC/HFC en los mercados		Amoníaco, o amoníaco con CO ₂ para bajas temperaturas	Hidrocarburos, sistemas de compresión con CO ₂ ; para trayectos cortos, una combinación de sistemas fijos de hidrocarburos o amoníaco con CO ₂ líquido, suspensión acuosa de partículas de hielo, o placas eutécticas	Hidrocarburos, sistemas de compresión con CO ₂ ; para ciertos tipos de transporte (por ej. determinadas frutas), una combinación de sistemas fijos de hidrocarburos o amoníaco con CO ₂ líquido, suspensión acuosa de partículas de hielo, o placas eutécticas	Sistemas de compresión con CO ₂
Situación de las alternativas		Plenamente desarrolladas. Algunos problemas de costos relacionados con la seguridad adicional que se requiere en los buques con instalaciones de amoníaco. Los hidrocarburos son prácticos sobre todo en los buques construidos con arreglo a normas de seguridad contra explosiones (por ej., buques de transporte de gas)	Los sistemas de hidrocarburos se han ensayado con éxito sobre el terreno, pero no tienen demanda y hay algunos requisitos adicionales con respecto a la utilización (capacitación de los conductores, estacionamiento). Se comercializan sistemas de CO ₂ líquido. Se han probado sistemas de compresión de CO ₂ en prototipos, pero los compresores abiertos que se necesitan en la mayoría de los sistemas, así como las fugas, siguen siendo un problema.	El CO ₂ sólido es de uso corriente, pero no es muy eficiente desde el punto de vista energético, es difícil de manipular y tiene grandes exigencias en términos de infraestructura; por lo tanto, hoy en día su uso se está eliminando gradualmente. Se están utilizando en forma creciente sistemas diseñados para remolques, optimizados para las exigencias del transporte por ferrocarril (resistencia a los golpes)	En etapa de desarrollo; pruebas con prototipos. Podrían estar disponibles próximamente si hay demanda

sos tipos de carga con diferentes exigencias de temperatura, y ser resistente y fiable para soportar condiciones de transporte a menudo difíciles. A pesar del diseño sólido y resistente de las unidades de transporte refrigerado, pueden producirse fugas en el sistema de refrigeración como consecuencia de vibraciones, sacudidas bruscas, golpes contra otros objetos y corrosión por el agua salada. Es fundamental asegurar el funcionamiento sin riesgos del equipo con todos los fluidos que éste utilice, sobre todo si no es fácil –como en el caso de los buques– proceder a una evacuación ante la fuga de refrigerantes. La seguridad debe ser un aspecto inherente a la elección de los fluidos

o debe garantizarse con una serie de medidas técnicas. También se requiere continuidad en el mantenimiento de los equipos, ya que es posible que los equipos de transporte tengan que ser revisados o reparados en distintas partes del mundo.

Los sistemas de refrigeración usan normalmente CFC-12, R-502, HCFC-22, HFC-134a, R-404A, R-507A, R-410A y R-407C. Hay otras opciones con un menor PCM, como el amoníaco, los hidrocarburos y la combinación amoníaco/CO₂, que se han comercializado en algunas aplicaciones de compresión de vapor. El CO₂ en forma de hielo, líquido o sólido, se utiliza en

algunos sectores del transporte refrigerado, como el transporte por carretera, ferrocarril o aire. En el cuadro RT-15 se da un panorama general de las distintas aplicaciones que se usan actualmente, y del grado de desarrollo de las nuevas alternativas. Se estima que los depósitos de refrigerantes albergan hoy en día 3 300 toneladas de CFC, 3 200 toneladas de HCFC-22 y 9 500 toneladas de mezclas de HFC y HFC; se prevé que el total de refrigerantes almacenados pasará de las 16 000 toneladas actuales a 23 000 toneladas en 2015 (en un escenario sin cambios). Se estima que las 6 000 toneladas anuales de emisiones de todos los refrigerantes combinados pasarán a ser 8 700 toneladas anuales en 2015 en un escenario sin cambios, o 5 250 toneladas anuales como resultado de los crecientes esfuerzos realizados para recuperar y reciclar los refrigerantes y confinarlos mejor, utilizando compresores sellados herméticamente. Estas últimas opciones, al igual que la sustitución de los fluorocarbonos por alternativas con un menor PCM, reducirían considerablemente las emisiones de CO₂ equivalente.

Actualmente es posible sustituir los refrigerantes por otras opciones con un menor PCM en todas las aplicaciones del transporte refrigerado en las que se usan CFC, HCFC o HFC; véase el cuadro RT-15. En varios casos, estas opciones pueden incrementar los costos del sistema de refrigeración debido a los costos propios de los equipos y de sus sistemas de seguridad. Cabe recordar que para los propietarios de los equipos de transporte, en ausencia de incentivos externos, el costo inicial del sistema de transporte y de la planta de refrigeración es mucho más importante que los costos de funcionamiento de la instalación.

Debido a que las tasas de fuga de refrigerantes oscilan entre 25 y 35%, la sustitución de un HFC como el R-404A por una alternativa de menor PCM determinaría normalmente una disminución del efecto de calentamiento total equivalente (TEWD), siempre que el consumo de energía no fuera sustancialmente mayor que en los sistemas actuales. En algunas aplicaciones, la reducción del efecto de calentamiento total equivalente podría llegar a ser muy importante.

Existen muchas oportunidades para reducir el consumo de energía en los sistemas de transporte refrigerado, entre ellas el mejoramiento de los sistemas de aislamiento para disminuir las pérdidas de frío y la carga, el control de la frecuencia de compresión para condiciones de carga parcial, el uso de condensadores por enfriamiento de agua para sistemas instalados a bordo de buques y el mantenimiento preventivo para reducir la acumulación de impurezas que puedan obstruir los intercambiadores de calor.

4.2 ¿Cuáles son las conclusiones más importantes en relación con el sector del aire acondicionado y la calefacción de uso residencial y comercial?

Las aplicaciones, equipos y productos comprendidos en el sector del aire acondicionado y la calefacción de uso residencial y comercial pueden clasificarse en tres grupos: acondicionadores de aire fijos (tanto los equipos que enfrían el aire como las bombas de calor que calientan directamente el aire), enfriadores y equipos de calefacción mediante bombeo de agua caliente.

Los acondicionadores de aire fijos corresponden generalmente a seis categorías claramente diferenciadas: 1) los instalados en

ventanas y a través de la pared; 2) los de uso residencial y comercial con componentes separados (*"split"*) y sin ductos; 3) los módulos únicos sin ductos; 4) los que usan agua sin ductos; 5) los de uso residencial con ductos, ya sea con componentes separados (*"split"*) o de módulo único; 6) los de uso comercial con ductos, ya sea con componentes separados (*"split"*) o de módulo único. Los enfriadores de agua acoplados a sistemas de manejo y distribución de aire se utilizan habitualmente para climatizar grandes locales comerciales. Los sistemas de calefacción mediante bombeo de agua caliente se fabrican utilizando distintas fuentes de calor: el aire, el agua de lagos y ríos, y el suelo.

¿Qué refrigerantes se usaban anteriormente?

- HCFC-22 en acondicionadores de aire unitarios;
- HCFC-22 y R-502 en sistemas de calefacción mediante bombeo de agua caliente;
- CFC-11, CFC-12, HCFC-22 y R-500 en enfriadores de agua centrífugos;
- HCFC-22 y CFC-12 (en menor medida) en enfriadores de agua por desplazamiento positivo.

Acondicionadores de aire fijos: La amplia mayoría de los acondicionadores de aire fijos (y las bombas de calor que calientan directamente el aire) usan la tecnología de ciclos de compresión de vapor con el refrigerante HCFC-22. Casi todos los acondicionadores de aire frío fabricados con anterioridad a 2000 funcionan utilizando este fluido como refrigerante.

Enfriadores de agua: Los enfriadores con compresores de tornillo, espiral y pistón generalmente usan HCFC-22. Algunos de los enfriadores de pistón más pequeños (de menos de 100 kW) se ofrecían con el refrigerante CFC-12. En los Estados Unidos, Asia y Europa se fabrican enfriadores centrífugos. Con anterioridad a 1993, estos enfriadores se fabricaban con CFC-11, CFC-12, R-500 y HCFC-22 como refrigerantes.

Sistemas de calefacción mediante bombeo de agua caliente: Anteriormente los refrigerantes de uso más común en las bombas por compresión de vapor eran el R-502 y el HCFC-22.

¿Cuáles son las prácticas actuales?

Acondicionadores de aire fijos: A nivel mundial, según una estimación aproximada, más del 90% de los aparatos de aire acondicionado frío (y caliente) que se fabrican usan el HCFC-22 como refrigerante. En algunos países este refrigerante ha comenzado a eliminarse gradualmente antes de los plazos establecidos por el Protocolo de Montreal. Los refrigerantes que se están utilizando para reemplazar al HCFC-22 son los mismos en todas las categorías de equipos fijos de aire acondicionado: el HFC-134a, mezclas de HFC e hidrocarburos. También se está considerando la posibilidad de usar el CO₂ en esta aplicación. Actualmente se usan mezclas de HFC en la gran mayoría de los sistemas que no utilizan SAO, mientras que en un pequeño porcentaje de sistemas de carga reducida se usan hidrocarburos.

Enfriadores de agua: Los HFC y las mezclas de HFC (en particular el R-407C y el R-410A) están comenzando a reemplazar al HCFC-22 en las ventas de las nuevas unidades enfriadoras por desplazamiento positivo. Se han diseñado enfriadores de tornillo por enfriamiento de agua de mayor potencia (algunos de más de 350 kW) que usan HFC-134a en lugar de HCFC-22.

En Europa se usa amoníaco en algunos enfriadores y todos los años se fabrican unos pocos enfriadores de pequeñas dimensiones que usan hidrocarburos como refrigerantes. El HCFC-123 y el HFC-134a han remplazado al CFC-11 y al CFC-12 en los enfriadores centrífugos fabricados a partir de 1993.

Sistemas de calefacción mediante bombeo de agua caliente:

En los países desarrollados, el HCFC-22 continúa siendo el refrigerante de uso más común, pero actualmente se están incorporando otras opciones en sustitución de los HFC. En los países en desarrollo también se sigue usando el CFC-12, aunque en forma limitada. Dos opciones posibles para sustituir a los HFC en los pequeños sistemas de calefacción residencial y comercial son los hidrocarburos y el CO₂. Los hidrocarburos se están usando en Europa y el CO₂ en Europa y Asia.

¿Cuáles son las posibles tendencias futuras?

Las opciones para reducir las emisiones de GEI provenientes de los equipos de aire acondicionado y calefacción de uso residencial y comercial suponen el confinamiento de las sustancias en todos los sistemas de compresión de vapor que usan CFC/HCFC/HFC a nivel mundial y en todos los equipos, y el uso de sistemas que no utilicen CFC/HCFC/HFC. Esta última opción no es viable en todos los casos debido a factores económicos, de seguridad y eficiencia energética.

El confinamiento puede lograrse mediante mejoras en el diseño, la instalación y el mantenimiento de los sistemas que permitan reducir las fugas y minimizar la carga de refrigerantes, y mediante la recuperación, el reciclado y la regeneración de los refrigerantes en el momento de la reparación o la eliminación del equipo. Para poder reducir al mínimo las emisiones que se producen durante la instalación, la reparación o la eliminación de los equipos, es necesario contar con personal calificado que utilice las herramientas e instrumentos especiales para tal fin. En el cuadro RT-11 se indican las emisiones iniciales de referencia y las emisiones estimadas para 2015 en un escenario de mitigación.

¿Qué son los refrigerantes alternativos con bajo PCM?

Según la aplicación de que se trate, los refrigerantes alternativos que podrían utilizarse para sustituir a los HFC en los equipos de aire acondicionado y calefacción para uso residencial y comercial son los hidrocarburos, el amoníaco, el agua y el CO₂.

Acondicionadores de aire fijos: El uso de hidrocarburos en los acondicionadores de aire frío con niveles de carga de refrigerantes superiores a 1 kg ha sido objeto de un profundo análisis de riesgo y ha dado lugar a la elaboración de normas de seguridad (por ejemplo, la Norma Europea EN 378). El problema más importante que deberá resolver un fabricante al considerar el uso de hidrocarburos como refrigerantes es determinar un nivel aceptable de riesgo y la responsabilidad conexa.

El CO₂ tiene varias propiedades convenientes como refrigerante: disponibilidad, baja toxicidad, bajo PCM directo y costo reducido. Es probable también que los sistemas fabricados con CO₂ sean de menor tamaño que los que usan refrigerantes

comunes. Sin embargo, estas ventajas se ven compensadas por el hecho de que el uso del CO₂ en las aplicaciones de aire acondicionado exige altas presiones de funcionamiento, lo que reduce la eficiencia operativa y por ende contribuye a producir un mayor nivel de emisiones indirectas de CO₂ a causa del mayor consumo de energía. Las pruebas con sistemas reales de aire acondicionado no optimizados han mostrado coeficientes de desempeño²¹ de hasta 2,25 a temperaturas de entrada de aire de 35°C, en comparación con coeficientes de desempeño de hasta 4,0 en equipos comunes que usan HCFC-22.

Enfriadores de agua: Existen en el mercado enfriadores de desplazamiento positivo que usan amoníaco como refrigerante y que tienen una capacidad de 100 a 2 000 kW, y unos pocos que tienen una capacidad aún mayor. Las directrices sobre buenas prácticas recomiendan que se limite el uso de grandes sistemas con amoníaco en edificios públicos a los casos en que el amoníaco se encuentra confinado en una sala de máquinas con alarmas y sistemas de ventilación y depuración que aumenten la seguridad. También existen directrices para el diseño y la aplicación sin riesgos de sistemas con amoníaco. En las unidades modernas y compactas que se fabrican actualmente, el amoníaco está confinado de manera mucho más eficaz que en las antiguas plantas de amoníaco.

Los refrigerantes elaborados con hidrocarburos tienen una larga historia de aplicación en los enfriadores industriales de las plantas petroquímicas. Hasta 1997 no se usaron en aplicaciones de climatización de ambientes con acondicionadores de aire frío debido a las reservas que existían con respecto a la seguridad de estos sistemas. Actualmente los fabricantes europeos ofrecen una gama de enfriadores de desplazamiento positivo que usan hidrocarburos. Las ventas anuales de enfriadores con hidrocarburos oscilan entre 100 y 150 unidades, sobre todo en el norte de Europa, lo que representa una cifra pequeña en comparación con la base instalada de más de 77 000 enfriadores con HCFC y HFC en Europa. Entre las medidas de seguridad habituales cabe mencionar la colocación del enfriador en un lugar apropiado y/o su cierre hermético, la aplicación del diseño de sistemas de carga reducida, el uso de sistemas de ventilación con dispositivos de seguridad para el caso de fallas y sistemas que activan una alarma al detectar una fuga de gas. La eficiencia es similar a la de otros productos equivalentes que usan HCFC-22. El costo de los enfriadores que utilizan hidrocarburos es más alto que el de sus equivalentes con HCFC o HFC.

Se está investigando el uso del CO₂ para una amplia gama de posibles aplicaciones. Sin embargo, el CO₂ no iguala la eficiencia del ciclo energético de los fluorocarbonos utilizados como refrigerantes en las aplicaciones comunes por enfriamiento de agua y, por ende, no existe un incentivo ambiental para usar CO₂ en los enfriadores en lugar de HFC. Hasta la fecha no se han registrado aplicaciones comerciales del CO₂ en enfriadores.

El agua es una opción atractiva porque no es tóxica ni inflamable. Sin embargo, es un refrigerante que funciona a muy baja presión. Debido a las bajas presiones y las tasas muy elevadas de flujo volumétrico que requieren los sistemas de compresión

²¹ El coeficiente de desempeño (en inglés COP, *Coefficient of Performance*) es una medida de la eficiencia energética de un sistema de refrigeración.

de vapor de agua, es necesario recurrir a diseños de compresores que son poco habituales en el sector del aire acondicionado. Las pocas aplicaciones que existen usan el agua como refrigerante para enfriar el agua o producir una suspensión acuosa de partículas de hielo por evaporación directa de un depósito de agua. Actualmente, el costo de estos sistemas supera en más del 50% el de los sistemas convencionales mencionados. Estos costos más altos son inherentes y se asocian al gran tamaño de los enfriadores por vapor de agua y a la complejidad de la tecnología de su compresor.

Sistemas de calefacción mediante bombeo de agua caliente: Algunos fabricantes europeos están usando propano (HC-290) o propileno (HC-1270) como refrigerantes en sistemas pequeños de calefacción mediante bombeo de agua caliente de carga reducida para uso residencial y comercial. El circuito de hidrocarburos suele estar instalado en el exterior o en un espacio interior ventilado y usa como fuentes el aire ambiente, agua de superficie o agua subterránea.

En las aplicaciones por calentamiento de agua, el propano tendrá una eficiencia energética igual o ligeramente superior a las que usan el HCFC-22. Cuando se diseñan nuevas bombas de calor con propano u otros refrigerantes inflamables, se deben tomar las precauciones necesarias para garantizar la seguridad durante el funcionamiento y mantenimiento de los equipos. En Europa, Australia y Nueva Zelanda ya existen o se están elaborando varias normas que regulan el uso de los hidrocarburos en las bombas de calor. Por ejemplo, una de las normas en proceso de elaboración es una actualización de la Norma Europea EN 378.

El ciclo transcrito del CO₂ muestra una marcada disminución de la temperatura en el nivel superior, que puede constituir una ventaja en un intercambiador de calor de flujo cruzado. Las bombas de calor que usan CO₂ como refrigerante pueden hacer subir la temperatura del agua hasta 90°C y en el Japón se han diseñado para uso doméstico. La capacidad calorífica normal es de 4,5 kW.

El amoníaco se ha utilizado en bombas de calor de tamaño mediano y gran capacidad, principalmente en Escandinavia, Alemania, Suiza y los Países Bajos. Las medidas de seguridad aplicables a las bombas de calor que usan amoníaco son similares a las de los enfriadores que usan esa sustancia.

¿Qué son las tecnologías alternativas que no dependen del uso de fluorocarbonos?

Se han examinado varias tecnologías no tradicionales para evaluar su capacidad de reducir el consumo y la emisión de HFC. Entre ellas cabe mencionar los sistemas desecantes, los del ciclo de Stirling, los termoeléctricos, los termoacústicos y la refrigeración magnética. Con excepción del ciclo de Stirling y los desecantes, todas estas tecnologías tienen problemas de eficiencia tan importantes que los efectos indirectos consiguientes superarían cualquier beneficio que aportaran en términos de reducción de las emisiones directas. El ciclo de Stirling, si bien despierta el interés de los investigadores, se ha limitado a aplicaciones muy específicas y reducidas y nunca se ha comercializado en el sector del aire acondicionado. En aplicaciones de carga latente alta, los sistemas desecantes se han aplicado para complementar el desempeño latente de los sistemas mecánicos tradicionales de aire acondicionado.

¿Cuál es el potencial total de reducción?

Las emisiones directas de GEI provenientes de los equipos de aire acondicionado y calefacción para uso residencial y comercial pueden reducirse en alrededor de 200 MtCO₂-eq año⁻¹ en un escenario sin cambios (2015). Los **costos específicos** de esa reducción oscilan entre US\$ -3 y US\$ 170 por tonelada de CO₂-eq. El aumento de la eficiencia energética de los sistemas puede reducir considerablemente las emisiones indirectas de GEI y conducir en algunos casos a un ahorro total de US\$ 75 por tonelada de CO₂-eq. Es posible encontrar oportunidades de reducir las emisiones directas de GEI (por ejemplo, refrigerantes) mediante: 1) una recuperación más eficiente de los refrigerantes al término de la vida útil de los equipos (que en el escenario de mitigación se estima que será de hasta 50% y 80% en los países en desarrollo y desarrollados, respectivamente); 2) la reducción de la carga (hasta 20%); 3) un mejor confinamiento, y 4) el uso de refrigerantes que no contengan fluorocarbonos, en las aplicaciones que lo permitan.

4.3 ¿Cuáles son las conclusiones más importantes en relación con el sector de los equipos móviles de aire acondicionado?

¿Cuáles han sido las tendencias anteriores y cuáles son las actuales en el sector de los equipos móviles de aire acondicionado?

Los sistemas móviles de aire acondicionado se han producido en gran escala en los Estados Unidos desde principios del decenio de 1960 y en el Japón a partir de los años setenta. El aumento sustancial en la cantidad de vehículos con aire acondicionado en Europa y también en los países en desarrollo comenzó más tarde, aproximadamente en 1995.

Como se indica en el cuadro RT-16, la flota mundial que usa CFC-12 ha disminuido de aproximadamente 212 millones de vehículos en 1990 a 119 millones en 2003, mientras que la flota que utiliza HFC-134a pasó de menos de un millón de vehículos en 1992 a 338 millones en 2003.

Sobre la base de un escenario sin cambios y teniendo en cuenta el fuerte crecimiento económico de los países en rápido desarrollo, el gráfico RT-11 muestra el aumento proyectado en la flota equipada con aire acondicionado, que en 2015 llegaría a ser de aproximadamente 965 millones de vehículos con aire acondicionado.

¿Cuáles son las emisiones actuales y sus proyecciones?

Las emisiones provenientes de vehículos que aún tienen sistemas de aire acondicionado con CFC-12 son de alrededor de 531 g año⁻¹ por vehículo si se incluyen todos los tipos de emisiones (las emisiones fugitivas representan 220 g año⁻¹ por vehículo). En algunos países se recupera y recicla el CFC-12 de los vehículos al término de su vida útil, pero como consecuencia de esas prácticas, en última instancia el CFC-12 se libera de todos modos en la atmósfera, a menos que sea destruido. Las emisiones anuales (2002) de la flota mundial de vehículos con sistemas de aire acondicionado que usan CFC-12 son aproximadamente de 514 MtCO₂-eq año⁻¹ (las emisiones fugitivas representan 213 MtCO₂-eq año⁻¹). Las proyecciones indican

Cuadro RT-16. Evolución de la flota de vehículos con aire acondicionado y elección de refrigerantes entre 1990 y 2003.

Año	Flota de vehículos con AC (millones)	
	CFC-12	HFC-134a
1990	212	-
1991	220	-
1992	229	0,7
1993	229	10
1994	222	27
1995	215	49
1996	206	74
1997	197	100
1998	186	128
1999	175	161
2000	163	198
2001	149	238
2002	134	285
2003	119	338

que los efectos del subsector de sistemas móviles de aire acondicionado en el forzamiento radiativo del sistema climático estará dominado por las emisiones de CFC-12 por lo menos hasta 2006.

Se estima que las emisiones directas de la flota mundial de vehículos con sistemas de aire acondicionado basados en el uso del HFC-134a son de alrededor de 220 g año⁻¹ por vehículo,

incluidas las emisiones fugitivas, que representan 130 g año⁻¹ por vehículo o, expresado en términos de CO₂ equivalente, unas 96 MtCO₂-eq año⁻¹, incluidas las emisiones fugitivas, que representan 56 MtCO₂-eq año⁻¹. El uso de los actuales paquetes "hágalo usted mismo" para la recarga de acondicionadores de aire, que usan recipientes desechables para los fluidos, como mínimo duplica la liberación de emisiones en la atmósfera, en comparación con las que se liberan cuando el mantenimiento lo realiza personal calificado, con elementos más eficientes para el manejo de los fluidos.

En el cuadro RT-11 se pone énfasis en el rápido cambio en la elección de refrigerantes a que ha dado lugar la aplicación del Protocolo de Montreal.

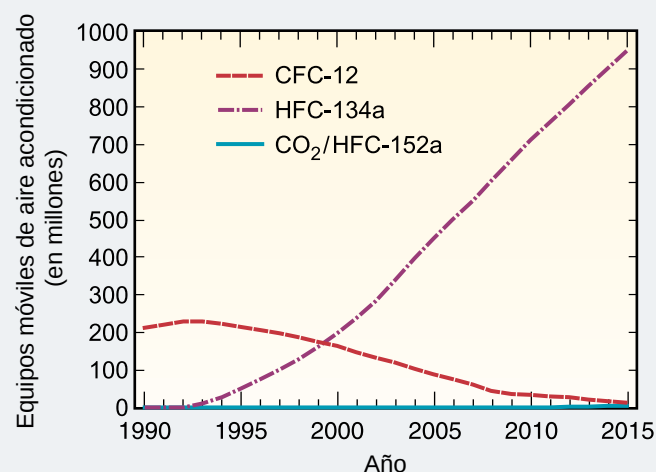
¿Cuáles son las emisiones indirectas de CO₂ relacionadas con la energía que se originan en el funcionamiento de los sistemas móviles de aire acondicionado?

El funcionamiento de los sistemas móviles de aire acondicionado a nivel mundial genera un efecto indirecto considerable debido al uso de una mayor cantidad de combustible y a las consiguientes emisiones de CO₂. Este efecto, que las pruebas y normas sobre el consumo actual de combustible en la industria automotriz no evalúan explícitamente, varía según la zona climática. Dependiendo de las condiciones climáticas, se estima que los sistemas móviles de aire acondicionado representan un consumo adicional de combustible de 2,5 a 7,5%, que equivalen a un volumen aproximado de entre 126 kg (Tokio) y 369 kg (Phoenix) de CO₂ año⁻¹ por vehículo. Dado que el número total de vehículos con aire acondicionado se estima en 457 millones (2003), el efecto indirecto equivale a 114 MtCO₂-eq año⁻¹ (cuando se calcula como promedio de la flota mundial y se presume un valor medio de 250 kg de CO₂ año⁻¹ por vehículo), en comparación con 750 MtCO₂-eq año⁻¹ de emisiones directas.

¿Cuáles son las posibles tendencias futuras de los sistemas móviles de aire acondicionado?

Para reducir las emisiones de GEI existen las opciones siguientes: 1) mejorar los sistemas que actualmente usan HFC-134a, y 2) comenzar a usar refrigerantes con un menor PCM, ya sea el HFC-152a o el CO₂. Los fabricantes y distribuidores de vehículos no consideran que los hidrocarburos usados como refrigerantes, aunque tienen un bajo PCM y son eficientes cuando se los usa apropiadamente, sean una opción conveniente debido a aspectos de seguridad.

Gradualmente se están introduciendo en el mercado sistemas "mejorados" que usan HFC-134a, con un costo adicional de entre US\$ 24 y US\$ 36 por sistema. Emplean mangueras, compresores y válvulas más ajustadas, todo lo cual reduce las pérdidas. Hay estudios recientes que sugieren que el mejoramiento de los sistemas que usan HFC-134a y de las técnicas de mantenimiento podría dar lugar a emisiones de alrededor de 70 g año⁻¹ por vehículo, es decir, aproximadamente un 60% menos que las emisiones de los sistemas actuales que usan HFC-134a. Si además se mejoran las prácticas de recuperación y de capacitación en tareas de mantenimiento y reparación, las emisiones podrían disminuir aún más. El uso de compresores de sistemas de volumen variable con controles externos, que también se están introduciendo gradualmente en el mercado, puede traer aparejados importantes ahorros de energía. También se pueden generar ahorros mediante el diseño de sistemas

**Gráfico RT-11.** Evolución de la flota de vehículos con aire acondicionado entre 1990 y 2015 de acuerdo con el escenario sin cambios.

Cuadro RT-17. Comparación de las opciones en el sector de los sistemas móviles de aire acondicionado.

	HFC-134a (referencia)	HFC-134a mejorado	CFC-12 (antiguo)	CO ₂ (en etapa de desarrollo)	HFC-152a (sistema directo, en etapa de desarrollo)
Características de la sustancia					
Eficiencia radiativa (W m ⁻² ppm ⁻¹)	0,16	0,16	0,32	Véase el cap. 2	0,09
Tiempo de vida en la atmósfera (años)	14	14	100	Véase el cap. 2	1,4
PCM directo (horizonte temporal de 100 años)					
– Este informe	1 410	1 410	10 720	1	122
– CMCC ^a	1 300	1 300	8 100	1	140
Datos técnicos					
Etapas de desarrollo	Comercial	Casi comercial	Comercial	Demostración	Demostración
Ciclo de vida del sistema	12–16	12–16	12–16	12–16	12–16
Capacidad de frío (kW)	6	5	6	6	6
Carga (kg por sistema)					
– Margen de variación	0,7–0,9	0,6–0,75	1–1,2	0,5–0,7	0,45–0,55
– Cifras relativas	100%	80%	125%	70%	70%
Número de cargas durante el ciclo de vida	2–3	1–2	4	2–4	1–2
Coefficiente de desempeño	0,9–1,6	1,2–2,5	0,9–1,2	0,9–2,0	1,2–2,0
Consumo de energía (cifras relativas)	100%	80%	130%	70%	70%
Emisiones por unidad funcional					
Emisiones directas					
– en % de carga año ⁻¹	15	7	20	15	15
– en kg de CO ₂ -eq año ⁻¹	166	64	1 782	0,09	4,9
– (cifras relativas)	100%	40%	1 043%	0,05%	2,9%
Emisiones indirectas de CO ₂ (kg CO ₂ año ⁻¹)					
– Sevilla	184	147	239	129	129
– Tokyo	126	101	163	88	88
– Phoenix	369	295	480	258	258
Eficiencia de recuperación de las emisiones al término de la vida útil ^b	0%	50%	0%	0%	50%
TEWI (kg CO ₂ -eq durante 14 años)					
– Sevilla					
– Tokyo	4 900	2 954	28 294	1 807	1 875
– Phoenix	4 088	2 310	27 230	1 233	1 301
(sin recuperación) ^b	7 490	5 026	31 668	3 613	3 681
Costos por unidad funcional					
Costos de inversión (en US\$)	215	24–36	n.d.	48–180	48–180

Notas:

^a Los valores del PCM usados para estos cálculos son los de la CMCC.^b Debido a las grandes incertidumbres que existen con respecto a la eficacia de la recuperación, los cálculos del efecto de calentamiento total equivalente (TEWI) no tienen en cuenta la recuperación, por lo que el promedio anual de emisiones directas de los “sistemas de HFC-134a mejorados” es de 100 g año⁻¹.

móviles de aire acondicionado que tengan en cuenta las limitaciones en la eficiencia energética.

Hay varios estudios recientes que indican que el aumento de la eficiencia energética mediante la introducción de medidas como el uso de controles de encendido y apagado en lugar de mantener a los equipos funcionando de manera continua y uniforme, o el aislamiento de las puertas y los techos, podría reducir estas emisiones en alrededor del 30 al 40%, lo que representa entre 30 y 40 MtCO₂-eq año⁻¹.

Los sistemas móviles de aire acondicionado que usan CO₂ se han probado con éxito en vehículos de pasajeros y autobuses comerciales. El CO₂ tiene un PCM que es 1 300 veces menor que el del HFC-134a, limitando así los efectos directos por carga. Sin embargo, los sistemas con CO₂ funcionan a presiones que son aproximadamente ocho veces mayores que las del CFC-12 y HFC-134a (presiones de descarga del orden de 12 MPa), y puesto que las tasas de fugas están relacionadas con el cuadrado de la presión, el confinamiento del CO₂ en los sistemas que lo utilizan resulta mucho más difícil. Hasta la fecha, los sistemas

que usan CO₂ han demostrado una eficiencia energética igual o superior a la de los sistemas de HFC-134a mejorados en ambientes más fríos, pero es probable que sean menos eficientes en climas más cálidos. No obstante, como se indica en el cuadro RT-17, debido a que su efecto directo es prácticamente insignificante, el efecto de calentamiento total equivalente (TEWI) de los sistemas que usan CO₂ es considerablemente más favorable que el de los sistemas de HFC-134a mejorados. Algunos de los obstáculos para su comercialización son la necesidad de resolver el problema de los costos adicionales y los aspectos de seguridad vinculados a la liberación de CO₂ dentro de la cabina de pasajeros, las dificultades de mantenimiento y el costo de conversión del sistema.

En los sistemas móviles de aire acondicionado también se ha probado con éxito el HFC-152a. Si bien los sistemas que usan HFC-152a pueden usar los mismos componentes que los sistemas con HFC-134a, los primeros requieren un sistema de seguridad adicional porque el HFC-152a es inflamable, mientras que el HFC-134a no lo es. Las emisiones directas (en CO₂ equivalente) son muy bajas (suponen una reducción del 92% con respecto al valor de referencia del HFC-134a). Hasta ahora, los sistemas que usan HFC-152a han demostrado una eficiencia energética igual o mayor que la de los sistemas de HFC-134a mejorados, pero esta ventaja energética podría perderse si se utiliza un sistema de circuito secundario por motivos de seguridad. Sin embargo, su efecto total sobre el clima, expresado como TEWI, sigue siendo considerablemente más reducido que el del HFC-134a y del mismo orden de magnitud que los sistemas que usan CO₂. En la actualidad, los principales obstáculos para su comercialización son la necesidad de eliminar los riesgos asociados a su carácter inflamable y de garantizar la disponibilidad comercial del HFC-152a a nivel mundial.

En el cuadro RT-17 se comparan los principales sistemas móviles de aire acondicionado actualmente en uso, en proceso de desarrollo o ya probados. Se indican los costos relativos de cada opción, así como los aspectos que deben tomarse en cuenta para evaluar los efectos en el forzamiento radiativo del sistema climático, incluidos los efectos indirectos. Cabe destacar que la elección de una determinada opción técnica en un año determinado sólo tendrá un efecto limitado durante los primeros años siguientes a su introducción, debido al volumen total de refrigerantes almacenados en la flota actual, y emitidos por ésta.

4.4 ¿Cuáles son las conclusiones más importantes en relación con las espumas?

¿En qué aplicaciones se usan actualmente las espumas y por qué?

Las espumas de polímeros (o polímeros celulares) se han usado tradicionalmente en una variedad de aplicaciones que utilizan su capacidad de crear estructuras flexibles o rígidas. Las espumas flexibles se siguen utilizando con eficacia en tapicería (relleno de almohadones y muebles), embalaje y material de protección contra golpes. Las espumas rígidas se usan fundamentalmente para aplicaciones de aislamiento térmico como el que se requiere en los aparatos electrodomésticos, el transporte y los edificios. También se utilizan para dar integridad estructural y flotabilidad.

En el caso de las aplicaciones del aislamiento térmico (que representan el uso mayoritario de las espumas rígidas), las fibras minerales (por ejemplo, la fibra de vidrio y la lana mineral) han sido y continúan siendo alternativas importantes que no dependen del uso de fluorocarbonos. En el cuadro RT-18 se describen las ventajas e inconvenientes principales de ambas opciones.

Las consecuencias de estas ventajas e inconvenientes relativos varían sustancialmente, tanto de un producto a otro dentro de una misma categoría, como de una aplicación a otra. Esto hace que sea imposible llegar a una conclusión genérica en cuanto a las preferencias. El mercado actual de aislamiento térmico contempla una variedad de soluciones (por lo menos 15 tipos principales de productos), lo cual refleja la gama de requisitos exigidos para cada aplicación. Lamentablemente sólo se dispone de datos limitados sobre el mercado del aislamiento térmico a nivel mundial y regional. Uno de los aspectos complejos del análisis del mercado mundial es la diferencia que existe entre las prácticas de construcción que se aplican en el mundo, que a menudo responden a la disponibilidad de materiales y a las condiciones climáticas.

Simplemente como ejemplo, cabe señalar que un análisis sistemático y periódico del mercado europeo del aislamiento térmico ha permitido identificar las tendencias registradas en el período 1990-2001 (gráfico RT-12). Este análisis indica una confianza creciente en el uso de espumas en las aplicaciones de aislamiento térmico, motivada en parte por el uso cada vez

Cuadro RT-18. Ventajas y desventajas del uso de fibras minerales y polímeros celulares en las aplicaciones del sector del aislamiento térmico

	<i>Fibra mineral</i>	<i>Polímeros celulares</i>
Ventajas	• Costo inicial • Disponibilidad • Temperatura máxima alta • Resistencia al fuego	• Propiedades térmicas basadas en el agente espumante • Resistencia a la humedad • Integridad estructural • Livianos
Desventajas	• Propiedades térmicas basadas en el aire • Resistencia a la humedad^a • Poca integridad estructural	• Resistencia al fuego (orgánicos) • Temperatura máxima limitada • Costo inicial (en algunos casos)

Nota:
^a Posible efecto en el resultado térmico a largo plazo.

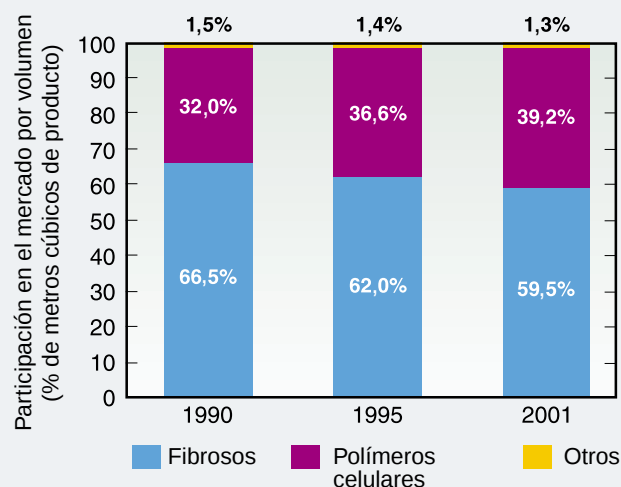


Gráfico RT-12. Variación del volumen de aislamiento por tipo de producto en Europa (1990-2001).

mayor de paneles con revestimiento metálico en Europa, que a su vez depende cada vez más del uso de rellenos de espuma. Sin embargo, la armonización de las clasificaciones de los incendios en Europa en los próximos cinco años puede determinar que esta tendencia se detenga o que incluso se revierta. Tal es la volatilidad de estos mercados y la importancia de mantener una variedad de tipos de productos.

Al analizar las opciones que no usan fluorocarbonos, es importante reconocer que continúa su desarrollo. Por ejemplo, parece probable que aumente el uso de paneles de aislamiento en vacío (matrices de espuma al vacío y selladas) en los refrigeradores y congeladores domésticos. De hecho, la mayor parte de las unidades japonesas ya están diseñadas con por lo menos uno de estos paneles en ubicaciones estratégicas. Entre otras posibilidades se incluyen las láminas reflectoras en capas múltiples, pero todavía falta mucho para que se compruebe su eficiencia térmica.

La relación entre las espumas, sus procesos de fabricación y sus aplicaciones es compleja. En el cuadro RT-19 se resumen las principales interrelaciones existentes entre los tipos de productos genéricos y sus aplicaciones, tanto en el caso de las espumas no aislantes como de las aislantes, mientras que en el capítulo principal se examina la superposición adicional en los procesos de fabricación.

¿Qué agentes espumantes se han usado históricamente y cuáles son las tendencias futuras?

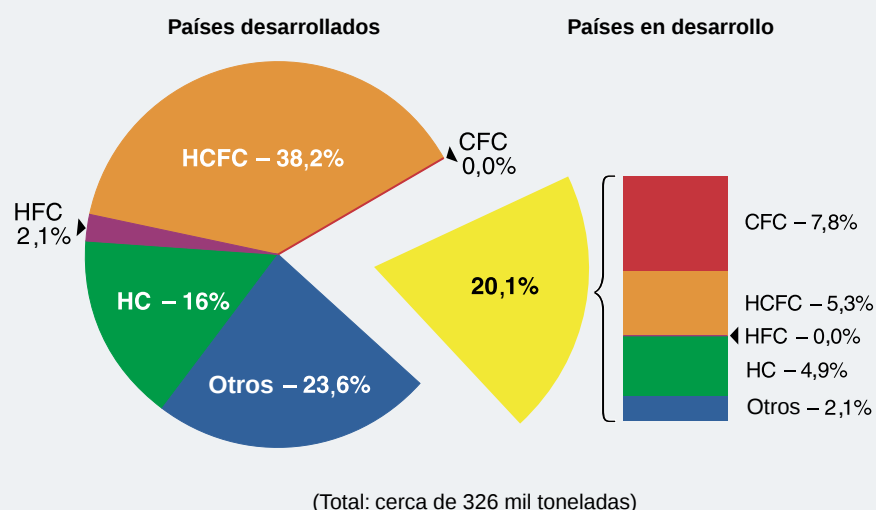
En el momento de descubrirse el agujero de la capa de ozono, a comienzos de los años ochenta, prácticamente todas las aplicaciones y tipos de productos enumerados anteriormente usaban el CFC, ya fuese como **agente espumante** primario (espumas rígidas) o auxiliar (espumas flexibles). En 1986 el consumo total de CFC en el sector de las espumas fue de aproximadamente 250 kilotoneladas (165 en las espumas rígidas y 85 en las flexibles). El uso total de agentes espumantes aumentó un 30% más en los 15 años siguientes a pesar de la mejora de la eficiencia de estos agentes y la reducción de las pérdidas. En el ínterin, sin embargo, se han evaluado y adoptado varios otros agentes espumantes. Entre ellos cabe mencionar los HCFC (como

Cuadro RT-19 Principales interrelaciones entre los tipos de productos genéricos y las aplicaciones de las espumas aislantes y las no aislantes.

Tipo de espuma (aislante)	Sector de aplicación							
	Refrigeración y transporte			Edificios y servicios para edificios				
	Aparatos electrodomésticos para el hogar	Otros aparatos electrodomésticos	Refrigeradores y transporte refrigerado	Aislamiento de paredes	Aislamiento de techos	Aislamiento de pisos	Aislamiento de tuberías	Cámaras frigoríficas
Poliuretano	√	√	√	√	√	√	√	√
Poliestireno extruido			√	√	√	√	√	√
Espumas fenólicas				√	√		√	√
Polietileno						√	√	

Tipo de espuma (no aislante)	Sector de aplicación					
	Transporte		Confort		Embalaje	Flotabilidad
	Asientos	Seguridad	Ropa de cama colchones, etc.	Muebles	Alimentos y otros	Navegación marítima y de recreo
Poliuretano	√	√	√	√	√	√
Poliestireno extruido					√	√
Polietileno					√	√

Gráfico RT-13. Desglose del uso de los agentes espumantes por tipo y por grupo de países (2001).



sustancias de transición), los hidrocarburos, los HFC, el cloruro de metileno (para las espumas flexibles) y diversas formas de CO₂. En el gráfico RT-13 se resume la situación del año 2001.

En el gráfico RT-14 puede verse el crecimiento proyectado del consumo de agentes espumantes en el sector de las espumas rígidas hasta 2015.

¿Cuáles son las consecuencias de las modalidades de uso pasadas, presentes y futuras?

Las modalidades de uso pasadas, presentes y futuras repercuten tanto en las emisiones como en la acumulación de depósitos de agentes espumantes. El gráfico RT-15 muestra las

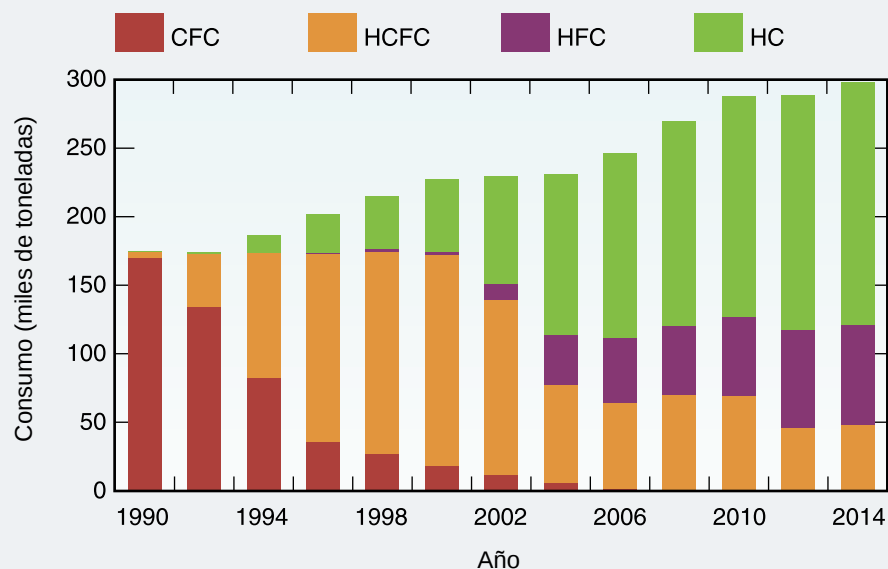
emisiones proyectadas para el período comprendido entre 1990 y 2015 sobre la base del uso pasado y futuro de agentes espumantes en las espumas. El gráfico indica la emisión anual proyectada de todos los tipos de agentes espumantes hasta 2015. En el cuadro RT-20 se evalúa la evolución proyectada de los depósitos por región y por sector de aplicación. Resulta claro que gran parte de las emisiones provenientes de las espumas utilizadas en los edificios no se han producido aún.

¿Qué es lo que determina la selección de los agentes espumantes?

Conductividad térmica

La capacidad de retener los agentes espumantes dentro de las espumas permite mejorar la eficiencia del aislamiento térmico

Gráfico RT-14. Crecimiento proyectado del consumo de agentes espumantes en el sector de la producción de espumas rígidas con posterioridad al año 2000.



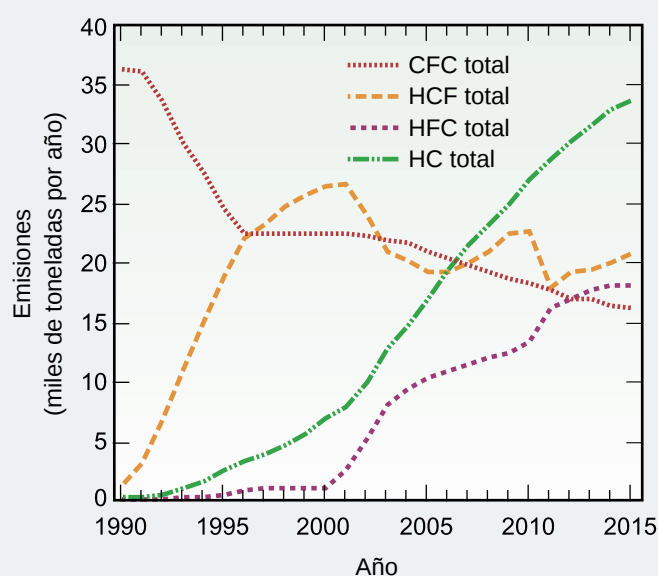


Gráfico RT-15. Emisiones mundiales anuales provenientes de agentes espumantes desglosadas por grupo (1990-2015).

en comparación con los productos rellenos de aire. Sin embargo, estas ventajas sólo pueden aprovecharse cuando la conductividad térmica de los agentes espumantes retenidos es menor que la del aire. Así sucede en el caso de todos los agentes espumantes indicados en el gráfico RT-15. No obstante, los resultados relativos de los distintos tipos de agentes espumantes varía con la temperatura; por ejemplo, las ventajas comparativas de los HFC respecto de los hidrocarburos son mayores en los refrigeradores (temperatura media de 5°C) que en los calentadores de agua (temperatura media de 40°C). Además, el tamaño y la forma de las celdas también influyen en el desempeño general de las espumas y, por ende, no siempre es fácil establecer comparaciones entre los productos.

Inflamabilidad (producto y proceso)

La elección de la matriz polimérica y del material de revestimiento, así como del agente espumante, influye en la inflamabilidad general de una espuma. Sin embargo, a menudo la contribución del agente espumante puede cambiar la clasificación de un producto o modificar la actitud de los aseguradores frente al riesgo planteado. Además, la manipulación de determinados agentes espumantes inflamables puede crear dificultades fundamentales en algunos procesos de espumas. Esto sucede sobre todo en el caso de las pequeñas y medianas empresas (PYME), para las que no existen economías de escala y en las que predominan los procesos discontinuos. En el caso de

Cuadro RT-20. Total mundial acumulado de depósitos de agentes espumantes desglosados por grupo (1990-2015).

Sector de aplicación	Agente espumante	1990 (toneladas)		2000 (toneladas)		2015 (toneladas)	
		Países desarrollados	Países en desarrollo	Países desarrollados	Países en desarrollo	Países desarrollados	Países en desarrollo
Aparatos electrodomésticos y transporte	CFC	378 000	108 000	238 000	222 000	450	15 500
	HCFC	0	0	177 000	32 100	75 700	265 000
	HFC	0	0	1 150	0	154 000	0
	HC	0	0	87 100	31 600	354 000	329 000
	Todos los agentes	378 000 (24,6%)	108 000 (53,7%)	503 250 (20,1%)	285 700 (58,1%)	584 150 (17,2%)	609 500 (58,5%)
Paneles de poliuretano, subtotal	CFC	233 000	34 300	283 000	70 500	262 000	75 100
	HCFC	0	0	96 000	3 700	142 000	94 800
	HFC	0	0	2 150	0	135 000	0
	HC	0	0	43 800	250	238 000	0
	Todos los agentes	233 000 (15,1%)	34 300 (17,1%)	424 950 (16,9%)	74 450 (15,1%)	777 000 (22,9%)	169 900 (16,3%)
Edificios y otros, subtotal	CFC	921 000	58 800	964 000	127 300	769 000	106 000
	HCFC	5 200	0	568 000	4 650	683 000	156 000
	HFC	0	0	200	0	269 000	150
	HC	1 150	0	47 500	50	311 000	0
	Todos los agents	927 350 (60,3%)	58 800 (29,2%)	1 579 700 (63,0%)	132 000 (26,8%)	2 032 000 (59,9%)	262 150 (25,2%)
Total	CFC	1 532 000	201 100	1 485 000	419 800	1 031 450	196 600
	HCFC	5 200	0	841 000	40 450	900 700	515 800
	HFC	0	0	3 500	0	558 000	150
	HC	1 150	0	178 400	31 900	903 000	329 000
	Todos los agentes	1 538 350	201 100	2 507 900	492 150	3 393 150	1 041 550

los agentes espumantes inflamables, los criterios de inversión varían considerablemente dependiendo de si la inversión está relacionada con una planta nueva o con la modificación de una ya existente. En este último caso, con frecuencia los costos pueden ser prohibitivos si la planta es antigua o si es propiedad de una empresa pequeña o mediana. Las cuestiones relativas a la responsabilidad del empleador también pueden generar preocupación en las regiones en las que existe una fuerte tradición de acciones judiciales.

¿Qué se ha hecho hasta ahora para minimizar el uso?

Cuando se toman en cuenta los tres aspectos mencionados anteriormente, los HFC surgen como la opción preferible en varios sectores de vital importancia, aunque los avances realizados en el desarrollo de tecnologías alternativas han determinado que su adopción sea limitada. Ejemplo de ello es la continua expansión de la aplicación de tecnologías que usan hidrocarburos. Sin embargo, incluso en los casos en que se ha optado por los HFC, quedan otros dos aspectos por considerar:

- 1) ¿Qué cantidad de HFC debe incluirse en la fórmula para lograr los resultados exigidos?
- 2) ¿Qué tipo de HFC debería elegirse?

El costo de los HFC puede ser un obstáculo general para su adopción. El costo de los agentes espumantes suele representar una proporción considerable de los costos variables totales. En consecuencia, todo aumento sustancial del costo de los agentes espumantes puede repercutir en los costos variables hasta en un 15%. En un mercado altamente competitivo, esos aumentos son insostenibles e impiden la selección, a menos que se pueda modificar la fórmula para reducir la dependencia del agente espumante más costoso. Un ejemplo de ello es el soplado conjunto de espumas de poliuretano basadas en HFC y CO₂ generado por la reacción del isocianato y el agua.

No obstante, la decisión global es compleja y se basa en una combinación del costo directo del agente espumante, aspectos vinculados a la fórmula del producto (por ejemplo, el uso de mayor cantidad de productos ignífugos o problemas con la densidad de la espuma), el desempeño del producto, la seguridad del proceso y los costos de capital. Como se señaló anteriormente, estos últimos son de particular importancia para las PYME y otros consumidores de pequeños volúmenes.

El efecto neto de considerar los aspectos relacionados con la demanda de HFC que acaban de mencionarse ha sido el de reducir los valores de las proyecciones anteriores (1999) sobre el consumo, de 115 kilotoneladas a 60 kilotoneladas en 2010. Esto ya puede considerarse una reducción facilitada por la aplicación de principios de uso responsable por parte de la industria de productos espumantes.

Selección del menor PCM

Puesto que los dos principales HFC líquidos (HFC-245fa y HFC-365mfc) tienen un PCM similar en un lapso de 100 años, la elección entre ambos ha dependido sobre todo de la ponderación de sus respectivos puntos de ebullición y eficiencia de espumación. En los agentes espumantes gaseosos, el HFC-152a tiene un PCM de 100 años muy inferior al del HFC-134a. Sin embargo, el HFC-152a es más inflamable que el HFC-134a y también se emite con mucho mayor rapidez desde ciertos tipos de espumas (por ejemplo el poliestireno extruido). Esto puede significar que los efectos a corto plazo del uso del HFC-152a pueden ser tan importantes como los del HFC-134a. Además, las cualidades de aislamiento térmico del HFC-152a pueden

durar poco tiempo. Todos estos factores deben evaluarse en el momento de elegir el agente espumante apropiado.

¿Qué otras medidas pueden reducir las emisiones futuras y qué pasos se deben dar?

Mayor grado de sustitución

Si bien la adopción de criterios responsables en la selección del HFC ha logrado reducir su consumo en el sector de las espumas casi un 50% más de lo que se había previsto en 1999, hay varios aspectos en los que tal vez podría lograrse una mayor sustitución durante los próximos 5 a 10 años. Por ejemplo:

- un mayor uso de hidrocarburos en las espumas de poliuretano en aerosol;
- un mayor uso de CO₂ en el poliestireno extruido (XPS);
- un uso más amplio de hidrocarburos en las espumas de los aparatos electrodomésticos;
- cambios en la actitud de los aseguradores con respecto al uso de hidrocarburos en los paneles.

Si bien los efectos de cada una de estas tendencias pueden proyectarse individualmente en modelos, las incertidumbres son demasiado grandes como para que los resultados tengan verdadero sentido. Por lo tanto, en esta evaluación se plantean dos escenarios de mitigación de alto nivel para evaluar los efectos de dichas opciones.

Aplicación de las buenas prácticas en los procesos

Ya se ha comenzado a trabajar para establecer procedimientos con el fin de detectar y reducir al mínimo las pérdidas que se producen en los procesos. Si bien esta tarea es importante para determinar la forma correcta de manejo de los HFC en los procesos de las espumas, es improbable que se pueda evitar más del 2 ó 3% de las emisiones totales liberadas durante el ciclo de vida, porque la mayoría de los procesos ya usan buenos sistemas para evitar las pérdidas. Una excepción podrían ser las emisiones que se producen cuando se aplica poliuretano en aerosol, un aspecto en el que es preciso redoblar esfuerzos para tratar de cuantificar las pérdidas; las iniciativas futuras a este respecto podrían lograr mejoras en el diseño de las cabezas de los pulverizadores.

Gestión de desechos

La reducción de los desechos al mínimo es un objetivo claro de todas las empresas. Sin embargo, los fabricantes de espumas deben enfrentar algunas dificultades muy concretas:

- la proliferación de productos que requieren procesos de fabricación más versátiles;
- las pérdidas inherentes al proceso de fabricación (por ejemplo, cuando se corta un bloque de espuma para aplicarlo a una sección de un tubo).

Por lo tanto, la gestión de estos desechos es un factor fundamental a los efectos de reducir las emisiones al mínimo. Los modelos de los escenarios de mitigación evalúan los efectos que tendría la introducción de una serie combinada de mejoras en los procesos de producción y en la gestión de los desechos.

Gestión de los depósitos (refrigeradores)

Se ha estimado la magnitud de los depósitos actuales y futuros de agentes espumantes existentes en los sectores de los aparatos electrodomésticos y del transporte. El escenario de base ya tiene en cuenta las actividades de recuperación que se realizan en Europa y el Japón, por lo que las dimensiones de los depósitos no se equiparan automáticamente a las emisiones futuras. En vista de que existe tecnología comprobada, y que

el costo estimado de la recuperación de las espumas de los refrigeradores oscila actualmente entre US\$ 10 y US\$ 50 por tonelada de CO₂ equivalente, parecería razonable suponer que para el año 2015 se extraerán de todos los refrigeradores, al término de su vida útil, las espumas existentes en éstos, siempre que se invierta en plantas ampliamente distribuidas a nivel geográfico. Sin embargo, esto requeriría que las inversiones se hicieran tanto en países en desarrollo como en países desarrollados. Uno de los escenarios que se evalúan en este informe analiza los efectos que tendría el tratamiento de todos los aparatos electrodomésticos al término de su vida útil, y prevé niveles de recuperación de la carga original de agentes espumantes por encima del 80%.

Gestión de los depósitos (edificios)

La factibilidad técnica y la viabilidad económica de la recuperación de agentes espumantes en el sector de la construcción no están tan claramente establecidas. Actividades como las del proyecto del Centro de Pruebas de Materiales de Construcción del Japón (JTCCM) están contribuyendo a ampliar los conocimientos en este sector. Sin embargo, en la actualidad el consenso general es que la recuperación va a tener un costo considerablemente más alto que en el caso de los aparatos electrodomésticos debido al menor desempeño (causado por las pérdidas ocurridas en las etapas de uso y recuperación) y a los costos adicionales que implica separar las espumas de los escombros tras la demolición.

Una excepción a esta tendencia se encuentra en el mercado de los paneles con revestimiento metálico, en los que la retención del agente espumante y la facilidad de desmantelamiento pueden permitir la recuperación en las plantas ya existentes para refrigeradores. Se han evaluado los depósitos existentes en los paneles de poliuretano y se prevé que para 2015 superarán las 700 kilotoneladas de agentes espumantes de fluorocarbono. Se estima que los costos de recuperación serán similares a los de los aparatos electrodomésticos, pero se sigue trabajando para confirmar esta suposición. Se han elaborado modelos para los dos escenarios, pero la expectativa de recuperación de las fuentes tradicionales del sector de la construcción es más modesta: 20%.

¿Qué importancia tienen estos posibles escenarios para la formulación de estrategias más amplias en relación con el clima y el ozono?

El gráfico RT-16 muestra las emisiones iniciales en un escenario sin cambios. Debido a que las espumas tienen ciclos de vida tan prolongados, en todos los gráficos de esta sección se describe el efecto probable de los posibles escenarios de reducción de las emisiones hasta el año 2100. La hipótesis de base es que los niveles de consumo de HCFC y HFC quedan estáticos en 2015. Se presume que los HCFC se eliminan gradualmente en forma lineal entre 2030 y 2040. Si se tiene en cuenta que es probable que continúen los adelantos tecnológicos en el sector de las espumas, cabe suponer que su dependencia de los HFC no se extenderá más allá de 2030, y que a partir de 2020 se observará un descenso lineal. Como punto de referencia adicional, también se indican las emisiones continuas de los depósitos ya identificados para 2015. Los tres elementos principales del escenario de mitigación pueden resumirse de la siguiente manera:

- una disminución lineal en el uso de los HFC entre 2010 y 2015, que conduce a una reducción del 50% en 2015;

- la adopción de estrategias de reducción de las emisiones provenientes de los procesos de producción de todos los bloques de espuma a partir de 2005, y de los demás subsectores de espumas a partir de 2008;
- la extensión de las medidas que se aplican actualmente al término de la vida útil de los productos, a todos los aparatos electrodomésticos y paneles con revestimiento metálico para 2010, junto con una tasa de recuperación del 20% de otras espumas utilizadas en el sector de la construcción a partir de 2010.

Los efectos de estas tres medidas pueden verse en el gráfico RT-17 y en el cuadro RT-21.

Puede apreciarse que si se pone énfasis en la reducción del consumo de HFC se logra el ahorro más importante en el período que termina en 2015 y que, si con posterioridad a 2015 se extrapola esa reducción a las modalidades de uso, ese énfasis también permite obtener los mayores beneficios “específicos de los HFC” hasta 2100. Por su parte, las medidas aplicadas al término de la vida útil de los productos generan un ahorro menor hasta 2015, pero tienen la capacidad de producir un ahorro general mayor hasta 2100 si se tienen en cuenta todos los tipos de agentes espumantes. El valor de esos ahorros es particularmente importante en el caso de los CFC, que tienen un PCM elevado y agotan la capa de ozono a un ritmo cada vez más rápido.

En el gráfico RT-18 se indica el ahorro potencial de emisiones de SAO resultante de la aplicación de todas las estrategias viables de tratamiento de los productos al término de su vida útil, expresado en toneladas de potencial de agotamiento del ozono (PAO). Allí puede verse que, hasta el año 2100, se acumulará año tras año un ahorro de entre 2 000 y 3 000 toneladas de PAO.

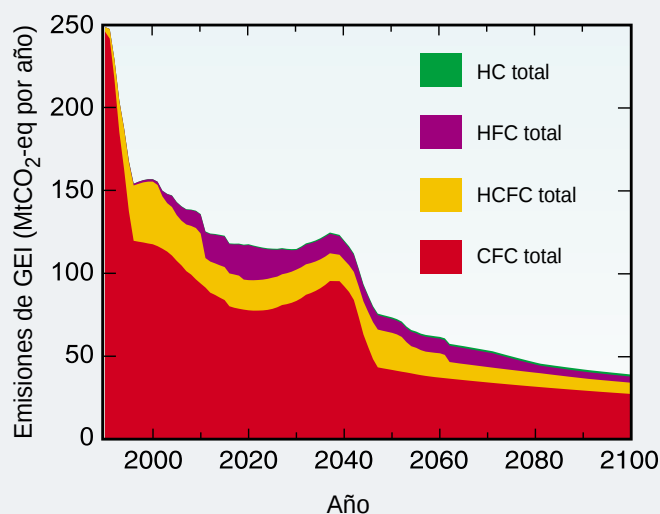


Gráfico RT-16. Emisiones provenientes de agentes espumantes ponderadas en función de su PCM, desglosadas por grupo (1990-2100), en el escenario sin cambios.

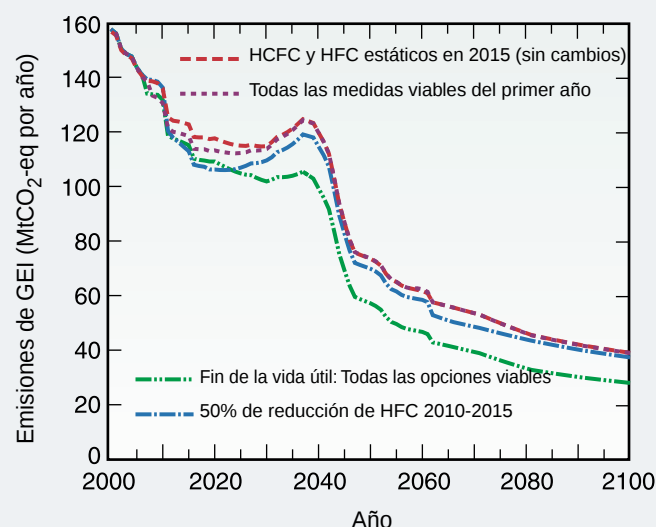


Gráfico RT-17. Resumen de los efectos de distintos conjuntos de medidas.

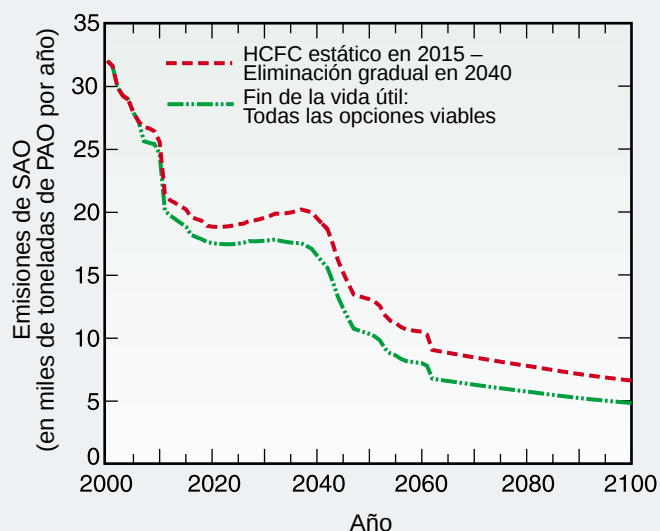


Gráfico RT-18. Efectos de todas las medidas viables aplicadas al término de la vida útil en la reducción de las emisiones de SAO.

Las estimaciones que figuran en este análisis con respecto a las reducciones de las emisiones de GEI y SAO logradas mediante el tratamiento de los productos al término de la vida útil son relativamente conservadoras, ya que los cálculos se hicieron a partir de valores de referencia iniciales en los que solamente se toma en cuenta entre el 10 y el 20% de las pérdidas de agentes espumantes cuando las espumas se desechan en vertederos. Ello explica en parte por qué el nivel de emisiones es tan alto a partir de 2065. De hecho, los vertederos se han convertido en depósitos en sí mismos. El gráfico RT-19 muestra cuál sería la consecuencia, en términos de emisiones de GEI,

si se aplicara una hipótesis más grave respecto de las espumas destinadas a vertederos (es decir, un 100% de emisiones en el sitio del vertedero).

Si bien se reconoce que la verdad probablemente esté en algún punto entre ambos extremos, la liberación potencial de volúmenes tan importantes de agentes espumantes en un período relativamente corto (2030-2050) hace pensar seriamente en el posible valor de incremento del tratamiento de los productos al término de su vida útil como opción de mitigación.

Cuadro RT-21. Resumen de los efectos de distintos paquetes de medidas, desglosados por tipo de agente espumante: reducciones acumuladas de las emisiones en cada uno de los escenarios evaluados.

Medida	Año	Reducciones acumuladas de las emisiones			
		CFC (toneladas)	HCFC (toneladas)	HFC (toneladas)	CO ₂ -equivalente (MtCO ₂ -eq)
Reducción del consumo de HFC (2010–2015)	2015	0	0	31 775	36
	2050	0	0	225 950	259
	2100	0	0	352 350	411
Mejoras en la producción y/o en las instalaciones	2015	78	14 450	16 700	36
	2050	58	31 700	32 700	68
	2100	47	24 350	26 500	55
Opciones de gestión al término de la vida útil	2015	8 545	16 375	105	52
	2050	64 150	144 650	88 540	540
	2100	137 700	358 300	194 800	1 200

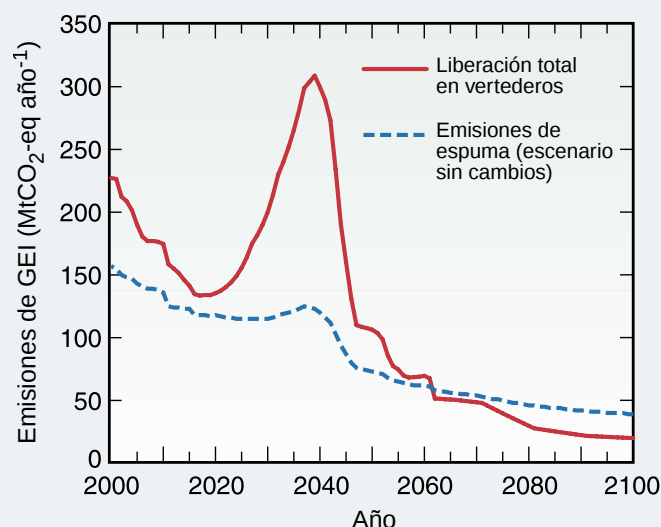


Gráfico RT-19. Efectos de la aplicación de distintas hipótesis iniciales sobre las emisiones de los vertederos.

4.5 ¿Cuáles son las conclusiones más importantes en relación con los aerosoles de uso médico?

Los aerosoles de uso médico son importantes para el tratamiento del asma y las enfermedades pulmonares obstructivas crónicas (EPOC)

El asma y las enfermedades pulmonares obstructivas crónicas (EPOC) son las afecciones pulmonares crónicas más comunes de las vías aéreas (vías respiratorias o bronquios) y se estima que afectan a más de 300 millones de personas en todo el mundo. Estas enfermedades ocasionan grandes gastos en atención médica y pérdidas importantes en horas de trabajo o estudio; además, las EPOC son causa de muerte prematura.

El asma es una afección crónica que tiene dos componentes principales: la inflamación y el estrechamiento de las vías aéreas. La mayoría de los asmáticos tienen síntomas todos los días, y crisis más graves en forma intermitente. El asma suele comenzar en la niñez y su prevalencia oscila entre aproximadamente el 1% en algunos países como Indonesia, y más del 30% en los niños de Nueva Zelanda y Australia.

Las EPOC se caracterizan por el estrechamiento y la inflamación de las vías respiratorias y la presencia de lesiones en el tejido pulmonar. Su causa principal es el tabaquismo, y la contaminación ambiental del aire es un potencial factor coadyuvante. En última instancia traen aparejadas la discapacidad permanente y la muerte. La prevalencia de las EPOC en muchos países desarrollados oscila entre el 4 y el 17% en los adultos mayores de 40 años. Hay menos certeza con respecto a los datos de los países en desarrollo, pero se han citado cifras de hasta el 26%. Si bien el hábito de fumar está disminuyendo en algunos países desarrollados, en los países en

desarrollo se observa un aumento tanto del tabaquismo como de las EPOC.

La terapia de inhalación es actualmente la regla de oro en el tratamiento de estas enfermedades, y probablemente lo seguirá siendo. La inhalación de medicamentos en aerosol con partículas de un determinado tamaño (1 a 5 micras) optimiza el efecto clínico local sobre las vías respiratorias cuando es necesario, y sus efectos colaterales son mínimos. Se han hecho inversiones importantes en las actividades de investigación y desarrollo de los inhaladores en aerosol, en respuesta a necesidades tanto terapéuticas como ambientales. En la actualidad, los dos métodos principales de administración de fármacos respiratorios a la mayoría de los pacientes son el **inhalador de dosis medidas** (IDM), o inhalador con dosificador, y el **inhalador de polvo seco** (IPS).

¿Qué es un inhalador de dosis medidas (IDM)?

El IDM es el método de tratamiento del asma y las EPOC que predomina en todo el mundo. Se introdujo a mediados del decenio de 1950, con el CFC-11 y el CFC-12 como propelentes; el CFC-114 se adoptó con posterioridad. Con el fin de lograr el objetivo de la eliminación gradual de los CFC establecido en el Protocolo de Montreal, la industria de los IDM emprendió una investigación exhaustiva para tratar de encontrar otro propelente que fuera apropiado. Un propelente de uso médico debe ser seguro, para que se pueda usar sin peligro en seres humanos, y ajustarse a varios otros criterios estrictos en términos de seguridad y eficacia, a saber: 1) ser un gas licuado con adecuada presión de vapor; 2) tener baja toxicidad; 3) no ser inflamable; 4) ser químicamente estable; 5) ser aceptable para los pacientes (en lo que respecta a su sabor y olor); 6) tener características de disolución apropiadas, y 7) tener una densidad adecuada. Resultó sumamente difícil encontrar compuestos que reunieran todos estos requisitos, y finalmente sólo surgieron dos HFC —el HFC-134a y el HFC-227ea— como sustitutos viables de los CFC.

Fue necesario modificar radicalmente los componentes y las fórmulas de los IDM fabricados con CFC para poder usar HFC como nuevos propelentes. Los IDM, por tratarse de productos farmacéuticos, están ampliamente reglamentados por las autoridades nacionales de salud para garantizar la seguridad y la eficacia del producto y la calidad de su fabricación. Por lo tanto, el proceso de desarrollo de los IDM que usan CFC es prácticamente igual al de cualquier otro producto farmacéutico totalmente nuevo, ya que cada IDM que tenga una fórmula nueva debe ser sometido a ensayos clínicos completos. Se estima que los costos (técnicos, farmacéuticos y clínicos) del proceso de desarrollo inherente a la transición de los CFC a los HFC fueron de alrededor de US\$ 1 000 millones en 1999, por lo que actualmente han de ser mucho mayores. Se prevé que los programas de desarrollo de los nuevos IPS en los que se sustituyen las moléculas de los actuales IDM tendrán costos similares.

¿Qué es un inhalador de polvo seco (IPS)?

Los IPS administran un medicamento en polvo, con partículas de un tamaño determinado; no usan propelentes y no tienen efectos en la capa de ozono ni en el clima. La administración del principio activo en forma de polvo es técnicamente difícil. Por ejemplo, las partículas de dimensiones respirables no suelen tener buenas propiedades de circulación debido a las fuerzas de adhesión que ejercen entre ellas. Además, la mayoría de

las fórmulas de IPS son sensibles a la humedad durante la elaboración, el almacenamiento y el uso, lo que limita su utilidad en los climas húmedos.

Los primeros IPS, con los que se administraban dosis únicas preestablecidas, tuvieron un uso limitado durante los años sesenta y setenta. Los considerables avances técnicos posteriores permitieron obtener un IPS multidosis más fácil de usar para el paciente y que se ha difundido bastante en los últimos diez años, lo que ha atenuado la expansión de los IDM. Se han diseñado con éxito IPS para la administración de muchos medicamentos inhalados, y hoy en día están ampliamente disponibles en muchos países, aunque no en todos. Sin embargo, no pueden sustituir a los IDM a presión en el caso de todos los pacientes ni de todos los medicamentos.

El costo relativo de los IPS es elevado, especialmente si se compara con el de los IDM que contienen salbutamol, que siguen representando alrededor del 50% de todos los que se prescriben a nivel mundial. Un estudio realizado para comparar los costos entre siete países europeos reveló que los IPS con salbutamol cuestan como promedio 2,6 veces más que los IDM.

¿Cuáles son los factores que influyen en la elección de un tratamiento?

La prevención primaria del asma aún no es factible, mientras que en el caso de las EPOC lo importante es no empezar a fumar. Es probable que la prevalencia del asma y las EPOC continúe aumentando.

La elección que hacen el médico y el paciente de los medicamentos y el inhalador más convenientes se basa en muchos factores, entre ellos el tipo de afección y su gravedad, el cumplimiento de los diversos requisitos, la facilidad de uso, el costo, la disponibilidad y las preferencias del paciente. Los inhaladores son eficaces sólo si se utilizan correctamente. A menudo los pacientes pueden usar correctamente un tipo de inhalador, pero no el otro. Tanto los IDM como los IPS desempeñan un papel importante en el tratamiento y no existe un sistema de administración único que sea aceptable universalmente para todos los pacientes. Por ello es fundamental mantener la gama de opciones terapéuticas.

El IDM es el método de tratamiento del asma y las EPOC que predomina en todo el mundo. En los países desarrollados, la relación actual entre el uso de los IDM y el de los IPS varía sustancialmente de un país a otro: en los Estados Unidos 9:1 (IDM:IPS); en el Reino Unido 7:3; en Suecia 2:8. Estas diferencias obedecen a varios factores, entre ellos la disponibilidad (por ejemplo, los IPS multidosis comenzaron a venderse en los Estados Unidos hace muy poco tiempo en comparación con Suecia, donde existe una empresa local que tiene una larga trayectoria de fabricación de IPS) y el precio.

¿Cuáles serán los futuros adelantos técnicos?

Las proyecciones indican que el crecimiento anual del mercado mundial de medicamentos inhalados para el asma y las EPOC hasta 2015 será de aproximadamente 1,5 a 3% año⁻¹. Gran parte de los CFC están siendo remplazados por HFC (aproximadamente el 90% por HFC-134a y el 10% por HFC-227ea), y todos los IDM que se usarán en 2010 en países desarrollados estarán fabricados con HFC. Tras alcanzar un nivel máximo anual de

más de 15 000 toneladas en el período 1987-2000, el uso de los CFC en los IDM cayó a un volumen estimado de 8 000 toneladas en el período 2001-2004, de las cuales entre 3 000 y 4 000 toneladas corresponden a HFC; se estima que para 2015 el uso de HFC habrá aumentado a un nivel de entre 13 000 y 15 000 toneladas. El uso más reducido de los HFC en comparación con el uso máximo registrado por los CFC se debe en parte al mayor uso de IPS y en parte a que algunos IDM fabricados con HFC usan menor cantidad de propelente por disparo.

En el corto plazo no se prevén adelantos técnicos de gran importancia en la tecnología de estos aparatos. La investigación y el desarrollo de un nuevo inhalador es un proceso largo, técnicamente complejo y caro, por lo que normalmente pasan más de 10 años antes de que el producto llegue al mercado. Los futuros dispositivos de inhalación como los nebulizadores y los IPS con una fuente de potencia que los haga independientes de la respiración del paciente, o pequeños dispositivos multidosis de contenido acuoso, serán probablemente más costosos que los actuales IPS, y en consecuencia más caros aún que los IDM con HFC.

En los países en desarrollo la terapia de inhalación se administra casi exclusivamente con IDM a presión, fabricados por empresas multinacionales o locales. Es probable que si mejoran las condiciones económicas y se adoptan las directrices de tratamiento internacionales, aumente sustancialmente el uso de la terapia de inhalación. En los países en desarrollo sería técnicamente factible fabricar IPS más baratos y sencillos a nivel local. En los climas cálidos y húmedos existirían grandes dificultades farmacéuticas y seguirían siendo más caros que los IDM en términos de costo por dosis. Si llegaran a fabricarse y lograran una importante participación en el mercado, podrían atenuar los incrementos futuros del volumen de HFC necesario para fabricar IDM.

¿Cuál sería el costo de una transición completa de los IDM que usan HFC a los IPS?

Por lo general, los IPS multidosis más nuevos contienen fármacos más caros, mientras que el 50% de los IDM contiene salbutamol, que es más barato y no está protegido por derechos de patente. Esto explica en parte la diferencia de costo entre un tipo y otro de inhalador. Se ha estimado que para 2015 podría haber hasta 340 millones de IDM que usen HFC con salbutamol. La sustitución de éstos por inhaladores equivalentes de polvo seco con salbutamol tendría un costo muy elevado para los sistemas de atención de la salud. Según estimaciones hipotéticas, la sustitución total de los IDM con HFC por IPS (suponiendo que su precio como mínimo se duplicaría) tendría un costo adicional periódico de entre US\$ 1 700 y US\$ 3 400 millones año⁻¹ (entre US\$ 150 y US\$ 300 por tonelada de CO₂ equivalente). La reducción de las emisiones que se lograría para 2015 sería de aproximadamente 10 MtCO₂-eq año⁻¹. Este costo adicional repercutiría considerablemente en la atención de los pacientes.

¿Habría algún tipo de restricción médica para la sustitución de los IDM con HFC por los IPS?

La prescripción de nuevos fármacos a un paciente, en sustitución de medicamentos fiables y eficaces, puede tener consecuencias importantes para su salud y seguridad, de modo que es fundamental disponer de una gama de alternativas seguras antes de cambiar un medicamento por motivos ambientales. Antes de tomar una medida de política ambiental que pueda

repercutir en el uso de los IDM con HFC por parte de los pacientes, es necesario analizar el tema cuidadosamente y consultar a los médicos, los pacientes, las autoridades nacionales de salud y otros expertos en la materia.

¿Cuáles son las conclusiones fundamentales?

- El efecto más importante de reducción del PCM en relación con los IDM se lograría mediante la sustitución total de los CFC por HFC en la fabricación de esos inhaladores.
- No se prevé que haya grandes adelantos en la administración de medicamentos por inhalación en los próximos 10 a 15 años, habida cuenta del estado actual de la tecnología y del tiempo que tarda su desarrollo.
- La salud y la seguridad del paciente son de vital importancia en la adopción de decisiones sobre tratamientos y en la formulación de políticas que puedan afectar a esas decisiones.
- En el caso hipotético de que el medicamento inhalado de uso más generalizado (el salbutamol) comenzara a administrarse mediante IPS en lugar de IDM con HFC, los costos periódicos anuales proyectados serían del orden de US\$ 1 700 millones, con un costo real de mitigación de entre US\$ 150 y US\$ 300 por tonelada de CO₂ equivalente para lograr una reducción de aproximadamente 10 MtCO₂-eq año⁻¹ para 2015.

4.6 ¿Cuáles son las conclusiones más importantes en relación con los sistemas de protección contra incendios?

¿Cuáles son las tendencias pasadas y futuras en materia de protección contra incendios?

Los halones son gases que presentan condiciones excepcionales de seguridad, eficiencia y limpieza en las aplicaciones de extinción de incendios. A principios de los años sesenta, el uso de estos gases comenzó a difundirse ampliamente en todo el mundo, tanto en equipos fijos como portátiles de extinción de incendios. Debido a su alto potencial de agotamiento del ozono, los gobiernos y los especialistas en protección contra incendios encabezaron el primer movimiento sectorial de eliminación gradual en el marco del Protocolo de Montreal. Esto dio lugar a que se ideara una serie de alternativas eficaces para la creación de nuevos sistemas. Sin embargo, como los equipos de protección contra incendios constituyen un sector sumamente regulado, no se pueden adoptar alternativas sin introducir cambios profundos en las normas, prácticas y tecnologías locales, nacionales e internacionales. Estos cambios han reducido las emisiones innecesarias provenientes de los depósitos de halones y se están aplicando asimismo a los productos sustitutivos de los halones.

Existen dos categorías de aplicaciones que pueden requerir el uso de halones o gases alternativos: los sistemas fijos y los extintores portátiles. El halón 1301 dominó el mercado de los sistemas fijos con anterioridad al Protocolo de Montreal y los depósitos que aún quedaban de este gas en 2000 eran de alrededor de 45 kt. El halón 1211 se usaba sobre todo en los extintores portátiles, y en 2000 se estimaba que sus depósitos eran de aproximadamente 154 kt. El halón 2402 se usaba principalmente en la ex Unión Soviética, pero en la bibliografía no se

encuentra información alguna sobre los depósitos o las emisiones. Según una estimación, en el año 2000 las emisiones de halón 1301 fueron de 2,3 kt y las del halón 1211 de 17,8 kt, es decir, alrededor de 5% y 11% de los depósitos respectivamente, en cifras anuales. En un estudio se sugiere que la tasa de emisión del halón 1301 de los sistemas fijos, excluidos los buques, aeronaves y sistemas militares, es de apenas 0,12% año⁻¹ cuando se obra con un grado de diligencia excepcional en la vigilancia y almacenamiento de este gas, para prestar un servicio fundamental de protección contra incendios. En una región se ha logrado una tasa de emisiones sumamente baja (0,12% año⁻¹), sobre todo debido a factores culturales particulares de esa región, a los que se añaden medidas de cumplimiento forzoso inusualmente enérgicas, que difícilmente podrían aplicarse en otras regiones. En promedio, las tasas de emisión de los equipos fijos son de alrededor de $2 \pm 1\%$ año⁻¹, y de aproximadamente el doble de ese valor en el caso de los extintores portátiles, es decir, $4 \pm 2\%$ año⁻¹ del volumen acumulado en los depósitos (la base instalada incluidas las reservas para recarga).

Los sistemas de protección contra incendios están estrictamente reglamentados en la mayoría de los países. Sólo pueden utilizarse agentes o técnicas nuevas si previamente se demuestra, con arreglo a protocolos establecidos, que ofrecen un nivel aceptable de seguridad y eficacia contra el fuego. Es importante que los países que carecen de normas nacionales en la materia se esfuercen por adoptar las prácticas recomendadas en las normas internacionales a los efectos de protegerse contra la incorporación de alternativas ineficaces o poco seguras.

Para elegir un producto sustitutivo del halón es necesario evaluar una amplia gama de factores, entre ellos el volumen y el peso, el costo, la seguridad, la "limpieza" (es decir, que no dejen residuos ni causen daños en lugares como, por ejemplo, archivos o edificios del patrimonio cultural), los efectos ambientales, y la eficacia con respecto a determinados peligros de incendio (por ejemplo, la ignición de materiales sólidos (incendios "Clase A"), líquidos inflamables (incendios "Clase B") y equipos eléctricos con corriente (incendios "Clase C") y en circunstancias especiales (por ejemplo, condiciones de frío extremo)).

Los halones ya no son necesarios en la mayoría de las instalaciones nuevas (>95%) que hubieran usado halones antes del Protocolo de Montreal. Las restantes instalaciones nuevas que siguen utilizando halones se encuentran principalmente en aeronaves comerciales y en algunas aplicaciones militares para las cuales todavía no se ha encontrado un sustituto eficaz de los halones. Entre las aplicaciones que anteriormente estaban protegidas con halones, alrededor de la mitad de las instalaciones actuales nuevas usan alternativas no gaseosas, como el agua y el polvo seco, mientras que la otra mitad utiliza agentes gaseosos similares, entre ellos diversos halocarbonos y gases inertes.

En los sistemas fijos en los que es necesario usar un agente limpio, las alternativas disponibles actualmente son el CO₂, los gases inertes (como el nitrógeno y el argón), los HFC, los PFC, los HCFC y más recientemente una fluoroquetona (FK). Algunas de estas alternativas no producen efectos significativos en el sistema climático, mientras que otras tienen un PCM considerable. Solamente los HCFC son también nocivos para la capa de ozono. Los PFC y los HCFC se usaron al comienzo del proceso de aplicación del Protocolo de Montreal, pero no ofrecen ventaja alguna con respecto a otros agentes halocarbónicos limpios. Han dejado de producirse sistemas nuevos con PFC debido al impacto ambiental que causan estos gases en el

clima, en comparación con otras alternativas con capacidad y costos similares. Los sistemas que usan CO₂ pueden ser apropiados para algunas aplicaciones, pero son letales en los niveles de concentración necesarios para extinguir el fuego, mientras que los sistemas que usan gases inertes también pueden ser adecuados en algunas aplicaciones, pero su impacto en términos de peso y volumen es muy alto y no se recomiendan para aquellos casos en que la velocidad de extinción del fuego es un factor crítico, ya que su ritmo de descarga es de cinco a seis veces más lento que el de los sistemas con halocarbonos.

En el cuadro RT-22 se comparan los métodos principales que se utilizan actualmente, o que están en la etapa de desarrollo o demostración, para ser aplicados en sistemas fijos y limpios de extinción de incendios en espacios ocupados (generalmente en sustitución del halón 1301). Se indica el costo relativo de cada opción, así como los factores que es preciso tener en cuenta para evaluar los efectos en el forzamiento radiativo del sistema climático, y aspectos prácticos como los requisitos de peso y volumen del sistema, sus capacidades especiales y su disponibilidad.

En el gráfico RT-20 se describe la producción, los niveles de emisión y la magnitud de los depósitos resultantes de halón 1301 y sus alternativas de HFC/PFC/HCFC/FK en el período comprendido entre 1965 y 2015. Las proyecciones indican que los depósitos de halón 1301 en 2002 eran de 42 434 toneladas, que producían 2 052 toneladas de emisiones, lo que concuerda con las mediciones atmosféricas, según las cuales las emisiones fueron de entre 1 000 y 2 000 toneladas. Se estima que en 2004 la suma de los depósitos de todas las alternativas HFC/PFC/HCFC/FK acumuladas en los sistemas fijos ascendía aproximadamente a 26 700 toneladas. Los PFC representan alrededor del 2,5% de ese total. Según una estimación, la proporción de HCFC puede ser de hasta 3 600 toneladas aproximadamente (alrededor del 13%). Los estudios indican que actualmente es posible alcanzar tasas de emisión de $2 \pm 1\%$ por año en esos sistemas. Con una tasa de emisión del 2%, las emisiones de 2004 representan 1,4 millones de toneladas de CO₂ equivalente (MtCO₂-eq).

En el caso de los extintores portátiles, las normas contra incendios y el costo de los equipos son los factores que más influyen a la hora de elegir una alternativa (normalmente para sustituir al halón 1211). Los extintores portátiles que usan HFC y PFC han tenido escasa aceptación en el mercado, debido fundamentalmente a su costo elevado en comparación con agentes extintores más tradicionales como el CO₂, las sustancias químicas secas y el agua. Los HCFC han tenido una aceptación mayor pero también limitada debido a su alto costo en comparación con el de los agentes más tradicionales. Las sustancias químicas secas son entre seis y dieciséis veces más baratas que los agentes limpios y más eficaces en términos de su velocidad de extinción, pero tienen la desventaja de dejar residuos. Los HFC, PFC y HCFC son los agentes más caros y menos eficaces en lo que se refiere a su poder de extinción del fuego (es decir, su velocidad de extinción). En el cuadro RT-23 figura una comparación de los extintores portátiles alternativos. Se indica el costo relativo y las consideraciones de tipo climático correspondientes a cada opción, y aspectos prácticos como su peso y dimensiones. Los antiguos usuarios de extintores portátiles de halón 1211, hoy en día tienen tres opciones: un solo extintor de HFC/HCFC a un costo mayor; un solo extintor de sustancias químicas secas si los residuos resultan aceptables; o dos extintores: uno de agua para combustibles

comunes y otro de CO₂ para líquidos inflamables o equipos eléctricos con corriente. A menudo son las reglamentaciones locales y nacionales las que definen la elección de los extintores portátiles.

En el gráfico RT-21 se describe la producción, los niveles de emisión y la magnitud de los depósitos resultantes de halón 1211 y sus alternativas de HFC/PFC/HCFC en el período comprendido entre 1965 y 2015. Las proyecciones indican que los depósitos de halón 1211 en 2002 eran de 124 843 toneladas, que producían 17 319 toneladas de emisiones. Ello representa aproximadamente el doble de las 7 000 a 8 000 toneladas de emisiones que habría prever de acuerdo con las mediciones atmosféricas. Si bien la bibliografía no contiene datos al respecto, la información brindada por un productor y combinada con modelos permite estimar que los depósitos de HCFC, HFC y PFC acumulados en los extintores portátiles eran de aproximadamente 1 471 toneladas a fines de 2002, y generaban 0,12 MtCO₂-eq de emisiones. La estimación para 2004 es de aproximadamente 1 852 toneladas, con un volumen de emisiones de 0,16 MtCO₂-eq a una tasa de emisión del 4%. Alrededor del 68% está formado por HCFC, 30% por HFC y 2% por PFC.

¿Cuáles son las posibles tendencias futuras en materia de protección contra incendios?

Las estimaciones obtenidas mediante modelos para 2010 y 2015 indican que las emisiones de los sustitutos de los halocarbonos en los sistemas fijos de extinción de incendios serán de 2,74 y 3,72 MtCO₂-eq respectivamente. Según estos modelos, se estima que en 2010 y 2015 las emisiones derivadas de los extintores portátiles serán de hasta 0,25 y 0,34 MtCO₂-eq respectivamente. Estas estimaciones se basan en una tasa anual de emisión de 2% proveniente de los depósitos acumulados en los sistemas fijos, y de 4% en el caso de los depósitos acumulados en los extintores portátiles, y suponen una tasa de crecimiento anual del 3%. Los esfuerzos para evitar las futuras emisiones innecesarias de los sistemas de extinción de incendios podrían reducir estos valores en aproximadamente un 50%, mientras que, si no se pone mucho empeño en lograr esas reducciones, es probable que las emisiones aumenten un 50%. Esto permite concluir que las emisiones totales provenientes de los sistemas fijos de extinción de incendios serán del orden de $2 \pm 1\%$ año⁻¹ y las de los extintores portátiles del orden de $4 \pm 2\%$ año⁻¹.

Si bien se han propuesto varias alternativas para sustituir a los HFC en los sistemas de protección contra incendios, incluidos los gases inertes, las fluoroquetonas (FK) y el vapor de agua, los HFC y los gases inertes son, y probablemente seguirán siendo, los agentes limpios más comúnmente utilizados, que además han logrado un equilibrio en el mercado. Debido al largo proceso de pruebas y aprobación de los nuevos tipos de equipos de protección contra incendios, es probable que no surjan otras opciones que logren surtir efectos apreciables para 2015. La FK 5-1-12 ya se ha comercializado y está disponible en la actualidad, pero no hay elementos que permitan pronosticar su grado de aceptación en el mercado o sus efectos en el equilibrio ya establecido. No hay actualmente ningún fundamento que avale la estimación de una reducción en el uso o las emisiones de HFC/PFC/HCFC provenientes de los sistemas de protección contra incendios para 2015. Existe además una relación entre los depósitos de halones y el uso de HFC. Al disminuir el uso de halones, aumentará el uso de los HFC (y otros gases alternativos) para satisfacer las necesidades de protección contra incendios. Es preciso seguir manejando con cuidado los

Cuadro RT-22. Cuadro comparativo: sistemas que usan agentes limpios, aptos para espacios ocupados.

Sistemas fijos	Halón 1301 (referencia)	HFC-23	HFC-227ea	HFC-125 ¹	FK- 5-1-12	Gases inertes
Características de la sustancia						
Eficiencia radiativa ($W-m^{-2}-ppmm^{-1}$)	0,32	0,19	0,26	0,23	0,3	n.d.
Tiempo de vida en la atmósfera (años)	65	270	34,2	29	0,038	n.d.
PCM directo (horizonte temporal de 100 años)						
– Este informe	7 030	14 310	3 140	3 450		
– IPCC (1996)	5 400	11 700	2 900	2 800	n.d. ²	n.d.
Potencial de agotamiento del ozono	12	~ 0	-	~ 0	-	n.d.
Datos técnicos						
Capacidad especial demostrada	sí	sí ³	sí ⁴	sí ⁵	nota ⁶	no
Peso ($kg\ m^{-3}$) ^a	0,8	2,3	1,1	1,1	1,2	4,3
Superficie ($10^4\ m^2/m^3$) ^b	5,8	12,0	6,8	7,4	7,3	28,2
Volumen ($10^4\ m^3/m^3$) ^c	8,6	18,0	13,1	14,4	13,8	56,6
Tasa de emisión ^d	$2 \pm 1\%$	$2 \pm 1\%$	$2 \pm 1\%$	$2 \pm 1\%$	$2 \pm 1\%$	$2 \pm 1\%$
Costos						
Costos de inversión (en relación con el halón 1301)	100%	535%	377%	355%	484%	458%
Costos adicionales de reparación o mantenimiento (US\$ kg^{-1}) ^e	0,15	0,43	0,60	0,53	0,72	0,31
Costos adicionales de recuperación al término de la vida útil (US\$ kg^{-1}) ^f () indica los ingresos	(3,85)	(10,75)	(15,07)	(13,20)	(18,00)	0,00
Costos de reducción de los HFC (US\$ por tCO_2-eq) ^g	-	-	-	-	21–22	14–27
Consideraciones comerciales						
Muchos fabricantes de los agentes	-	sí	sí	sí	no ⁷	sí

Notas:

^a Peso medio de los recipientes en los que se almacenan los agentes y contenido en kilogramos por metro cúbico de espacio protegido.

^b Área media de un cuadrado o rectángulo que circunscribe al depósito cilíndrico de agentes, expresada en metros cuadrados x 10^4 por metro cúbico de volumen protegido.

^c El volumen medio equivale al área multiplicada por la altura de los cilindros medida hasta el extremo superior de las válvulas, expresado en metros cúbicos x 10^4 por metro cúbico de volumen protegido.

^d Promedio total de las tasas anuales de emisión durante toda la vida útil de la aplicación, incluidas las descargas del sistema por causa de incendios y descargas inadvertidas.

^e Los costos anuales adicionales de reparación o mantenimiento se basan en la reposición del 2% de la carga de agentes que se emite cada año.

^f En el caso de los halocarbonos usados como agentes, el valor del agente al término de la vida útil de la aplicación es positivo y representa una recuperación equivalente al 50% del costo inicial del agente cuando el agente se recupera, se recicla y se revende para ser utilizado ya sea en sistemas nuevos o para recargar sistemas existentes.

^g Los costos de reducción de los HFC en el caso de la FK-5-1-12 y los gases inertes se basan en el HFC-227ea, que es el HFC predominante que se toma como referencia. El valor más bajo refleja el costo en dólares de los EE.UU. por tonelada de CO_2 equivalente, a una tasa de descuento del 4% y una tasa de impuestos de 0%. El margen de variación comprende los costos mínimos y máximos en los EE.UU., los países incluidos en el Anexo 1 distintos de EE.UU. y los países no incluidos en el Anexo 1.

Explicación de la capacidad especial:

¹ En algunas jurisdicciones no se permite usar el HFC-125 en espacios ocupados, mientras que en otras jurisdicciones se permite pero en determinadas condiciones.

² Debido al corto tiempo de vida en la atmósfera, no se puede dar un PCM. Se supone que es insignificante a todos los efectos prácticos (Taniguchi *et al.*, 2003). Véase la sección 2.5.3.3, "Hidrocarburos de muy corta vida", donde figura información adicional.

³ El HFC-23 es eficaz a bajas temperaturas (climas fríos) y en grandes volúmenes debido a su alta presión de vapor.

⁴ El HFC-227ea es eficaz en las aplicaciones a bordo de buques y vehículos, según resulta de las extensas pruebas realizadas en gran escala que han permitido establecer los parámetros de uso y han demostrado su capacidad especial en estas aplicaciones.

⁵ El HFC-125 es eficaz en las aplicaciones de motores de vehículos y aeronaves, según resulta de las extensas pruebas realizadas en gran escala que han permitido establecer los parámetros de uso y han demostrado su capacidad especial en estas aplicaciones.

⁶ La FK-5-1-12 está en las primeras etapas de su ciclo de vida como producto y aún falta demostrar su eficacia en aplicaciones especiales, más allá de lo que indican los resultados de las pruebas de aprobación convencionales exigidas por normas como las de la ISO y la NFPA.

⁷ Si bien el agente FK-5-1-12 es un producto patentado de un fabricante que produce un solo agente, puede obtenerse de fabricantes que producen múltiples sistemas.

Gráfico RT-20. Series cronológicas de productos sustitutivos del halón 1301 y los halo-carbonos utilizados en sistemas fijos de extinción de incendios.

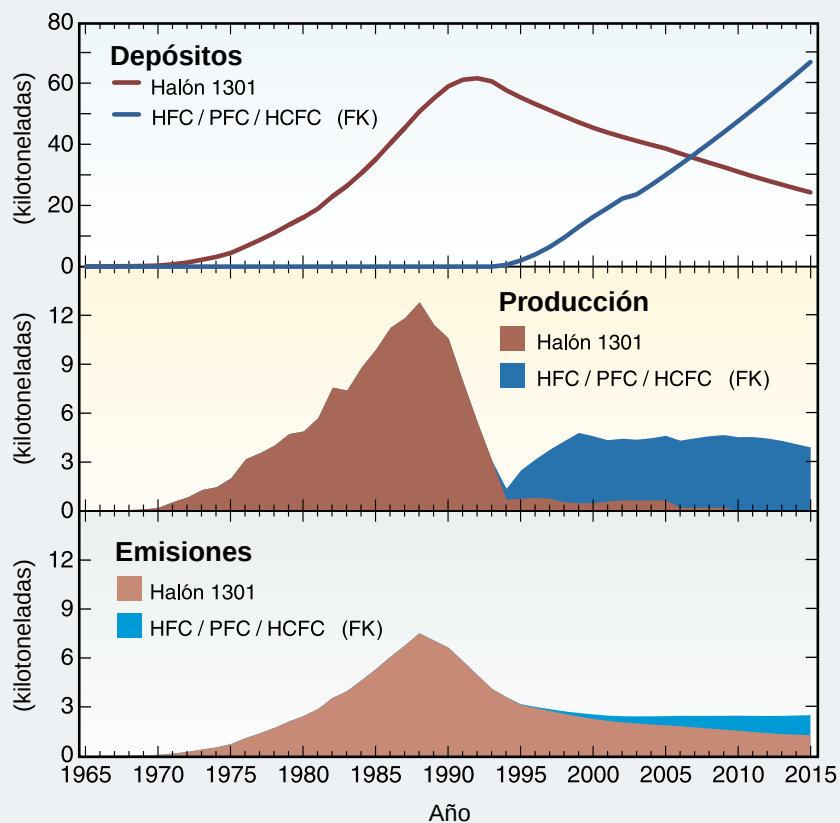
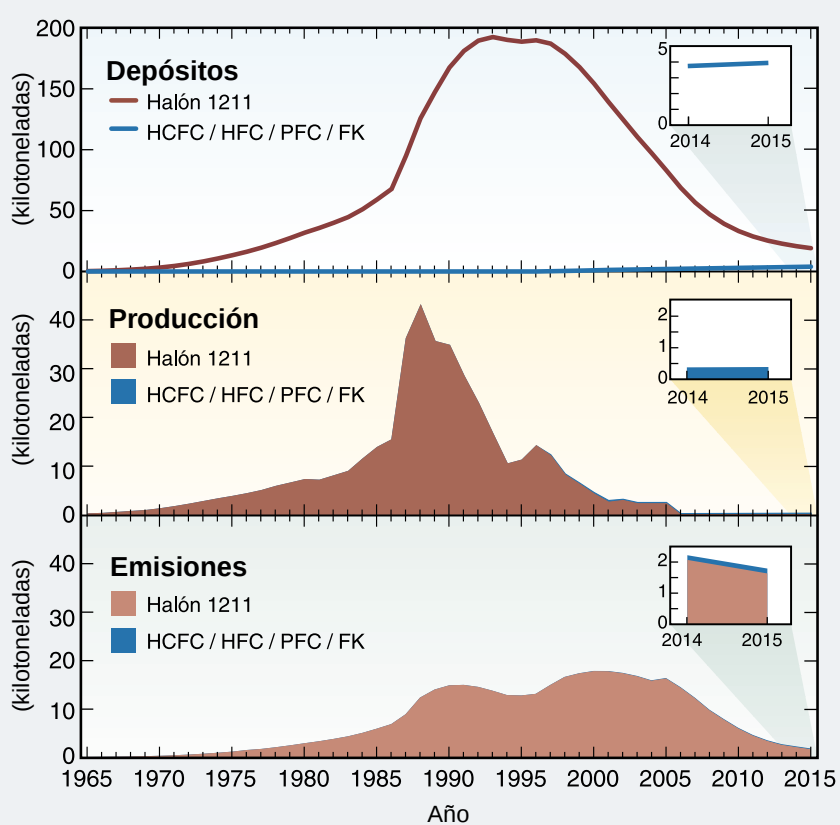


Gráfico RT-21. Series cronológicas del halón 1211 en el caso de los extintores portátiles.



Cuadro RT-23. Cuadro comparativo: agentes de extinción para extintores portátiles.

Sistemas portátiles	Halón 1211 (referencia)	HCFC mezcla B	HFC-236fa	CO ₂	Sustancia química seca	Agua
Características de la sustancia				Véase el capítulo 2	-	-
Eficiencia radiativa (W m ⁻² ppm ⁻¹)	0,3	Nota ^a	0,28	Véase el cap. 2	-	-
Tiempo de vida en la atmósfera (años)	16	Nota ^a	240	Véase el cap. 2	-	-
PCM directo (horizonte temporal de 100 años)						
– Este informe	1 860	<650 ^a	9 500	1	-	-
– IPCC (1996)	No se indica	<730 ^a	6 300	1	-	-
Potencial de agotamiento del ozono	5,3	<0,02 ^a	-	-	-	-
Datos técnicos						
Residuos del agente después de la descarga	no	no	no	no	sí	sí
Apto para incendios clase A	sí	sí	sí	no	sí	sí
Apto para incendios clase B	sí	sí	sí	sí	sí	no
Apto para aparatos conectados a la corriente eléctrica	sí	sí	sí	sí	sí	no
Clase de incendio a la que corresponde el extintor ^b	2-A:40-B:C	2-A:10-B:C	2-A:10-B:C	10-B:C	3-A:40-B:C	2-A
Carga de agentes (kg)	6,4	7,0	6,0	4,5	2,3	9,5
Peso del extintor cargado (kg)	9,9	12,5	11,6	15,4	4,15	13,1
Altura del extintor (mm)	489	546	572	591	432	629
Ancho del extintor (mm)	229	241	241	276	216	229
Tasa de emisión ^c	4 ± 2%	4 ± 2%	4 ± 2%	4 ± 2%	4 ± 2%	4 ± 2%
Costos						
Costos de inversión (en relación con el halón 1211)	100%	186%	221%	78%	14%	28%
Costos adicionales de reparación o mantenimiento (US\$ kg ⁻¹)	— ^d	— ^d	— ^d	— ^d	— ^d	— ^d
Costos adicionales de recuperación al término de la vida útil (US\$ kg ⁻¹)	— ^d	— ^d	— ^d	0,00	0,00	0,00

Notas:

^a La mezcla B de HCFC es una mezcla de HCFC-123, CF₄ y argón. Mientras que el fabricante considera que la proporción entre los componentes está protegida por derechos de propiedad intelectual, hay dos fuentes que informan que el HCFC-123 representa más del 90% de la mezcla en términos de peso, y que el resto está compuesto por CF₄ y argón. El tiempo de vida en la atmósfera del HCFC-123 es de 1,3 años; en el caso del CF₄, es de 50 000 años.

^b Clasificación de los extintores de acuerdo con los requisitos de *Underwriters Laboratories, Inc.* Cuanto más alto es el número, más eficaz es el extintor.

^c Este valor es el promedio total de las tasas anuales de emisión durante toda la vida útil de la aplicación, incluidas las descargas intencionales en los casos de incendio y las descargas inadvertidas.

^d Esta información no figura en la bibliografía ni puede obtenerse de otras fuentes, y se considera confidencial.

depósitos de halones para asegurar que haya una disponibilidad suficiente de halones. Por lo tanto, la demanda de agentes limpios sentirá los efectos del crecimiento económico y de las decisiones que adopten los organismos reguladores y los propietarios del halón con respecto a la eliminación de los agentes acumulados en los sistemas que se pongan fuera de servicio.

Las proyecciones indican que en 2010 y 2015 seguirán existiendo depósitos de 31 y 24 kt de halón 1301, respectivamente, y de 33 y 19 kt de halón 1211, respectivamente, pero las emisiones y las dimensiones de los depósitos dependerán de la eficacia de las prácticas de prevención de fugas y de recuperación de las sustancias al término de la vida útil de los equipos. Se proyecta que los depósitos de HFC/PFC/HCFC/FK acumulados en los sistemas fijos tendrán una tasa de emisión de 2% y serán de 44 kt en 2010 y de 63 kt en 2015, de las cuales aproximadamente 3,6 kt serán de HCFC. Las proyecciones realizadas sobre la base de una tasa de crecimiento del 3% indican que los depósitos de sustancias acumuladas en los extintores portátiles tendrán una tasa de emisión de 4% y serán de 3,0 kt en 2010 y 3,9 kt en 2015, de las cuales se estima que el 68% estará compuesto de HCFC, 30% de HFC y 2% de PFC. Una mirada al futuro sugiere que las emisiones de GEI provenientes de los sistemas que usan agentes limpios basados en halocarbonos podrán aumentar o disminuir, dependiendo de la aceptación futura que tengan en el mercado los gases sustitutivos de los halones. Con posterioridad a 2015 es probable que surjan nuevas opciones de sustitución, a medida que avance la investigación de nuevas tecnologías de protección contra incendios.

4.7 ¿Cuáles son las conclusiones más importantes en relación con los aerosoles no médicos y los disolventes y con respecto a las emisiones de HFC-23?

¿Cuáles son las tendencias pasadas y futuras?

Con anterioridad al Protocolo de Montreal, las SAO se usaban ampliamente como disolventes para la limpieza de metales y artículos electrónicos y de precisión, y como propelentes o disolventes en aerosoles utilizados en aplicaciones técnicas y de seguridad y otros bienes de consumo. El uso de las SAO en estas aplicaciones se ha eliminado o reducido drásticamente. La mayor parte de las aplicaciones de limpieza se basan actualmente en sustitutos que no usan fluorocarbonos. Un pequeño porcentaje ya ha sido o será reemplazado próximamente por HFC o hidrofluoréteres (HFE). El uso del PFC está declinando y se prevé su eliminación para 2025.

Aerosoles no médicos

Los productos en aerosol usan la presión del gas para propulsar los ingredientes activos líquidos, en pasta o en polvo, que se esparcen de una determinada manera en forma de partículas cuyo tamaño y cantidad están controlados. También pueden fabricarse como productos que solamente utilizan gas. En los países desarrollados, el 98% de los aerosoles no médicos usan actualmente gases propelentes que no agotan el ozono y tienen un PCM muy bajo (hidrocarburos, éter dimetilico, CO₂ o nitrógeno). Estas sustituciones permitieron reducir las emisiones totales de GEI provenientes de los aerosoles no médicos en más del 99% entre 1977 y 2001. Los productos en aerosol que siguen utilizando HCFC (en los países en desarrollo,

donde el consumo de HCFC está permitido hasta 2040) o HFC (HFC-152a y HFC-134a) lo hacen porque estos propelentes brindan a los usuarios algún beneficio en términos de seguridad, funcionalidad o salud. Además, el uso de los HFC en aerosoles no médicos está también limitado por el costo. Los HFC son entre cinco y ocho veces más caros que los hidrocarburos. En 2003, el total de las emisiones causadas por el uso de HFC en aerosoles fue de aproximadamente 22 MtCO₂-eq.

Disolventes

Se estima que para 1999 el uso de SAO en disolventes se había reducido un 90% mediante sistemas de conservación y medidas de sustitución por tecnologías que no dependen del uso de fluorocarbonos (disolventes que aplican técnicas “no-clean” (sin necesidad de limpieza), disolventes acuosos y no acuosos de limpieza y disolventes con hidrocarburos). El 10% restante está formado por varios disolventes orgánicos alternativos. Entre los sustitutos de la misma especie que el CFC-113 y el CFC-11 cabe mencionar los HCFC, los PFC, los HFC y los HFE. Los únicos disolventes con HCFC que se usan actualmente son el HCFC-141b y el HCFC-225ca/cb. El uso del HCFC-141b se concentra mayormente en la producción de espumas; en 2002 las aplicaciones para disolventes representaron menos del 10% del uso de esta sustancia a nivel mundial. El uso del HCFC-141b está prohibido en la Unión Europea y está disminuyendo rápidamente en otros países desarrollados. En los países en desarrollo el uso del HCFC-141b continúa aumentando, especialmente en China, India y Brasil, debido a sus elevadas tasas de crecimiento económico. El HCFC-225ca/cb se usa en aplicaciones muy específicas y debido a su potencial de agotamiento del ozono y su cronograma de eliminación gradual, está siendo sustituido poco a poco por HFC, HFE y productos que no dependen del uso de fluorocarbonos.

Subproductos y fugas de los procesos de producción

También se producen emisiones de SAO, HFC y PFC durante la producción de fluorocarbonos, ya sea como subproductos no deseados o como pérdidas de material útil en forma de emisiones fugitivas. Las pérdidas fugitivas son pequeñas y en general representan menos del 1% de la producción total. El subproducto más importante es el HFC-23 (fluoroformo), que se genera durante la producción del HCFC-22. Si bien el Protocolo de Montreal en definitiva eliminará de manera gradual el uso directo del HCFC-22, su uso como materia prima o sustancia intermediaria está autorizado por tiempo indefinido porque no implica la liberación de HCFC-22 en la atmósfera. La demanda mundial de sustancias intermediarias ha ido en aumento y se prevé que continuará creciendo después de 2015. La producción de HCFC-22 crece rápidamente en los países en desarrollo, especialmente China e India. El uso comercial (no como sustancia intermediaria) cesará en 2020 en los países desarrollados y en 2040 en los países en desarrollo.

La generación de HFC-23 representa entre el 1,4 y el 4% de la producción total de HCFC-22, dependiendo de la forma de gestión de la producción y de las características de los procesos. El HFC-23 es el HFC más potente (PCM de 14 310) y persistente (tiempo de vida atmosférica de 270 años). Se estima que las emisiones mundiales de HFC-23 aumentaron un 12% entre 1990 y 1995 como resultado de un aumento similar en la producción mundial de HCFC-22. Sin embargo, debido a la optimización de los procesos a nivel general y a la destrucción térmica en los países desarrollados, esta tendencia no ha continuado y a partir de 1995 su reducción ha sido superior al aumento de la producción.

¿Cuáles son las opciones disponibles para reducir las emisiones?

Aerosoles no médicos

Si bien no existen obstáculos técnicos para la sustitución gradual de los CFC por otras alternativas en los productos no médicos en aerosol, se estima que en 2001 existían todavía 4 300 toneladas de CFC en uso en los países en desarrollo y en los países con economías en transición. Los aerosoles técnicos son productos de gas comprimido que se usan para limpiar, mantener, reparar, probar, fabricar o desinfectar distintos tipos de equipos o que se emplean en varios procesos. El uso principal de los HFC en aerosoles técnicos se da en los pulverizadores utilizados para remover partículas, en los que la sustitución del HFC-134a por el HFC-152a es un factor fundamental para la reducción de las emisiones de GEI. En el caso de los productos de limpieza (limpiadores por contacto, quitamanchas) y los agentes desmoldantes, la sustitución del HCFC-141b por HFE y HFC con un PCM más bajo permite lograr una reducción adicional de las emisiones sin que se planteen dificultades técnicas importantes. Los aerosoles de seguridad (bocinas y silbatos de alerta, infladores de neumáticos) e insecticidas para aviones y zonas restringidas continúan usando el HFC-134a debido a que no es inflamable. Entre los productos cosméticos, artículos de tocador y artículos para fiestas en vaporizadores de aerosol cabe mencionar la nieve artificial, la serpentina líquida y los silbatos (cornetas). La mayoría de los silbatos (>80%) usan hidrocarburos; la nieve artificial y la serpentina líquida usaban hidrocarburos al principio, pero después de algunos incidentes de seguridad

que fueron ampliamente difundidos, cambiaron su fórmula y empezaron a utilizar HFC-134a. En la Unión Europea se está en vías de prohibir el uso de los HFC en los productos cosméticos, artículos de tocador y artículos para fiestas en vaporizadores de aerosol.

En el cuadro RT-24 se comparan productos alternativos para sustituir los aerosoles no médicos.

Disolventes

Aunque los HFC están disponibles en todas las regiones, por su alto costo se han usado como disolventes principalmente en los países desarrollados, y en aplicaciones industriales de alta tecnología. Debido a la preocupación cada vez mayor por la protección del clima, el uso del HFC tiende a concentrarse en aplicaciones críticas en las que no existen otros sustitutos. Se considera que su uso actual en los países desarrollados ha alcanzado su nivel máximo y que incluso puede disminuir en el futuro.

Los disolventes con PFC ya no se consideran técnicamente necesarios en la mayoría de las aplicaciones y su uso está restringido a unas pocas aplicaciones específicas debido a su desempeño muy limitado y su elevado costo. Se sabe que sus volúmenes se han reducido desde mediados del decenio de 1990 como resultado de su sustitución por disolventes con un menor PCM.

Las opciones de reducción de las emisiones se dividen en dos categorías:

Cuadro RT-24. Perspectiva general de las alternativas de propelentes en el sector de los aerosoles no médicos.

	HCFC-22	HFC-134a	HFC-152a	Éter dimetílico	Isobutano ^a
Características de la sustancia					
Eficiencia radiativa (W m ⁻² ppmm ⁻¹)	0,20	0,16	0,09	0,02	0,0047
Tiempo de vida en la atmósfera (años)	12	14	1,4	0,015	0,019
PCM (horizonte temporal de 100 años)					
– Este informe	1 780	1 410	122	1	n.d.
– IPCC (1996)	1 500	1 300	140	1	
Potencial de agotamiento del ozono	0,05	~ 0	-	-	-
Impacto sobre el O ₃ a nivel de la superficie terrestre					
– MIR ¹ (g-O ₁ /g sustancia)	<0,1	<0,1	<0,1	0,93	1,34
– POCP ² (unidades relativas)	0,1	0,1	1	17	31
Inflamabilidad (según el punto de inflamación)	No es inflamable	No es inflamable	Es inflamable	Es inflamable	Es inflamable
Datos técnicos					
Etapas de desarrollo	Comercial	Comercial	Comercial	Comercial	Comercial
Tipo de aplicación:					
– Aerosoles técnicos	X	X	X	X	X
– Aerosoles de seguridad	X	X			
– Productos de consumo	Eliminados en los países industrializados		X	X	X
Emisiones					
El uso genera un 100% de emisiones en todos los casos					
Costos					
Costos de inversión adicionales			Medidas de seguridad especiales en la planta de relleno	Medidas de seguridad especiales en la planta de relleno	Medidas de seguridad especiales en la planta de relleno

Notas:

^a Los valores indicados se refieren al isobutano únicamente. Como se señala en el capítulo 10, en las aplicaciones del sector de los aerosoles no médicos se usan otros hidrocarburos como propelentes en los aerosoles.

¹ MIR = *Maximum Incremental Reactivity* (escala de reactividad máxima).

² POCP = *Photochemical Ozone Creation Potential* (potencial de creación de ozono fotoquímico).

- 1) Un mejor confinamiento en los usos actuales. Equipos nuevos y reacondicionados que puedan reducir considerablemente las emisiones provenientes de todos los disolventes. Los equipos optimizados pueden reducir el consumo de disolventes hasta en un 80% en algunas aplicaciones. Debido a su alto costo y a que son fáciles de reciclar, los disolventes fluorados por lo general se recuperan y son nuevamente utilizados por los usuarios finales o sus proveedores.
- 2) Fluidos y tecnologías alternativas. Existe una variedad de disolventes orgánicos que pueden remplazar a los HFC, los PFC y las SAO en muchas aplicaciones. Entre los fluidos alternativos hay compuestos con un menor PCM, como los disolventes clorados tradicionales, los HFE y el n-propil bromuro. Existen numerosas tecnologías que no dependen del uso de fluorocarbonos, como los hidrocarburos y los disolventes oxigenados, que constituyen alternativas viables para algunas aplicaciones. Se recomienda actuar con cautela antes de elegir cualquier alternativa cuyo perfil de toxicidad no esté completo. Hay un pequeño número de aplicaciones para las que no existen sustitutos debido a las singulares características de desempeño de los HFC o los PFC en ese caso particular.

En los cuadros RT-25 y RT-26 se comparan distintas alternativas para sustituir a los disolventes.

Subproductos y fugas de los procesos de producción.

Es técnicamente factible reducir en más del 90% (o por un factor de 10) las emisiones futuras de HFC-23 derivadas de la producción del HCFC-22 mediante la captación y destrucción

del subproducto HFC-23. Sin embargo, las emisiones de HFC-23 pueden aumentar hasta un 60% entre el momento actual y el año 2015, y pasar de alrededor de 15 kt año⁻¹ a 23 kt año⁻¹ debido al crecimiento que se prevé que registrará la producción de HCFC-22. El límite superior de las emisiones de HFC-23 oscila entre el 3 y el 4% de la producción de HCFC-22, pero la cantidad real de HFC-23 que se produce depende en parte de cómo se lleven a cabo los procesos en cada instalación. Las técnicas y procedimientos para reducir la generación de HFC-23 mediante la optimización de los procesos pueden disminuir el promedio de emisiones a 2% o menos de la producción. Sin embargo, los logros reales varían de una instalación a otra y no es posible eliminar las emisiones de HFC-23 por estos medios. La captación y destrucción del HFC-23 mediante oxidación térmica es una opción sumamente eficaz para reducir las emisiones. La eficiencia de la destrucción puede superar el 99,0%, pero es necesario tomar en cuenta el impacto del “tiempo inactivo” de las unidades de oxidación térmica en las emisiones. Si se presume una vida tecnológica útil de 15 años, los costos específicos de reducción de las emisiones pueden estimarse en menos de US\$ 0,2 por tonelada de CO₂ equivalente.

Para calcular las emisiones de HFC-23 no solamente es preciso contar con datos sobre la cantidad de HCFC-22 producido (la actividad) y la tasa de emisión (en la que influye el diseño y la modalidad de funcionamiento acostumbrada), sino también sobre el grado de reducción de las emisiones. Esto repercute de manera particular en la incertidumbre de las estimaciones de las emisiones futuras de HFC-23.

Cuadro RT-25. Sinopsis de los HFC, PFC y HCFC en las aplicaciones del sector de los disolventes.

	HCFC-141b	HCFC-225ca/cb	HFC-43-10mee	HFC-365mfc	PFC-51-14 (C ₆ F ₁₄)
Características de la sustancia					
Eficiencia radiativa (Wm ⁻² ppm ⁻¹)	0,14	0,2/0,32	0,4	0,21	0,49
Tiempo de vida en la atmósfera (años)	9,3	1,9/5,8	15,9	8,6	3 200
PCM (horizonte temporal de 100 años)					
– Este informe	713	120/586	1 610	782	9 140
– IPCC (1996, 2001a)	600	180/620	1 300	890	7 400
Potencial de agotamiento del ozono	0,12	0,02/0,03	–	–	–
Impacto sobre el O ₃ a nivel de la sup. terrestre					
– MIR ¹ (g-O ₁ /g sustancia)	<0,1	<0,1	n.d.	n.d.	n.d.
– POCP ² (unidades relativas)	0,1	0,2/0,1	n.d.	n.d.	n.d.
Impacto sobre el O ₃ a nivel de la sup. terrestre	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo
Inflamabilidad (según el punto de inflamación)	No es inflamable	No es inflamable	No es inflamable	Inflamable	No es inflamable
Datos técnicos					
Etapas de desarrollo	Comercial	Comercial	Comercial	Comercial	Comercial
Tipo de aplicación:					
– Limpieza de artículos electrónicos	X	X	X		
– Limpieza de artículos de precisión	X	X	X	X	X
– Limpieza de metales	X	X	X		
– Secado	X	X	X	X	
– Disolvente portador	X	X	X		X

Notas:

¹ MIR = *Maximum Incremental Reactivity* (escala de reactividad máxima).

² POCP = *Photochemical Ozone Creation Potential* (potencial de creación de ozono fotoquímico).

Cuadro RT-26. Sinopsis de los fluidos alternativos y de las tecnologías que no dependen del uso de fluorocarbonos en las aplicaciones del sector de los disolventes.

	CH ₂ Cl ₂ ^a	HFE-449s1 ^b	n-propil bromuro	“No Clean” (sin necesidad de limpieza)	Hidrocarburos /disolventes oxigenados	Acuosos/semi-acuosos
Características de la sustancia						
Eficiencia radiativa (W m ⁻² ppm ⁻¹)	0,03	0,31	0,3	n.d.		n.d.
Tiempo de vida en la atmósfera (años)	0,38	5	0,04	n.d.		n.d.
PCM (horizonte temporal de 100 años)						
– Este informe	10	397	n.d.	n.d.		n.d.
– IPCC (1996)	9	no se indica				
Potencial de agotamiento del ozono	–	–	–	–	–	–
Impacto sobre el ozono a nivel de la superficie terrestre						
– MIR (g-O ₁ /g-sustancia)	0,07	n.d.	n.d.	n.d.		
– POCP (unidades relativas)	7	n.d.	n.d.	n.d.		
Impacto sobre el ozono a nivel de la superficie terrestre	Escaso a moderado	Nulo	Escaso a moderado	Nulo	Escaso a moderado	Nulo
Inflamabilidad (de acuerdo con el punto de inflamación)	No es inflamable	No es inflamable	No es inflamable	n.d.	Inflamable	n.d.
Datos técnicos						
Etapas de desarrollo	Comercial	Comercial	Comercial	Comercial	Comercial	Comercial
Tipo de aplicación:						
– Limpieza de artículos electrónicos		X	X	X	X	X
– Limpieza de artículos de precisión		X	X		X	X
– Limpieza de metales	X	X	X		X	X
– Secado					X	
– Disolvente portador	X	X	X		X	

Notas:

^a Los valores indicados se refieren al CH₂Cl₂ únicamente. Como se señala en el capítulo 10, en estas aplicaciones se usan también otros disolventes clorados.

^b Los valores indicados se refieren al HFE-449s1 únicamente. Como se señala en el capítulo 10, en estas aplicaciones se usan también otros disolventes con HFE.

MIR = *Maximum Incremental Reactivity* (escala de reactividad máxima).

POCP = *Photochemical Ozone Creation Potential* (potencial de creación de ozono fotoquímico).

En el cuadro RT-27 se establece una comparación entre la optimización de los procesos y la oxidación térmica, como dos opciones de reducción de las emisiones del subproducto HFC-23.

¿Cuáles son las posibles tendencias futuras?

Aerosoles no médicos

Se estima que en 2010 las emisiones de HFC provenientes de aerosoles no médicos serán de 23 MtCO₂-eq. Las proyecciones indican un bajo crecimiento para este sector hasta 2015. Si bien no existen obstáculos técnicos para formular productos de consumo sin HFC, en los Estados Unidos aumentará el uso del HFC-152a en algunos productos, como los fijadores de cabello y los desodorantes en aerosol, debido a la aplicación de reglamentaciones para controlar la formación de ozono a nivel del suelo como consecuencia de la emisión de hidrocarburos. Las medidas de control de los compuestos orgánicos volátiles (COV) que se aplican actualmente en Europa no excluyen al HFC debido a la definición amplia de los COV (punto de ebullición <250°C en condiciones normales de presión y temperatura). No se conoce ninguna otra reglamentación de los COV en otras partes del mundo que restrinjan el uso de los hidrocarburos en aerosoles no médicos.

Disolventes

La mayoría de los disolventes generan emisiones por su propia naturaleza y tienen un corto período de inventario que oscila

entre unos pocos meses y dos años. Si bien los disolventes que se utilizan pueden ser, y de hecho son, destilados y reciclados *in situ*, en la práctica todas las cantidades que se venden acaban por emitirse. La distinción entre consumo y emisión (que sería la acumulación en depósitos) no es importante en estas aplicaciones. Las proyecciones indican que las emisiones mundiales de HFC y PFC provenientes del uso de disolventes serán de 4,2 MtCO₂-eq en 2010 y de 4,4 MtCO₂-eq en 2015. Se supone que las emisiones de PFC disminuirán de manera lineal hasta que dejen de utilizarse como disolventes en 2025.

Emisiones de HFC-23 como subproducto

La cantidad de HFC-23 que se produzca (y que en teoría puede emitirse) está directamente relacionada con la producción de HCFC-22; en consecuencia, para poder predecir las emisiones se requiere un escenario que permita proyectar los volúmenes de producción de HCFC-22 en el futuro. Esto dependerá del consumo de HCFC-22 en los países desarrollados, que actualmente está declinando, y del consumo que se registre en los países en desarrollo y la demanda mundial de fluoropolímeros como sustancias intermediarias, ambos en aumento.

Sobre la base de un escenario sin cambios que se ajuste estrictamente a los requisitos del Protocolo de Montreal, el consumo y la producción de HCFC-22 cuando no es utilizado como sustancia intermediaria se reducirá por un factor de 10 para 2015,

Cuadro RT-27. Comparación de las opciones de reducción del HFC-23 derivado de la producción del HCFC-22: optimización de los procesos y oxidación térmica.

HCFC-22		HFC-23		
Características de la sustancia				
Eficiencia radiativa ($\text{W m}^{-2} \text{ppmm}^{-1}$)	0,20	0,19		
Tiempo de vida en la atmósfera (años)	12	270		
PCM (horizonte temporal de 100 años)				
– Este informe	1 780	14 310		
– IPCC (1996)	1 500	11 700		
Potencial de agotamiento del ozono	0,05	~0		
Inflamabilidad	No es inflamable	No es inflamable		
Opciones de reducción de las emisiones de HFC-23		No hay optimización	Optimización de los procesos	Oxidación térmica
Etapa de desarrollo		Comercial	Comercial	Comercial
Emisiones directas		3–4% del HCFC-22 producido	2–3% del HCFC-22 producido	<1% del HCFC-22 producido
Costos adicionales		Referencia	Dependen de los procesos y del mercado; pueden oscilar entre ahorros marginales y una penalidad considerable	Costos totales de capital instalado: entre US\$ 2 y US\$ 8 millones; costos anuales de funcionamiento: entre US\$ 189 000 y US\$ 350 000

en comparación con el nivel medio registrado en el período 2000-2003 en los países desarrollados. Las proyecciones indican que en esos países el crecimiento de la demanda de fluoropolímeros como sustancias intermediarias continuará aumentando de manera lineal, hasta duplicar la demanda de HCFC-22 en 2015. En los países en desarrollo la producción de HCFC-22, tanto como sustancia intermediaria como para ser utilizado en otras aplicaciones, ha crecido rápidamente en los últimos años; en el período 1997-2001, la producción para uso comercial (no como sustancia intermediaria) creció linealmente a razón de 20 kt año⁻¹, y su uso como sustancia intermediaria aumentó a un ritmo de 4,1 kt año⁻¹. Si se proyectan estas tasas de crecimiento hasta 2015, la demanda mundial total de HCFC-22 llega a ser de alrededor de 730 kt año⁻¹ (un 40% del volumen de uso que tendría como sustancia intermediaria), en comparación con un total de 470 kt año⁻¹ en 2000 (cuadro RT-28).

En el escenario sin cambios proyectado hasta 2015 se presume que las emisiones provenientes de la capacidad actual (tanto en los países desarrollados como en desarrollo) continuarán representando el 2% de la producción de HCFC-22, y que la nueva capacidad (principalmente en los países en desarrollo) provocará emisiones de HFC-23 a una tasa del 4%. En consecuencia, las emisiones de HFC-23 podrían aumentar un 60% entre el momento actual y el año 2015, pasando de aproximadamente 15 kt año⁻¹ en 2003 a 23 kt año⁻¹ (cuadro RT-28).

En una variación de este escenario, la tecnología actual basada en las mejores prácticas, que comprende la captación y la oxidación térmica de los “gases ventilados”, se incorpora gradualmente en todas las instalaciones a partir de 2005. Se presume que la tecnología de destrucción tiene una eficiencia del 100% y está activa durante el 90% del tiempo de funcionamiento de la planta de producción de HCFC-22. Se hizo

un cálculo de la reducción de las emisiones provenientes de la misma actividad (partiendo de la base de la producción futura estimada de HCFC-22) como parte del escenario sin cambios. Por lo tanto, la diferencia entre las dos predicciones sobre la generación de HFC-23 se debe exclusivamente a la medida en que se aplique la tecnología de destrucción. Las predicciones representan dos posibles situaciones extremas, y los cambios futuros que se introduzcan en la actividad tenderán a aumentar la probabilidad de una u otra.

Según dos estudios realizados en Europa en 2000, la destrucción de las emisiones secundarias de HFC-23 derivadas de la producción de HCFC-22 tiene un potencial de reducción de hasta 300 MtCO₂-eq por año para 2015, y costos específicos de menos de US\$ 0,2 por tonelada de CO₂-equivalente. La disminución de la producción de HCFC-22 como resultado de las fuerzas del mercado, las políticas nacionales o las mejoras en el diseño y la construcción de las instalaciones también podría reducir las emisiones de HFC-23. [10.4]

Cuadro RT-28. Emisiones pasadas y futuras de HFC-23.

Año	Escenario de producción de HCFC-22 (kt)	Emisiones de HFC-23 en un escenario sin cambios (kt)	Emisiones de HFC-23 si se aplican las mejores prácticas actuales (kt)
1990	341	6,4	6,4
1995	385	7,3	7,3
2000	491	11,5	11,5
2005	550	15,2	13,8
2010	622	19,0	8,8
2015	707	23,2	2,3

Anexo I: Glosario de términos

Las definiciones de este glosario se refieren al uso de los términos en el contexto de los resúmenes del Informe especial sobre el ozono y el clima.

Aerosol

Partículas muy pequeñas, sólidas o líquidas, en suspensión en un gas. También se usa el término aerosol como nombre común de un tubo de pulverizador (spray), en el cual un contenedor está lleno de un producto y un propelente que se presuriza para liberar el producto atomizado.

Agente espumante (espumas)

Un gas, un líquido volátil o una sustancia química que genera gas durante el proceso de producción de espumas. El gas forma burbujas o alvéolos en la estructura plástica de la espuma.

Agotamiento de la capa de ozono

Destrucción química acelerada de la capa de ozono estratosférico por la presencia de sustancias producidas por actividades humanas.

Cambio climático

Importante variación estadística en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un período prolongado (normalmente decenios o incluso más). El cambio climático puede deberse a procesos naturales internos o a cambios del forzamiento externo, o bien a cambios persistentes antropógenos en la composición de la atmósfera o en el uso de las tierras.

Debe tenerse en cuenta que la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC), en su Artículo 1, define "cambio climático" como: "un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables". La CMCC distingue entre "cambio climático" atribuido a actividades humanas que alteran la composición atmosférica y "variabilidad climática" atribuida a causas naturales.

Clorofluorocarbonos (CFC)

Halocarbonos que contienen únicamente átomos de cloro, flúor y carbono. Los CFS son tanto sustancias que agotan la capa de ozono (SAO) cuanto gases de efecto invernadero (GEI).

CO₂ equivalente

Cantidad de dióxido de carbono que podría causar el mismo grado de forzamiento radiativo que una cantidad dada de otro gas de efecto invernadero. Cuando se trata de concentraciones se refiere al forzamiento radiativo instantáneo causado por el gas de efecto invernadero o su cantidad equivalente de CO₂. Cuando se trata de emisiones se refiere al forzamiento

radiativo, integrado en el tiempo en un horizonte temporal determinado, causado por el cambio en la concentración producido por las emisiones. Véase también Potencial de calentamiento mundial.

Columna de ozono

La cantidad total de ozono presente en una columna vertical por encima de la superficie terrestre. La columna de ozono se mide en unidades Dobson (DU).

Confinamiento (refrigeración)

La aplicación de técnicas de mantenimiento o equipos especiales diseñados para impedir o reducir las pérdidas de refrigerante durante la instalación, funcionamiento, mantenimiento o eliminación de equipos de refrigeración o aire acondicionado.

Costos específicos (de las opciones de reducción)

La diferencia en los costos de una opción de reducción comparada con un caso de referencia, expresada en unidades específicas. En este informe los costos específicos de las opciones de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero se expresan generalmente en dólares de los Estados Unidos por tonelada de emisiones evitadas de CO₂ equivalente (US\$/tCO₂-eq).

Depósitos

La cantidad total de sustancias contenidas en equipos existentes, reservas químicas, espumas y otros productos, que no han sido todavía liberadas en la atmósfera.

Destrucción

Destrucción de sustancias que agotan la capa de ozono (SAO) en plantas acreditadas con el fin de evitar su liberación en la atmósfera.

Dióxido de carbono (CO₂)

Gas presente espontáneamente en la naturaleza, que se crea también como consecuencia de la quema de combustibles de origen fósil y biomasa, así como de cambios en el uso de la tierra y otros procesos industriales. Es el principal gas de efecto invernadero antropógeno que afecta el balance radiativo de la Tierra. Es el gas de referencia frente al que generalmente se miden otros gases de efecto invernadero.

Disolventes

Todo producto (acuoso u orgánico) destinado a limpiar un componente o un aparato por disolución de los contaminantes presentes en su superficie.

Efecto de calentamiento total equivalente (TEWI)

Índice de la contribución total de un aparato al calentamiento mundial medido por las emisiones totales de gases de efecto invernadero que le son atribuidas durante su funcionamiento y

la eliminación de los fluidos que contiene al final de su vida útil. El índice TEWI toma en cuenta tanto las emisiones fugitivas directas como las emisiones indirectas producidas por el consumo de energía del equipo durante su funcionamiento. Se expresa en unidades de masa de CO₂ equivalente. Véase también Repercusión climática durante el ciclo de vida (LCCP).

Escenario sin cambios (hasta 2015, este informe)

Escenario de referencia para el uso de halocarbonos y sus alternativas, que asume que toda la reglamentación existente y las medidas de eliminación gradual, incluido el Protocolo de Montreal y regulaciones nacionales pertinentes, continúan hasta 2015. Las prácticas usuales (incluida la recuperación al término de la vida útil) y los índices de emisiones no experimentan cambios hasta 2015.

Escenarios IE-EE

Escenarios de emisiones desarrollados en el Informe especial del IPCC sobre escenarios de emisiones, publicado en 2000.

Espumas de un solo componente

Espumas en que el agente espumante actúa también como propulsor. Se utilizan principalmente para rellenar orificios y rendijas (para evitar el paso del aire) más que como aislamiento térmico propiamente. La utilización de un agente espumante como tal produce emisiones.

Estratosfera

Parte muy estratificada de la atmósfera por encima de la troposfera. Se extiende desde una altitud de unos 8 km en latitudes altas y de unos 16 km en los trópicos hasta una altitud de unos 50 km. Se caracteriza porque la temperatura sube con la altitud.

Evaluación del ciclo de vida (LCA)

Evaluación del impacto de un producto en el medio ambiente a lo largo de todo su ciclo de vida (fabricación, utilización y reciclado o eliminación).

Fluorocarbonos

Halocarbonos que contienen átomos de flúor; incluyen a los clorofluorocarbonos (CFC), los hidroclorofluorocarbonos (HCFC), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC).

Fluoroquetonas (FK)

Compuestos orgánicos en los cuales dos grupos de alquilo completamente fluorados se unen a un grupo carbonilo (C=O).

Forzamiento radiativo

Cambio en la irradiación vertical neta (expresada en vatios por metro cuadrado: W m⁻²) en la tropopausa, a raíz de un cambio interno o de un cambio en el forzamiento externo del sistema climático, como, por ejemplo, un cambio en la concentración de dióxido de carbono (CO₂) o en la energía emitida por el sol. El forzamiento radiativo se calcula generalmente después de dejar un margen para que las temperaturas de la estratosfera se reajusten a un estado de equilibrio radiativo, pero mantenien-

do constantes todas las propiedades troposféricas en sus valores no perturbados. El forzamiento radiativo se llama *instantáneo* si no se tienen en cuenta cambios en la temperatura estratosférica. Véase también Potencial de calentamiento mundial.

Gases de efecto invernadero (GEI)

Componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos, que absorben y emiten radiación dentro del espectro de radiación infrarroja térmica emitida por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes. Esta propiedad es la que produce el efecto invernadero. En la atmósfera de la Tierra, los principales GEI son el vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄) y el ozono (O₃). Hay además en la atmósfera una serie de GEI creados íntegramente por el ser humano, como los halocarbonos y otras sustancias con contenido de cloro y bromo, regulados por el Protocolo de Montreal. Algunos otros oligogases, como el hexafluoruro de azufre (SF₆), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC) son también gases de efecto invernadero.

Halocarbonos

Compuestos químicos que contienen átomos de carbono y uno o más átomos de los halógenos cloro (Cl), flúor (F), bromo (Br) o yodo (I). Los *halocarbonos completamente halogenados* contienen únicamente átomos de carbono y de halógenos, mientras que los *halocarbonos parcialmente halogenados* también contienen átomos de hidrógeno (H). Los halocarbonos que liberan cloro, bromo o yodo en la estratosfera provocan el agotamiento de la capa de ozono. Los halocarbonos son igualmente gases de efecto invernadero. Ellos comprenden los clorofluorocarbonos (CFC), los hidroclorofluorocarbonos (HCFC), los hidrofluorocarbonos (HFC), los perfluorocarbonos (PFC) y los halones.

Halones

Halocarbonos completamente halogenados que contienen átomos de bromo y flúor.

Hidrocarburos (HC)

Compuestos químicos que consisten de uno o más átomos de carbono rodeados únicamente de átomos de hidrógeno.

Hidroclorofluorocarbonos (HCFC)

Halocarbonos que contienen únicamente átomos de hidrógeno, cloro, flúor y carbono. Por el hecho de que contienen cloro, ellos contribuyen al agotamiento de la capa de ozono. Los hidroclorofluorocarbonos son igualmente gases de efecto invernadero.

Hidrofluoréteres (HFE)

Sustancias químicas compuestas por hidrógeno, flúor y éter, que presentan características similares a ciertas sustancias que agotan la capa de ozono (SAO) utilizadas como disolventes.

Hidrofluorocarbonos (HFC)

Halocarbonos que contienen únicamente átomos de carbono, hidrógeno y flúor. Debido a que no contienen cloro, bromo o

yodo, no contribuyen al agotamiento de la capa de ozono. Al igual que otros halocarbonos, son potentes gases de efecto invernadero.

Inhalador de dosis medidas (IDM) (aerosoles de uso médico)

Método para administrar drogas en el aparato respiratorio mediante la inhalación.

Inhalador de polvo seco (IPS) (aerosoles de uso médico)

Tecnología alternativa a la de los inhaladores de dosis medidas (IDM) que puede ser utilizada si el medicamento a administrarse puede reducirse satisfactoriamente a un polvo muy fino, eliminando de ese modo el uso de propelentes químicos.

Mejores prácticas

Para efectos de este informe, se consideran mejores prácticas aquellas que permiten alcanzar el menor valor de emisiones de halocarbonos en una fecha dada, utilizando tecnologías comercialmente probadas en la producción, utilización, sustitución, recuperación y destrucción de halocarbonos o productos basados en halocarbonos.

Mezclas (refrigeración)

Una mezcla de dos o más fluidos puros. Las mezclas se emplean para alcanzar propiedades que cumplen con muchos propósitos útiles en refrigeración. Por ejemplo, una mezcla de componentes inflamables y no inflamables puede resultar en un producto no inflamable. Las mezclas pueden dividirse en tres categorías: azeotrópicas, no azeotrópicas y casi azeotrópicas.

Miscible

Propiedad que presentan dos líquidos o gases de disolverse uniformemente uno en otro. Líquidos inmiscibles se separarán en dos capas diferentes.

Ozono

El ozono, la forma triatómica del oxígeno (O_3), es un componente gaseoso de la atmósfera. En la troposfera se crea naturalmente y también como consecuencia de reacciones fotoquímicas en las que intervienen gases resultantes de actividades humanas (smog). El ozono troposférico se comporta como un gas de efecto invernadero. En la estratosfera se crea por efecto de la interacción entre la radiación solar ultravioleta y el oxígeno molecular (O_2). El ozono estratosférico desempeña un papel fundamental en el balance radiativo de la atmósfera. Su concentración alcanza su valor máximo en la capa de ozono.

Perfluorocarbonos (PFC)

Halocarbonos producidos sintéticamente que contienen únicamente átomos de carbono y flúor. Se caracterizan por su extrema estabilidad, por ser ininflamables, por su baja toxicidad, tienen un potencial de agotamiento de la capa de ozono nulo, pero un elevado potencial de calentamiento mundial.

Potencial de calentamiento mundial (PCM)

Índice que compara los efectos en el clima de la emisión de un gas de efecto invernadero con los provocados por la emisión de la misma cantidad de dióxido de carbono. El PCM se determina como la relación entre la fuerza radiativa, integrada en el tiempo, de la emisión sostenida de un kilogramo de una sustancia y aquella de un kilogramo de dióxido de carbono, en un horizonte temporal fijo. Véase también Forzamiento radiativo.

Reciclado

Reutilización de una sustancia controlada recuperada mediante un proceso básico de limpieza, como filtrado y secado. En el caso de los refrigerantes, el reciclado normalmente consiste en recargar los equipos y aparatos, proceso que a menudo ocurre *in situ*.

Recuperación

La recolección y almacenamiento de sustancias controladas provenientes de máquinas, equipos y aparatos, dispositivos de confinamiento, etc., durante su mantenimiento o antes de su puesta fuera de servicio, sin necesariamente someterlos a pruebas ni a ningún tipo de proceso.

Refrigerante (refrigeración)

Un agente de transferencia de calor, generalmente un líquido, utilizado en aparatos tales como refrigeradores, congeladores y equipos de aire acondicionado.

Repercusión climática durante el ciclo de vida (LCCP)

Medición del impacto total de un aparato o equipo en el calentamiento mundial basada en sus emisiones totales de gases de efecto invernadero a lo largo de su ciclo de vida. Es una extensión del concepto del efecto de calentamiento total equivalente (TEWI). La LCCP también contempla las emisiones fugitivas directas que se presentan durante la fabricación de un equipo y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a su consumo de energía.

Sustancias que agotan la capa de ozono (SAO)

Sustancias que destruyen el ozono estratosférico. Las SAO controladas por el Protocolo de Montreal y sus enmiendas son los clorofluorocarbonos (CFC), los hidroclorofluorocarbonos (HCFC), los halones, el bromuro de metilo (CH_3Br), el tetracloruro de carbono (CCl_4), el metilcloroformo (CH_3CCl_3), los hidrobromofluorocarbonos (HBFC) y el bromoclorometano (CH_2BrCl).

Tecnologías que no dependen del uso de fluorocarbonos

Tecnologías que consiguen los mismos objetivos que otros productos pero sin emplear halocarbonos, en general con enfoques alternativos o técnicas no convencionales. Por ejemplo, uso de desodorantes en barra o con pulverizadores de bomba en lugar de aerosoles con CFC-12; uso de lana mineral en reemplazo de espumas aislantes con CFC, HFC o HCFC; o el uso de inhaladores de polvo seco en vez de los inhaladores de dosis medidas que usan CFC o HFC.

Troposfera

Parte inferior de la atmósfera por encima de la superficie de la Tierra, donde están las nubes y ocurren los fenómenos meteorológicos. El espesor de la troposfera es de 9 km en promedio en latitudes altas, de 10 km en latitudes medias y de 16 km en los trópicos. En la troposfera las temperaturas descienden con la altitud.

Variabilidad del clima

La variabilidad del clima se refiere a las variaciones en el estado medio y otros datos estadísticos (como las desviaciones típicas, la ocurrencia de fenómenos extremos, etc.) del clima en todas las escalas temporales y espaciales, más allá de fenómenos meteorológicos determinados. La variabilidad puede deberse a procesos internos naturales dentro del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones en los forzamientos externos naturales o antropógenos (variabilidad externa). Véase también Cambio climático.

Anexo II: Principales fórmulas químicas y nomenclatura

Este anexo contiene las fórmulas y nomenclatura de varias especies que contienen halógenos y otras a que se hace referencia en el Resumen para responsables de políticas.

El *Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono* controla la producción y el consumo de los siguientes halocarbonos: los clorofluorocarbonos (CFC), los hidroclorofluorocarbonos (HCFC), los halones, los hidrobrofluorocarbonos (HBFC), el tetracloruro de carbono (CCl_4), el metilcloroformo (CH_3CCl_3), el bromuro de metilo (CH_3Br), y el bromoclorometano (CH_2BrCl).

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC) se ocupa de las emisiones antropógenas de gases de efecto invernadero no controladas por el Protocolo de Montreal. El Protocolo de Kyoto de la CMCC contempla los siguientes gases de efecto invernadero: el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O), los hidrofluorocarbonos (HFC), los perfluorocarbonos (PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF_6).

Halocarbonos

Para cada halocarbono se da la siguiente información en columnas:

- Compuesto químico [número de isómeros si son más de uno] (o nombre común)
- Fórmula química
- Nombre químico (o nombre alternativo)

Clorofluorocarbonos (CFC)		[La producción y el consumo son controlados por el Protocolo de Montreal] ¹
CFC-11	CCl_3F	Triclorofluorometano
CFC-12	CCl_2F_2	Diclorodifluorometano
CFC-13	CClF_3	Clorotrifluorometano
CFC-113 [2]	$\text{C}_2\text{Cl}_3\text{F}_3$	Triclorotrifluoroetano
CFC-113	$\text{CCl}_2\text{FCClF}_2$	1,1,2-Tricloro-1,1,2-trifluoroetano
CFC-113a	CCl_3CF_3	1,1,1-Tricloro-2,2,2-trifluoroetano
CFC-114 [2]	$\text{C}_2\text{Cl}_2\text{F}_4$	Diclorotetrafluoroetano
CFC-114	$\text{CClF}_2\text{CClF}_2$	1,2-Dicloro-1,1,2,2-tetrafluoroetano
CFC-114a	CCl_2FCF_3	1,1-Dicloro-1,2,2,2-tetrafluoroetano
CFC-115	CClF_2CF_3	Cloropentafluoroetano

Hidroclorofluorocarbonos (HCFC)		[La producción y el consumo son controlados por el Protocolo de Montreal] ¹
HCFC-21	CHCl_2F	Diclorofluorometano
HCFC-22	CHClF_2	Clorodifluorometano
HCFC-123 [3]	$\text{C}_2\text{HCl}_2\text{F}_3$	Diclorotrifluoroetano
HCFC-123	CHCl_2CF_3	2,2-Dicloro-1,1,1-Trifluoroetano
HCFC-123a	$\text{C}_2\text{HCl}_2\text{F}_3$	1,2-Dicloro-1,1,2-trifluoroetano
HCFC-123b	$\text{C}_2\text{HCl}_2\text{F}_3$	1,1-Dicloro-1,2,2-trifluoroetano
HCFC-124 [2]		Clorotetrafluoroetano
HCFC-124	CHCl_2CF_3	2-Cloro-1,1,1,2-tetrafluoroetano
HCFC-124a	C_2HClF_4	1-Cloro-1,1,2,2-tetrafluoroetano
HCFC-141b	$\text{CH}_3\text{CCl}_2\text{F}$	1,1-Dicloro-1-fluoroetano
HCFC-142b	CH_3CClF_2	1-Cloro-1,1-difluoroetano
HCFC-225ca	$\text{CHCl}_2\text{CF}_2\text{CF}_3$	3,3-Dicloro-1,1,1,2,2-pentafluoropropano
HCFC-225cb	$\text{CHCl}_2\text{CF}_2\text{CClF}_2$	1,3-Dicloro-1,1,2,2,3-pentafluoropropano

¹ Nótese que las sustancias presentadas aquí no son más que una selección de las sustancias controladas por el Protocolo de Montreal.

<i>Halones</i> [La producción y el consumo son controlados por el Protocolo de Montreal] ¹		
Halón-1202	CBr_2F_2	Dibromodifluorometano
Halón-1211	CBrClF_2	Bromoclorodifluorometano (Clorodifluorobromometano), R-12B1
Halón-1301	CBrF_3	Bromotrifluorometano, R-13B1
Halón-2402	$\text{CBrF}_2\text{CBrF}_2$	1,2-Dibromotetrafluoroetano (1,1,2,2-Tetrafluoro-, 1,2-dibromoetano, 1,2-Dibromo- 1,1,2,2-tetrafluoroetano)

<i>Otros halocarbonos</i> [La producción y el consumo son controlados por el Protocolo de Montreal] ¹		
Tetracloruro de carbono	CCl_4	Halón 104, R-10
Metilcloroformo	CH_3CCl_3	1,1,1-Tricloroetano
Bromuro de metilo	CH_3Br	Halón-1001, Bromometano
Bromoclorometano	CH_2BrCl	Halón-1011

<i>Hidrofluorocarbonos (HFC)</i>		
HFC-23	CHF_3	Trifluorometano
HFC-32	CH_2F_2	Difluorometano (Fluoruro de metileno)
HFC-41	CH_3F	Fluorometano (Fluoruro de metilo)
HFC-125	CHF_2CF_3	Pentafluoroetano
HFC-134 [2]	$\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$	Tetrafluoroetano
HFC-134	CHF_2CHF_2	1,1,2,2-Tetrafluoroetano
HFC-134a	CH_2FCF_3	1,1,1,2-Tetrafluoroetano
HFC-143 [2]	$\text{C}_2\text{H}_3\text{F}_3$	Trifluoroetano
HFC-143	CH_2FCHF_2	1,1,2-Trifluoroetano
HFC-143a	CH_3CF_3	1,1,1-Trifluoroetano
HFC-152 [2]	$\text{C}_2\text{H}_4\text{F}_2$	Difluoroetano
HFC-152	$\text{CH}_2\text{FCH}_2\text{F}$	1,2-Difluoroetano
HFC-152a	CHF_2CH_3	1,1-Difluoroetano
HFC-161	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{F}$	Monofluoroetano (Fluoruro de etilo)
HFC-227 [2]	C_3HF_7	Heptafluoropropano
HFC-227ca	$\text{CF}_3\text{CF}_2\text{CHF}_2$	1,1,1,2,2,3,3-Heptafluoropropano
HFC-227ea	$\text{CF}_3\text{CHFCF}_3$	1,1,1,2,3,3,3-Heptafluoropropano
HFC-236 [4]	$\text{C}_3\text{H}_2\text{F}_6$	Hexafluoropropano
HFC-236ca	$\text{CHF}_2\text{CF}_2\text{CHF}_2$	1,1,2,2,3,3-Hexafluoropropano
HFC-236cb	$\text{CH}_2\text{FCF}_2\text{CF}_3$	1,1,1,2,2,3-Hexafluoropropano
HFC-236ea	$\text{CHF}_2\text{CHF}_2\text{CF}_3$	1,1,1,2,3,3-Hexafluoropropano
HFC-236fa	$\text{CF}_3\text{CH}_2\text{CF}_3$	1,1,1,3,3,3-Hexafluoropropano
HFC-245 [5]	$\text{C}_3\text{H}_3\text{F}_5$	Pentafluoropropano
p.ej. HFC-245ca	$\text{CH}_2\text{FCF}_2\text{CHF}_2$	1,1,2,2,3-Pentafluoropropano
HFC-245fa	$\text{CHF}_2\text{CH}_2\text{CF}_3$	1,1,1,3,3-Pentafluoropropano
HFC-365mfc	$\text{CH}_3\text{CF}_2\text{CH}_2\text{CF}_3$	1,1,1,3,3-Pentafluorobutano
HFC-43-10mee	$\text{CF}_3\text{CHFCH}_2\text{CF}_2\text{CF}_3$	1,1,1,2,2,3,4,5,5,5-Decafluoropentano (2H,3H-Perfluoropentano)
HFC-c-447ef	$\text{c-C}_5\text{H}_3\text{F}_7$	Heptafluorociclopentano

Perfluorocarbonos (PCF)

PFC-14	CF_4	Tetrafluorometano (Tetrafluoruro de carbono)
PFC-116	C_2F_6 (CF_3CF_3)	Perfluoretano (Hexafluoroetano)
PFC-218	C_3F_8 ($\text{CF}_3\text{CF}_2\text{CF}_3$)	Perfluoropropano (Octafluoropropano)
PFC-318 o PFC-c318	$\text{c-C}_4\text{F}_8$ ($-(\text{CF}_2)_4-$)	Perfluorociclobutano (Octafluorociclobutano)
PFC-3-1-10	C_4F_{10}	Perfluorobutano
PFC-5-1-14	C_6F_{14}	Perfluorohexano
PFC-6-1-16	C_7F_{16}	Perfluoroheptano
PFC-7-1-18	C_8F_{18}	Perfluorooctano

Éteres fluorados

HFE-449s1	$\text{C}_5\text{H}_3\text{F}_9\text{O}$ $\text{CF}_3(\text{CF}_2)_3\text{OCH}_3$ (CF_3) ₂ CFCF ₂ OCH ₃	Éter metílico nonafluorobutilo Éter metílico perfluoroisobutilo
HFE-569sf2	$\text{C}_6\text{H}_3\text{F}_9\text{O}$ $\text{CF}_3(\text{CF}_2)_3\text{OCF}_2\text{CF}_3$ (CF_3) ₂ CFCF ₂ OCF ₂ CF ₃	Éter etílico perfluorobutilo Éter etílico perfluoroisobutilo
HFE-347pcf2	$\text{C}_4\text{H}_3\text{F}_7\text{O}$ ($\text{CF}_3\text{CH}_2\text{OCF}_2\text{CHF}_2$)	1,1,2,2-Tetrafluoroetilo 2,2,2-éter trifluoroetilo

Otros halocarbonos

Ácido trifluoroacético (TFA)	$\text{C}_2\text{HF}_3\text{O}_2$ (CF_3COOH)	Ácido perfluórico
------------------------------	--	-------------------

Hidrocarburos no halogenados

Metano	CH_4	R-50
Etano	C_2H_6 (CH_3CH_3)	R-170
Propano	C_3H_8 ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$)	R-290
Butano	C_4H_{10} ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$)	R-600, n-Butano
Isobutano	C_4H_{10} ($(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_3$)	R-600a, i-Butano, 2-Metilpropano
Pentano	C_5H_{12} ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CH}_3$)	R-601, n-Pentano
Isopentano	C_5H_{12} ($(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{CH}_3$)	R-601a, i-Pentano, 2-Metilbutano

El *Informe especial sobre la protección de la capa de ozono y el sistema climático mundial: Cuestiones relativas a los hidrofluorocarbonos y a los perfluorocarbonos* proporciona información pertinente para la adopción de decisiones relacionadas con la protección de la capa de ozono y el sistema climático, que constituyen dos problemas medioambientales mundiales que requieren complejas consideraciones científicas y técnicas. Dicho informe fue elaborado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) y el Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica (GETE) del Protocolo de Montreal para atender a una invitación formulada por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Montreal.

Las pruebas científicas que relacionan los clorofluorocarbonos (CFC) y otras sustancias que agotan la capa de ozono (SAO) con el agotamiento del ozono mundial dieron paso al control inicial de sustancias químicas en el marco del Protocolo de Montreal, de 1987, y a las enmiendas y modificaciones de los años noventa por las que se agregaron otras SAO. Además, con esas pruebas se acordó la eliminación progresiva de las SAO y se aceleró ese proceso. A medida que se elaboraban distintos enfoques de eliminación progresiva de las SAO, se reparó en que algunas de las medidas destinadas a reducir el futuro agotamiento de la capa de ozono, en particular la introducción de los HFC y los PFC, podrían afectar al calentamiento global. Cuando se negoció el Protocolo de Kyoto en 1997, los países tenían nuevos alicientes para tomar en consideración la forma en que los distintos sustitutos de las SAO podrían afectar a los objetivos de ambos Protocolos.

El potencial de cada sustituto de las SAO para influir en el sistema climático no sólo depende de las propiedades físicas y químicas de la sustancia en sí misma, sino también de factores que influyen en su emisión a la atmósfera, tales como el confinamiento, el reciclado, la destrucción y la eficiencia energética en determinadas aplicaciones. En once capítulos y anexos complementarios, el informe proporciona el contexto científico necesario para estudiar las distintas alternativas a las SAO, las metodologías posibles para evaluar las opciones, y las cuestiones técnicas relativas a las posibilidades de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de cada uno de los sectores implicados, en especial la refrigeración, el aire acondicionado, las espumas, los aerosoles, la protección contra incendios y los disolventes. En el informe se aborda, asimismo, la disponibilidad de HFC en el futuro.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) crearon conjuntamente el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), mientras que las Partes en el Protocolo de Montreal establecieron el Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica (GETE) del PNUMA. Ambos Grupos realizan evaluaciones autorizadas en el ámbito internacional de la información científica, técnica y socioeconómica sobre el cambio climático (IPCC), y del estado de la tecnología para proteger la capa de ozono estratosférico (GETE).

Cambridge University Press (<http://www.cambridge.org>) publica la versión íntegra del Informe especial, y se puede acceder a la versión digital del mismo a través del sitio web de la Secretaría del IPCC (<http://www.ipcc.ch>) u obtener en CD-ROM previa solicitud a la Secretaría del IPCC. En esta publicación figuran el Resumen para responsables de políticas y el Resumen técnico del informe.