



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

Distr.: General
28 de agosto de 2007

Español
Original: Inglés

**Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes
Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes
Tercera reunión**

Ginebra, 19 a 23 de noviembre de 2007
Tema 6 a) del programa provisional*

**Examen de los proyectos de evaluación de la gestión de
riesgos sobre: éter de pentabromodifenilo**

**Proyecto de evaluación de la gestión de riesgos sobre: éter de
pentabromodifenilo de calidad comercial**

Nota de la secretaría

1. En su segunda reunión, el Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes adoptó la decisión POPRC-2/1 relativa al éter de pentabromodifenilo de calidad comercial¹. En virtud del párrafo 3 de la decisión, el Comité resolvió crear un grupo de trabajo especial encargado de la preparación de una evaluación de la gestión de riesgos que incluyera un análisis de las posibles medidas de control aplicables al éter de pentabromodifenilo de calidad comercial de conformidad con el anexo F del Convenio.
2. Los miembros del grupo de trabajo especial sobre el éter de pentabromodifenilo y los observadores del mismo figuran en el anexo V del documento UNEP/POPS/POPRC.2/17.
3. En su segunda reunión, el Comité adoptó un plan de trabajo tipo para la preparación de un proyecto de evaluación de la gestión de riesgos².
4. En consonancia con la decisión POPRC-2/1 y el plan de trabajo tipo adoptado por el Comité, el grupo de trabajo especial sobre el éter de pentabromodifenilo elaboró el proyecto de evaluación de la gestión de riesgos contenido en el anexo de la presente nota. El proyecto de evaluación de la gestión de riesgos no ha sido objeto de revisión editorial oficial. En el documento UNEP/POPS/POPRC.3/INF/23 se facilitan información y referencias complementarias.

* UNEP/POPS/POPRC.3/1/Rev.1.

¹ UNEP/POPS/POPRC.2/17, anexo I.

² *Ibid.*, párrafo 39 y anexo II-B.

Medidas que el Comité podría adoptar

5. El Comité tal vez desee:

a) Adoptar, con las modificaciones que pueda considerar oportunas, el proyecto de evaluación de la gestión de riesgos que figura en el anexo de la presente nota.

b) Decidir, de conformidad con el párrafo 9 del artículo 8 del Convenio, basándose en el perfil de riesgos aprobado en su segunda reunión (UNEP/POPS/POPRC/17/Add.1) y en la evaluación de la gestión de riesgos, si debería recomendarse que la Conferencia de las Partes estudiara la inclusión de esa sustancia química en los anexos A, B o C, o los tres.

Anexo

ÉTER DE PENTABROMODIFENILO DE CALIDAD COMERCIAL

PROYECTO DE EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN DE RIESGOS

Proyecto elaborado por el grupo de trabajo especial sobre
el éter de pentabromodifenilo
del Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes
del Convenio de Estocolmo

Agosto de 2007

ÍNDICE

1.	Introducción.....	6
1.1	Identidad química de la sustancia propuesta	6
	Antecedentes	6
	Identidad química de la sustancia propuesta	6
1.2	Conclusiones del Comité de Examen acerca de la información del anexo E	6
1.3	Medidas de control adoptadas a los niveles nacional o regional	6
2.	Producción, uso y emisiones.....	7
2.1	Niveles y tendencias de producción y uso.....	7
	Demanda y producción totales	7
2.2	Uso del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial.....	8
2.3	Demanda mundial de piroretardantes en el futuro	9
2.4	Emisiones durante la producción de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial y de productos en cuya elaboración se emplea esa sustancia.....	10
2.5	Emisiones por el uso de productos que contienen éter de pentabromodifenilo de calidad comercial	10
	Equipo de interiores	10
	Equipo de exteriores.....	11
2.6	Emisiones dimanantes de desechos que contienen éter de pentabromodifenilo de calidad comercial	11
	Desechos generados en la producción de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial	11
	Desechos generados en procesos de fabricación de productos con contenido de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial	11
	Cuando los productos que contienen éter de pentabromodifenilo de calidad comercial se convierten en desechos.....	11
	Emisiones dimanantes de vertederos y de la incineración.....	12
2.7	Emisiones asociadas a actividades de reciclado y desmantelamiento	12
	Plantas de reciclado de desechos eléctricos y electrónicos	12
	Desmantelamiento de vehículos.....	13
	Desmantelamiento de edificios y de otras construcciones	13
3.	Resumen de la información relativa a la evaluación de la gestión de riesgos.....	13
3.1	Posibles medidas de control	13
	Eficacia y eficiencia de las posibles medidas de control.....	15
	Gestión de desechos	15
3.2	Información sobre alternativas (productos y procesos).....	16
	Alternativas al éter de pentabromodifenilo de calidad comercial en la espuma de poliuretano	16
	Alternativas no químicas al éter de pentabromodifenilo de calidad comercial en la espuma de poliuretano.....	17
	Alternativas al éter de pentabromodifenilo de calidad comercial en aparatos eléctricos y electrónicos	17
	Alternativas al éter de pentabromodifenilo de calidad comercial en productos textiles.....	17
3.3	Repercusiones que la aplicación de posibles medidas de control tendrá en la sociedad	17
	Ventajas derivadas de la eliminación gradual del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial	17
	Costos de la eliminación gradual del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial.....	18
4.	Síntesis de la información.....	19
4.1	Resumen de la evaluación.....	19
4.2	Componentes de una estrategia de evaluación de riesgos	20
	Declaración final	21
	Referencias.....	22

Sinopsis

El éter de pentabromodifenilo de calidad comercial es una mezcla de pirorretardantes bromados, esencialmente isómeros de éter de pentabromodifenilo y de éter de tetrabromodifenilo. Los pirorretardantes bromados constituyen un grupo de sustancias orgánicas bromadas que inhiben o impiden la combustión en el material orgánico. El éter de pentabromodifenilo de calidad comercial se utiliza o se ha utilizado, casi exclusivamente, en la fabricación de espuma de poliuretano flexible para mobiliario y tapizados del hogar y de vehículos y para embalajes, y el poliuretano flexible no esponjoso para estuches y productos electrónicos. Asimismo, estos materiales se emplean, en menor grado, en aplicaciones especiales en productos textiles y en el sector industrial. Las propiedades químicas y físicas del éter de tetrabromodifenilo y del éter de pentabromodifenilo han contribuido a su amplia propagación en el medio ambiente y entre los seres humanos, y existen pruebas de su toxicidad. Por ello, el éter de pentabromodifenilo de calidad comercial es motivo de inquietud en muchas regiones del mundo.

Existen normas nacionales e internacionales relativas a la seguridad frente al fuego para algunos grupos de productos. Las mismas se aplican, por ejemplo, a los productos eléctricos, a los embalajes industriales, al mobiliario tapizado, a las cortinas, a los electrodomésticos y a los cables eléctricos. Esas normas especifican las propiedades pirorretardantes exigidas, pero no cuáles son los pirorretardantes que se han de utilizar. Hasta ahora se ha considerado que los pirorretardantes bromados son los más eficientes. En la actualidad, se ha generalizado la sustitución de esas sustancias por pirorretardantes sin bromo o la modificación del diseño del producto de manera que no sea preciso seguir empleando pirorretardantes.

En el medio ambiente se detectan altos niveles de éter de pentabromodifenilo. Se trata de una sustancia con propiedades muy tóxicas y que se ha demostrado que es persistente y bioacumulativa. Constituye, por ello, un posible riesgo para las generaciones futuras. Las concentraciones en la fauna y flora silvestres y en los seres humanos también han aumentado notablemente (RPA, 2000). Esas observaciones han conducido a eliminaciones graduales voluntarias y obligatorias del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial en varias regiones del mundo. En vista de que se trata de un problema mundial y transfronterizo, tendría que analizarse la posibilidad de adoptar medidas a nivel mundial para su eliminación gradual.

Varios países han indicado que les resultaría difícil adoptar normas respecto de una mezcla comercial de éter de pentabromodifenilo. La inclusión de los diversos congéneres en una lista de sustancias prohibidas estaría en concordancia con las legislaciones nacionales actualmente en vigor para el congénere éter de pentabromodifenilo y facilitaría vigilar y controlar a nivel nacional las emisiones, la producción y el uso. Se ha señalado que, si se decide incluir en la lista de sustancias prohibidas los distintos éteres de bromodifenilo con cuatro o cinco bromos, se debería estudiar la inclusión en dicha lista del éter de hexabromodifenilo, el cual representa una pequeña parte de la mezcla del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial. Si bien esto ofrece algunas ventajas manifiestas, la información inicial acerca del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial (incluida la declaración de perfil de riesgos del anexo D) no contiene muchos datos sobre el éter de hexabromodifenilo. Por otra parte, al ser éste un componente del éter de octabromodifenilo, la inclusión del éter de hexabromodifenilo en la lista tendría que estudiarse cuando se evaluaran las opciones de gestión concernientes al éter de octabromodifenilo.

Conclusión y recomendación

Tras evaluar el perfil de riesgos del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial y llegar a la conclusión de que debido a las características de sus componentes y a su transporte a gran distancia en el medio ambiente, resulta probable que esa sustancia química genere unos considerables efectos nocivos para la salud de las personas y para el medio ambiente, se ha elaborado la presente evaluación de la gestión de riesgos, tal y como se especifica en el anexo F del Convenio.

De conformidad con lo dispuesto en el párrafo 9 del artículo 8 del Convenio, el Comité recomienda a la Conferencia de las Partes que estudie la posibilidad de incluir los éteres de difenilo bromados (éteres de difenilo polibromados (PBDE)) con cuatro o cinco bromos en el anexo A del Convenio, así como de detallar las medidas de control relativas a los mismos, tal y como se ha indicado *supra*.

1. Introducción

1.1 Identidad química de la sustancia propuesta

Antecedentes

En 2005, Noruega propuso que se incluyera el éter de pentabromodifenilo de calidad comercial en la lista de contaminantes orgánicos persistentes (COP) según lo dispuesto en el anexo A del Convenio de Estocolmo, y a ese país le ha correspondido la tarea de redactar el borrador de la presente evaluación de la gestión de riesgos (anexo F).

El éter de pentabromodifenilo es un pirorretardante bromado, integrante de un grupo de sustancias orgánicas bromadas que inhiben o impiden la combustión en el material orgánico. Se ha utilizado fundamentalmente en la fabricación de espuma de poliuretano flexible para mobiliario y tapicerías para el hogar y para vehículos, en embalajes y, en menor grado, se emplea el poliuretano flexible no esponjoso en estuches y en productos eléctricos y electrónicos. También se ha utilizado, en cierta medida, en aplicaciones especializadas en productos textiles y para otros usos diversos. Debido a las propiedades químicas y tóxicas de sus principales componentes –isómeros de éter de tetrabromodifenilo y de éter de pentabromodifenilo– y a su amplia presencia en el medio ambiente y en los seres humanos, el éter de pentabromodifenilo de calidad comercial genera inquietud en muchas regiones del mundo.

Identidad química de la sustancia propuesta

Éter de pentabromodifenilo de calidad comercial es la denominación que reciben mezclas de congéneres de éter de bromodifenilo en las que los principales componentes son 2,2', 4, 4'-éter de tetrabromodifenilo (BDE-47 CAS No. 40088-47-9) y 2,2', 4,4',5-éter de pentabromodifenilo (BDE-99 CAS No. 32534-81-9), los cuales poseen la máxima concentración en peso respecto de los otros componentes de la mezcla. Las variantes de éteres de hexabromodifenilo también pueden presentar un contenido considerable de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial. La formulación del pentabromodifenilo de calidad comercial empleado en Norteamérica y Europa contiene entre un 4 y un 12% de éter de hexabromodifenilo.

El sistema de numeración de los éteres de pentabromodifenilo es el mismo que el empleado para los policlorobifenilos (Ballschmiter y otros, 1993). El acrónimo PBDE se utiliza para el término genérico éter de difenilo polibromado, el cual designa todos los congéneres de la familia de los éteres de bromodifenilo. En ocasiones se abrevia como BDE.

1.2 Conclusiones del Comité de Examen acerca de la información del anexo E

En el anexo E del Convenio de Estocolmo se dispone la elaboración de un perfil de riesgos a fin de evaluar si es probable que la sustancia química, a causa de su transporte a gran distancia en el medio ambiente, pueda generar efectos perjudiciales de importancia para la salud de las personas y/o para el medio ambiente en un grado tal que se justifique la adopción de medidas a nivel mundial. En 2006 se preparó y se aceptó un perfil de riesgos del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial (UNEP, 2006). El Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes alcanzó la conclusión siguiente:

«El éter de pentabromodifenilo (C-PentaBDE) es una mezcla sintética de origen antropógeno que no ocurre espontáneamente en la naturaleza. Por tal motivo cabe inferir que la presencia de componentes de PFOS en el medio ambiente es el resultado de la actividad humana. El transporte a gran distancia debe ser el responsable de su presencia en lugares como la región ártica, alejada de los lugares de producción y emisión. El pentaBDE degrada lentamente en el medio ambiente y puede bioacumularse en los mamíferos y las aves que se alimentan de peces. La eliminación de la producción y el uso del pentaBDE-c han dado lugar a una disminución de su uso actual, pero muchos materiales que se utilizan, como las espumas de poliuretano y los plásticos de equipos electrónicos, contienen pentaBDE que se libera lentamente a la atmósfera. Estas emisiones se acelerarán al final de la vida útil de esos materiales, sobre todo durante las operaciones de recuperación y reciclado. Pese a que los niveles de pentaBDE en la sangre humana y la leche materna y en otras especies naturales han disminuido en Europa, en América del Norte y la región ártica siguen aumentando.

La información que figura en el presente perfil de riesgos permite afirmar que el pentaBDE-c, debido a las características de sus componentes y como resultado de su transporte a gran distancia en el medio ambiente y a su toxicidad demostrada en diversas especies no humanas, probablemente cause efectos nocivos en la salud humana y el medio ambiente de importancia tal que se justifica la adopción de medidas a nivel mundial».

1.3 Medidas de control adoptadas a los niveles nacional o regional

La mayoría de los países desarrollados han tomado algún tipo de medida para limitar la producción y la utilización del éter de pentabromodifenilo.

- Australia: Se ha prohibido el empleo de éter de pentabromodifenilo en nuevos artículos. No se encuentra reglamentada la importación de artículos que contengan pirorretardantes bromados.

- Unión Europea: Desde 2004 están prohibidos la comercialización y el uso en concentraciones superiores al 0,1% de la masa (Directiva 2003/11/CE de la Unión Europea). Su eliminación gradual se inició el 1 de julio de 2006 en virtud de las restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos. Los productos que contienen más del 0,25% de éter de pentabromodifenilo se clasifican como desechos peligrosos al proceder a su eliminación.
- EE.UU.: El sector industrial cesó voluntariamente de fabricar éter de pentabromodifenilo de calidad comercial a partir de 2005 y su empleo está prohibido en algunos estados. La Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos exige la notificación y un examen de la propia Agencia antes de reanudar su fabricación sea cual sea el uso previsto (véase la norma en la Parte 721.10000 del Título 40 del Código de Reglamentos Federales).
- Japón: Se interrumpió voluntariamente la utilización de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial en 1990.
- Noruega y Suiza: Ambos países han prohibido la producción, la importación, la exportación y la comercialización y el uso del éter de pentabromodifenilo y de mezclas con un contenido de éter de pentabromodifenilo igual o superior al 0,1% en peso. Los productos con un contenido superior al 0,25% de éter de pentabromodifenilo se clasifican como desechos peligrosos en el momento de su eliminación. En Noruega, están prohibidos el reciclado y la reutilización de éter de pentabromodifenilo y de materiales que lo contengan.
- Canadá: No se produce éter de pentabromodifenilo. En 2006 se propusieron las normas relativas a la fabricación, la utilización, la venta y la importación. Canadá aplicará una eliminación efectiva de los homólogos de los éteres de tetra-, penta- y hexabromodifenilo contenidos en el éter de pentabromodifenilo de calidad comercial.
- China: Desde el 1 de marzo de 2007 está prohibido utilizar éter de pentabromodifenilo en productos eléctricos y electrónicos.
- La situación de esta sustancia química en el marco de los convenios internacionales aparece reseñada en forma de lista en UNEP/POPS/POPRC.3/INF/23.

2. Producción, uso y emisiones

2.1 Niveles y tendencias de producción y uso

Demanda y producción totales

Atendiendo a los últimos datos disponibles del mercado sobre el éter de pentabromodifenilo de calidad comercial, extraídos del Foro Científico y Ambiental del Bromo (BSEF), la demanda mundial total descendió de 8.500 toneladas en 1999 a 7.500 toneladas en 2001. Según ese organismo, se calcula que, en 2001, el uso acumulado del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial desde 1970 ascendía a 100.000 toneladas.

Cuadro 2.1 Demanda total mundial de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial por regiones en 2001, expresada en toneladas métricas y porcentajes.

	Américas	Europa	Asia	Resto del mundo	Total	Porcentaje de uso total mundial de piroretardantes bromados
Formulación penta de los éteres de difenilo polibromados	7.100	150	150	100	7.500	4 %

Fuente: BSEF (2001)

El éter de pentabromodifenilo de calidad comercial se ha fabricado en Israel, Japón, los Estados Unidos y la Unión Europea (Peltola y otros, 2001 e informe de TNO, 2005). En 1999, China otorgó una patente con respecto a una mezcla técnica con contenido de éter de pentabromodifenilo. La mezcla técnica producida en China contenía una proporción distinta de sus componentes (es decir, proporciones distintas de congéneres) de la que presenta el éter de pentabromodifenilo de calidad comercial fabricado en Europa y los Estados Unidos.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2007) ha estimado que la producción y la importación en ese país en 2002 se situó entre 4.500 y 23.000 toneladas, pero el sector mantiene como confidenciales

las cifras exactas. El último productor de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial de los Estados Unidos, Great Lakes Chemical Corporation (en la actualidad, Chemtura Corporation), puso fin a la producción voluntariamente en 2004. Con anterioridad a la eliminación gradual en los Estados Unidos, la mayor parte de la formulación comercial de éter de pentabromodifenilo fabricada en todo el mundo se utilizaba en América del Norte (>97%). A finales de 2004, en torno al 7,5% de los más de 2.100 millones de libras de espuma de poliuretano flexible producidas cada año en los Estados Unidos contenía la formulación comercial del éter de pentabromodifenilo (Estado de Washington, 2006).

Los resultados de un estudio realizado en el Canadá en 2000 señalaban que ese país había importado cerca de 1.300 toneladas de productos comerciales con contenido de diversos éteres de difenilo polibromados. Tomando como referencia las cantidades declaradas, el éter de pentabromodifenilo de calidad comercial representaba el mayor volumen de importación.

La producción de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial en la antigua Unión Europea (15 Estados miembros) se interrumpió en 1997 (UE, 2000). La utilización en la Unión Europea de los 15 disminuyó durante la segunda mitad de la década de 1990 y se calcula que, en 2000, ascendía a 300 toneladas métricas (utilizado exclusivamente en la producción de poliuretano) (UE, 2000). El empleo de éter de pentabromodifenilo se prohibió en la Unión Europea de 25 Estados miembros en 2004. La eliminación gradual del uso de éteres de difenilo polibromados en productos eléctricos y electrónicos se inició el 1 de julio de 2006.

El mayor productor de piroretardantes bromados de Israel, Dead Sea Bromine Group, afirma, en un comunicado difundido en su página web, que sus productos no contienen éter de pentabromodifenilo de calidad comercial. Con ello se busca cumplir la prohibición de la Unión Europea, importante mercado de dicha empresa.

Puesto que actualmente no debiera fabricarse éter de pentabromodifenilo de calidad comercial en Europa, el Japón, el Canadá, Australia o los Estados Unidos, la producción que subsiste ha de encontrarse localizada en otras partes del mundo. No se dispone de información relativa a la situación de la producción en China.

No se ha encontrado información acerca de los países de Europa del Este no pertenecientes a la Unión Europea ni de la mayoría de los países en la región de Asia y el Pacífico. No se disponía de información procedente de países de África o de América Latina.

2.2 Uso del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial

Según distintos estudios nacionales y regionales y los datos presentados por cada Estado según lo dispuesto en el Protocolo al Convenio sobre Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Larga Distancia, el éter de pentabromodifenilo de calidad comercial se emplea o se ha empleado en los sectores siguientes (Agencia Suiza del Medio Ambiente, 2002; Organismo Danés para la Protección del Medio Ambiente, 1999; Unión Europea, 2000; Organismo Noruego para la Protección del Medio Ambiente, 2003, y <http://www.unece.org/env/popsxg/6thmeeting.htm>):

- *Aparatos eléctricos y electrónicos*: Computadoras, equipos electrónicos para el hogar, equipos de oficina, aparatos domésticos y de otro tipo que contengan circuitos impresos laminados, estuches exteriores de plástico y partes internas de plástico como puedan ser los diversos componentes producidos en pequeñas cantidades con estuches de instrumentos de elastómeros de poliuretano rígido.
- *Tráfico y transporte*: Automóviles, trenes, aviones y barcos que cuenten con interiores de materiales textiles y plásticos y componentes eléctricos.
- *Materiales de construcción*: Rellenos de espuma, planchas aislantes, aislamientos de espuma, tuberías, paneles de pared y pavimentos, revestimientos plásticos, resinas, etc.
- *Mobiliario*: Muebles tapizados, cubiertas para muebles, colchones y componentes de espuma flexible. Asimismo, se halla éter de pentabromodifenilo de calidad comercial en embalajes fabricados a partir de espuma de poliuretano.
- *Productos textiles*: Cortinas, alfombras, láminas de espuma para debajo de las moquetas, carpas, lonas impermeables, ropa de trabajo y prendas protectoras.
- *Embalajes*: Los embalajes fabricados a partir de espuma de poliuretano también pueden contener éter de pentabromodifenilo de calidad comercial.

Desde 1999, el uso más habitual del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial (95-98%) ha sido en la espuma de poliuretano, la cual contiene entre un 10 y un 18% de la formulación comercial del éter de pentabromodifenilo. La espuma de poliuretano flexible piroretardante se emplea principalmente en el mobiliario (en la tapicería del mobiliario del hogar, entre otros usos) y en los sectores del automóvil y de la aviación. Se dispone de escasa información en cuanto a la frecuencia de otros usos distintos de la elaboración de espuma de poliuretano, en especial en el caso de Asia, donde su utilización con otros fines que no sean la fabricación de espuma de poliuretano puede continuar siendo de una importancia considerable. Al iniciarse el decenio de 1990, la cantidad de éter de pentabromodifenilo de calidad

comercial empleado en el tratamiento de productos textiles representaba el 60% del uso total en la Unión Europea. Esa aplicación del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial está actualmente prohibida en la Unión Europea.

Se ha utilizado éter de pentabromodifenilo de calidad comercial, en pequeñas cantidades, en pinturas, lacas, productos de caucho (cintas transportadoras, revestimientos y paneles para pavimentos) y en lodos para la perforación petrolífera. Los volúmenes oscilan entre un 5 y un 30% en peso. No se cuenta con información relativa a la magnitud de estas aplicaciones en estos momentos.

Hasta comienzos de la década de 1990, el éter de pentabromodifenilo de calidad comercial se empleaba en placas de circuitos impresos, utilizadas habitualmente en Asia para los laminados de resinas fenólicas (FR2). Los laminados FR2 (material de papel con aglutinante fenólico que cumple ciertas normas relativas a inflamabilidad) con contenido de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial se utilizaban en aparatos electrónicos para el hogar (televisores, radios y reproductores de vídeo), artículos electrónicos para vehículos y productos de gama blanca (lavadoras y aparatos de cocina). De acuerdo con la información facilitada por las empresas integradas en el Foro Científico y Ambiental del Bromo (BSEF), sus ventas de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial para su utilización como fluido hidráulico (en forma de mezcla) en perforaciones petrolíferas y en la minería cesaron hace entre 10 y 20 años en el Hemisferio Occidental. Se desconoce si tal aplicación continúa en China.

Australia ha informado del empleo de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial en la fabricación de espumas de poliuretano para frigoríficos, embalajes y para su uso como agentes de encapsulado y en formulaciones de resinas epóxicas destinadas al mercado aeroespacial, en sistemas de laminado y en sistemas adhesivos. Los Estados Unidos han declarado la utilización de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial en la fabricación de componentes de aviones militares. La Unión Europea contaba con una exención para los sistemas de evacuación en caso de emergencia de aviones que finalizó en marzo de 2006.

En estudios realizados recientemente se señala la posible utilización de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial en las computadoras más antiguas (Betts, 2006; Hazrati y Harrad, 2006).

2.3 Demanda mundial de pirorretardantes en el futuro

Según una empresa consultora de análisis de mercados, se prevé que la demanda de pirorretardantes se incremente un 4,4% anual hasta llegar a 2,1 millones de toneladas métricas en 2009, con un valor de 4.300 millones de dólares de los Estados Unidos de América (Freedonia Group, 2005). Ese crecimiento se deberá fundamentalmente a la demanda existente en los países en vías de desarrollo de Asia (en particular China), América Latina y Europa del Este. Se espera que aumente la demanda de la mayoría de pirorretardantes. A escala mundial, se prevé que el mayor crecimiento de la demanda corresponda a los compuestos de bromo, debido, fundamentalmente, a las elevadas tasas de crecimiento de China. Se estima que crecerá más rápidamente la demanda para su utilización en aparatos eléctricos y electrónicos al reducirse el tamaño de los circuitos electrónicos y empaquetarse los mismos de modo más compacto, además de que sus componentes plásticos soporten temperaturas más elevadas. Continuarán abriéndose paso los productos de alto valor como sustitutos de compuestos menos inocuos para el medio ambiente (especialmente en Europa Occidental) y a medida que comienzan a sustituirse en China los compuestos de cloro por otros pirorretardantes con base de bromo y de fosfato y de otros tipos (Freedonia Group, 2005).

Se prevé que, a nivel mundial, el sector de la construcción constituya el segundo mercado de pirorretardantes por volumen de crecimiento, salvo en el caso de China, país en el que el segundo sector con mayor aumento de la demanda será el de los vehículos de motor, seguido del textil, sectores ambos que registran un veloz crecimiento en ese país. Los plásticos continuarán sustituyendo a otros materiales, como los metales y el vidrio, en muy diversos productos con la finalidad de reducir los costos y el peso, mejorar el diseño y conseguir una producción más flexible. Su empleo está generalizado y aumenta en los sectores del transporte, los productos para la construcción y los aparatos eléctricos y electrónicos. En relación con muchas aplicaciones es preciso dotar a los plásticos de propiedades pirorretardantes. Por ello, el 75% de todos los pirorretardantes se utiliza en plásticos (Freedonia Group, 2005).

Las restricciones medioambientales varían de una región a otra. En Europa Occidental, el Japón y, en menor medida, en América del Norte, las mismas limitarán especialmente el aumento de los compuestos clorados que podrían considerarse sustitutos de las mismas características que los éteres de difenilo polibromados. No está previsto que la prohibición que afecta a algunos pirorretardantes bromados en Europa Occidental se amplíe, a gran escala, a otras regiones (Freedonia Group, 2005), pero la misma sirve de incentivo de la producción de aparatos eléctricos y electrónicos, para su venta en el mercado mundial, sin las sustancias prohibidas. En 2005, docenas de empresas asiáticas, europeas y estadounidenses anunciaron que habían diseñado o estaban diseñando productos eléctricos y electrónicos sin contenido de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial. En Asia, más del 90% de los fabricantes de electrónica ya elaboran productos que cumplen las normas de la Unión Europea. Personal de las empresas de electrónica y consultores especializados en ese sector estiman que, en vista de las dificultades que supone mantener desligadas las líneas de producción, la mayoría de los equipos eléctricos y electrónicos vendidos en el mercado mundial en 2005 cumplían la prohibición de la Unión Europea (Environmental International Reporter, 2006).

2.4 Emisiones durante la producción de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial y de productos en cuya elaboración se emplea esa sustancia

Los productores de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial han declarado que las principales vías de emisión de esa sustancia al medio ambiente durante la producción son los residuos de los filtros y el material descartado por no ajustarse a las especificaciones; ambos se envían a los vertederos. Las aguas residuales provenientes de soluciones detergentes usadas también pueden contribuir a las emisiones de éter de pentabromodifenilo (RPA, 2000). Se presupone que las emisiones al aire durante la producción de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial son nulas o insignificantes (RPA, 2000; van der Gon y otros, 2005).

En el estudio de RPA para la Unión Europea (2000) se calcula que, por cada tonelada de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial utilizado en la producción de poliuretano, se emiten 0,6 kilogramos de éter de pentabromodifenilo al agua residual y 0,5 kilogramos al aire. Se ha estimado que la producción mundial anual de espuma de poliuretano en 2000 (con un contenido de entre el 10 y el 18% de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial) fue de 150.000 toneladas (Alaee y otros, 2003). Y se ha calculado que, en 2000, las emisiones mundiales anuales de éter de pentabromodifenilo generadas por la producción de espuma de poliuretano alcanzaron entre 9.000 y 16.200 kilogramos al aire y entre 7.500 y 13.500 kilogramos a las aguas residuales (véase el cuadro 2.2 en UNEP/POPS/POPRC.3/INF/23).

Si bien se dispone de datos limitados acerca de las emisiones de éter de pentabromodifenilo provenientes de la fabricación de otros productos que no sean la espuma de poliuretano, se considera que las emisiones al aire son insignificantes. Las emisiones de mayor trascendencia irán a las aguas o a los desechos sólidos. No existe información correspondiente a los países de Europa del Este no integrantes de la Unión Europea sobre el empleo de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial en procesos de fabricación. La modelización apunta a que las emisiones durante la fabricación de productos que contienen éter de pentabromodifenilo de calidad comercial son poco significativas si se las compara con las que se producen durante el consumo.

2.5 Emisiones por el uso de productos que contienen éter de pentabromodifenilo de calidad comercial

En el informe TNO (2005) se expone en sus conclusiones que las mayores emisiones de éter de pentabromodifenilo al aire provienen de productos y equipos que contienen esa sustancia como pirorretardante.

Equipo de interiores

El éter de pentabromodifenilo figura en algunos análisis del polvo de interiores y varios estudios han analizado el grado de exposición de las personas (PNUMA, 2006). Se considera que el polvo de interiores es una de las principales causas de exposición de las personas (PNUMA, 2006).

El éter de pentabromodifenilo de calidad comercial se emplea exclusivamente como aditivo químico. A pesar de que las presiones de vapor de sus componentes son bajas, una fracción del contenido de los productos puede volatilizarse durante la vida útil de éstos (RPA, 2000). Cuando se produce su emisión, resulta probable que los éteres de pentabromodifenilo se adhieran a partículas. Esas partículas (polvo) pueden fijarse a las superficies internas de los aparatos, a otras superficies en el ambiente interior o difundirse al medio ambiente (Organismo Danés para la Protección del Medio Ambiente, 1999). La descomposición física de los productos también puede contribuir a la presencia de éter de pentabromodifenilo en el polvo de espacios interiores.

Varios estudios han detectado componentes del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial en el aire y en el polvo de espacios interiores cuyo origen eran productos como los textiles, el mobiliario y los aparatos electrónicos (Shoeib y otros, 2004; Stapleton y otros, 2005; y Wilford y otros, 2005). En experimentos realizados en cámara controlada se ha apreciado la volatilización de éter de pentabromodifenilo procedente de espuma de poliuretano utilizada en mobiliario (Wilford y otros, 2005). No obstante, en los trabajos de Hale y otros (2002) se señala que la degradación física de la espuma puede constituir la principal emisión de éter de pentabromodifenilo que tenga su origen en la espuma de poliuretano. Los datos obtenidos en experimentos revelan que aparatos electrónicos como los televisores y los monitores de computadora emiten éter de tetrabromodifenilo y éter de pentabromodifenilo (Organismo Danés para la Protección del Medio Ambiente, 1999), lo cual confirma un reciente estudio que señala la utilización del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial en las computadoras de mayor antigüedad (Betts, 2006; Hazrati and Harrad, 2006).

En el informe de RPA (2000) se calculó que, en el peor de los casos, el 3,9% del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial presente en los productos se liberará anualmente a través de la volatilización durante su tiempo previsto de vida útil de 10 años. Se calcula que, en 2000, las emisiones mundiales anuales de éter de pentabromodifenilo provenientes de la nueva utilización de espuma de poliuretano en productos alcanzaban entre 585 y 1.053 toneladas métricas (véase el cuadro 2.3 en UNEP/POPS/POPRC.3/INF/23).

Equipo de exteriores

Si bien es cierto que el material que se evapora de equipo de exteriores se dispersará ampliamente en bajas concentraciones en el aire, pueden emitirse al medio ambiente partículas de productos de espuma de polímeros con contenido de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial a partir de equipo de exteriores que contengan éter de pentabromodifenilo de calidad comercial. Las referidas partículas pasan esencialmente al compartimento ambiental constituido por el suelo urbano/industrial (75%) pero también pueden alcanzar las aguas superficiales (24,9%) o el aire (0,1%). Existe la posibilidad de que se haya utilizado cloruro de polivinilo (PVC) al que se hubiera incorporado éter de pentabromodifenilo de calidad comercial como pirorretardante (RPA, 2000) en los casos siguientes: tratamiento anticorrosivo de automóviles, material para tejados, revestimiento de bobinas, revestimiento de productos textiles, cables y alambres, y perfiles y suelas de zapato. En el informe de RPA (2000) se estimó que los factores de emisión de estas emanaciones se encuentran entre un 2 y un 10% a lo largo de la vida útil del producto, correspondiendo el factor más elevado a los productos sometidos a altas tasas de desgaste (p. ej., el tratamiento anticorrosivo de los vehículos y las suelas de zapatos), y el 2% a emisiones durante las operaciones de eliminación de desechos. En 2000, se calculaba que las emanaciones de éter de pentabromodifenilo que pasaban al suelo en la Unión Europea ascendían anualmente a 15,86 toneladas métricas, que 5,26 toneladas métricas alcanzaban aguas superficiales cada año y que 0,021 toneladas métricas llegaban anualmente al aire. En la bibliografía pertinente no se han encontrado cálculos de emisiones a nivel mundial.

Según la información obtenida de la industria del bromo, es posible que la utilización tradicional de fluido hidráulico (en forma de mezcla) en perforaciones petrolíferas y en la minería haya provocado la emisión de cantidades excesivas al medio ambiente. En la bibliografía pertinente no se han hallado cálculos de tales emisiones.

2.6 Emisiones dimanantes de desechos que contienen éter de pentabromodifenilo de calidad comercial

La producción de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial, los procesos de fabricación de productos que contienen esa sustancia y la eliminación de productos con contenido de la misma pueden generar desechos. La bibliografía relativa a las emisiones provenientes de desechos que contienen éter de pentabromodifenilo de calidad comercial sólo ofrece información limitada.

Desechos generados en la producción de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial

Los productores han manifestado que, en la producción de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial, las principales fuentes de emisión de desechos son los residuos provenientes de filtros y el material desechado por defectuoso. También pueden producirse liberaciones de éter de pentabromodifenilo a partir del agua residual de soluciones detergentes utilizadas (RPA, 2000). Los desechos con contenido de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial se depositaban en vertederos (RPA, 2000). En los Estados Unidos, este tipo de desechos se elimina en vertederos que disponen de autorización para tratar desechos químicos peligrosos. En la Unión Europea, los desechos con un contenido de éter de pentabromodifenilo superior al 0,25% se clasifican y tratan como desechos peligrosos. Se considera que los desechos procedentes de la producción de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial son insignificantes.

Desechos generados en procesos de fabricación de productos con contenido de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial

El pirorretardante que se pierde en estos procesos permanece en los recortes de espuma de desecho. Con frecuencia esos recortes de espuma, especialmente en los Estados Unidos, para convertirlos en refuerzo (basamento) de alfombras (la Unión Europea ha sido exportadora de recortes de espuma (unas 40.000 toneladas anuales) a los Estados Unidos para ese uso (RPA, 2000)). También se ha informado de otros usos de los recortes de espuma como son su triturado y posterior empleo como relleno con diversas aplicaciones (p. ej., asientos de automóviles o añadido al polialcohol virgen para la fabricación de planchas esponjadas de espuma). Asimismo, es posible que en muchos países se depositen recortes de espuma en los vertederos, o se incineren.

Durante la fabricación de placas de circuitos impresos se recorta buena parte del laminado, que termina como desecho sólido, tal y como también sucede durante la producción de aparatos eléctricos y electrónicos. El éter de pentabromodifenilo de calidad comercial ya no se emplea para la producción de placas de circuitos impresos, en la mayoría de los países que las fabrican. Ese desecho sólido se deposita en vertederos o se incinera, tal y como sucede también con los desechos que genera la producción de materiales de construcción, productos textiles y mobiliario.

Cuando los productos que contienen éter de pentabromodifenilo de calidad comercial se convierten en desechos

En la Unión Europea, los desechos que contienen éter de pentabromodifenilo están regulados por la normativa que rige los plásticos que contienen pirorretardantes. Se implantó la obligatoriedad de separar esos plásticos de los aparatos eléctricos y electrónicos antes de proceder a la recuperación y el reciclado a partir de la fecha límite de diciembre

de 2006. Tras su separación de los metales, se desecha o se quema la fracción plástica en incineradores municipales de desechos. No obstante, las tecnologías de separación de plásticos con contenido de bromo de los que no lo contienen se hallan en una fase inicial, lo cual añade la necesidad de gestionar los desechos y un posible reciclado.

Las carcasas de los vehículos se almacenan al aire libre y, posteriormente, se desmantelan en plantas trituradoras. En algunos países, la normativa exige que se separen los componentes que contengan sustancias peligrosas antes de proceder al triturado. Obviamente, lo anterior afecta a componentes más pequeños cuyo desmantelamiento resulta fácil. En el caso de la mayoría de los componentes plásticos y textiles, no se hace y los pirorretardantes presentes en esos componentes terminan en la fracción de desechos generada por la planta trituradora que se deposita en vertederos o, en ocasiones, se incinera.

También se depositan en vertederos o se incineran otros productos con contenido de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial cuando dichos productos se convierten en desechos.

Emisiones dimanantes de vertederos y de la incineración

Las partículas de espuma de polímeros que contienen éter de pentabromodifenilo de calidad comercial pueden filtrarse desde los vertederos al suelo, al agua o a las aguas subterráneas. Sin embargo en la actualidad no es posible valorar la trascendencia de ese tipo de procesos. Se calcula que el volumen de éter de pentabromodifenilo que se deposita en vertederos o se incinera en la Unión Europea alcanza las 1.036 toneladas anuales (RPA, 2000). En vista de las propiedades fisicoquímicas de la sustancia (baja solubilidad en el agua y elevado coeficiente de partición octanol-agua), se considera muy improbable que desde los vertederos se filtren cantidades considerables de éter de pentabromodifenilo, puesto que lo previsible es que los suelos absorban en gran medida la sustancia (RPA, 2000). No obstante, estudios noruegos de muestreo han medido concentraciones preocupantes de éter de pentabromodifenilo en lixiviados de vertederos (Fjield y otros, 2003 y 2004).

La casi totalidad de los pirorretardantes se destruyen a las temperaturas que alcanzan en su funcionamiento normal los incineradores municipales de desechos. Sin embargo, partiendo de la experiencia con otros compuestos orgánicos, podrían filtrarse cantidades residuales por la cámara de combustión (Organismo Danés para la Protección del Medio Ambiente, 1999). En estudios de instalaciones municipales de incineración de desechos se han detectado niveles de éter de pentabromodifenilo, tanto en fracciones gaseosas como de partículas en el aire del entorno de las instalaciones. Los niveles eran superiores a los niveles de referencia de éter de pentabromodifenilo (Agrell y otros, 2004; Law, 2005; ter Shure y otros, 2004).

Cabe la posibilidad de que se produzcan emisiones de productos potencialmente tóxicos, como las dibenzoparadioxinas y los dibenzofuranos bromados, durante la incineración de desechos que contienen éter de pentabromodifenilo de calidad comercial (Organismo Danés para la Protección del Medio Ambiente, 1999), del mismo modo que pueden generarse sus análogos clorados durante la combustión de desechos que contienen materiales clorados. A pesar de que se estima que las tecnologías empleadas en los incineradores de desechos modernos y bien gestionados con el fin de hacer frente a las emisiones de dioxinas y dibenzofuranos clorados también son adecuadas para el control de las emisiones de especies bromadas y mixtas bromo/cloro, es posible que esas sustancias se liberen durante la incineración a cielo abierto de materiales que contienen éter de pentabromodifenilo de calidad comercial o durante algunos otros procesos de combustión (Unión Europea, 2000).

2.7 Emisiones asociadas a actividades de reciclado y desmantelamiento

Plantas de reciclado de desechos eléctricos y electrónicos

En las plantas de reciclado de desechos eléctricos y electrónicos, lo habitual es que se recupere el metal y, en ocasiones, los componentes de plástico, pero nunca la espuma de poliuretano, que termina en la fracción de desechos, la cual puede que se queme con fines de recuperación de energía.

Los análisis de placas de circuitos impresos de resinas fenólicas (FR2) procedentes de desechos eléctricos ponen de manifiesto que en torno al 35% de los éteres de difenilo polibromados utilizados contiene éter de pentabromodifenilo de calidad comercial. A partir de esa información, se ha presupuesto que el 25% de los laminados fenólicos (FR2) de los aparatos de mayor antigüedad se trataron con la mezcla comercial de éter de pentabromodifenilo (Agencia Suiza del Medio Ambiente, 2002). Prevedouros y otros, (2004) han calculado la producción, el consumo y las emisiones a la atmósfera de éter de pentabromodifenilo en Europa entre 1970 y 2000 sirviéndose de datos publicados en la bibliografía. Según su estudio, se estima que el flujo de éter de pentabromodifenilo en aparatos eléctricos y electrónicos desechados se situó entre las 17 y las 60 toneladas métricas anuales en el período que va de 2000 a 2005. Un estudio experimental suizo de flujo de sustancias en una planta moderna de reciclado reveló un flujo de éter de pentabromodifenilo mucho mayor del que se suponía basándose en los datos contenidos en la bibliografía. En el estudio se puso de manifiesto que la mayoría de los productos y de los importadores disponen de información insuficiente acerca del contenido de compuestos químicos presentes en los productos que venden (Agencia Suiza del Medio Ambiente, 2002).

En Morf y otros, (2005), la concentración media de éter de pentabromodifenilo en aparatos eléctricos y electrónicos se calculó que era de 34 mg/kg. El mayor volumen se halló en la fracción de plástico de los citados aparatos (125 mg/kg). Si un proceso de reciclado no dispone de un dispositivo de control de la contaminación del aire eficaz como el empleado en la moderna planta en la que se realizó el estudio experimental, cabe la posibilidad de que se produzca una considerable transferencia al medio ambiente de flujo de éter de pentabromodifenilo transportado en el polvo. En las plantas que disponen de filtrado de la descarga gaseosa se recoge alrededor del 65% del éter de pentabromodifenilo (Morf y otros, 2005).

En estudios de las condiciones laborales en las plantas de reciclado se han registrado niveles de éter de pentabromodifenilo en el aire del interior, y se señala que el éter de pentabromodifenilo también puede dispersarse como emisiones difusas desde las plantas de reciclado. Los autores de un análisis nacional de flujo de sustancias efectuado por encargo de Suiza y que abarcaba el ciclo de vida útil íntegro del éter de pentabromodifenilo, del éter de octabromodifenilo y del éter de decabromodifenilo, así como del tetrabromobisfenol A (TBBPA), llegaron a la conclusión de que los desechos de productos eléctricos y electrónicos representan el mayor flujo de piroretardantes bromados en comparación con otras fracciones de desechos como, por ejemplo, los procedentes del triturado de automóviles y los desechos de la construcción (Agencia Suiza del Medio Ambiente, 2002).

Desmantelamiento de vehículos

En un análisis de flujo de piroretardantes bromados realizado en Suiza, se calculó que el contenido de éter de pentabromodifenilo en plásticos era de 0,044 g/kg en los automóviles fabricados en 1998 y de 0,089 g/kg en los producidos en 1980. Dichas concentraciones se refieren a la cantidad de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial en el peso total de los plásticos utilizados en los coches, sin contabilizar los componentes plásticos de aparatos eléctricos y electrónicos. Hasta finales de la década de 1980, el 100% de todas las resinas de poliéster insaturado se trataba con piroretardantes bromados (generalmente éter de decabromodifenilo, pero también éter de pentabromodifenilo de calidad comercial y tetrabromobisfenol).

El primer paso en el reciclado de vehículos es su fragmentación en una trituradora, donde se separan los metales de los restantes materiales y se procede a su recuperación. Las piezas de plástico suelen acabar en la fracción denominada «pulpa». Puede presuponerse que las condiciones favorables para que se produzcan emisiones difusas son semejantes a las existentes en las plantas de reciclado de aparatos eléctricos y electrónicos.

Desmantelamiento de edificios y de otras construcciones

En Suiza, el 5% de las espumas aislantes de poliuretano fabricadas en 1990 se utilizó en el sector de la construcción y contenía 220 gramos de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial por kilogramo (Agencia Suiza para la Protección del Medio Ambiente, 2000).

Se tiene constancia del empleo de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial en telas plásticas de cloruro de polivinilo (PVC). En el análisis de flujo de sustancias elaborado en Suiza, se aceptó que el 5% de los productos fabricados en 1990 con telas plásticas de cloruro de polivinilo (PVC) contenía éter de pentabromodifenilo de calidad comercial. Se calculó que el contenido de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial se elevaba a 49 gramos por kilogramo de tela plástica de cloruro de polivinilo (PVC). Parece correcto pensar que se producen emisiones de éter de pentabromodifenilo transportado en el polvo durante las actividades de desmantelamiento. La información es en exceso escueta para poder cuantificar dichas emisiones.

3. Resumen de la información relativa a la evaluación de la gestión de riesgos

3.1 Posibles medidas de control

En principio, existen varias medidas de control que podrían aplicarse con el propósito de reducir la utilización del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial, o mitigar las consecuencias medioambientales ligadas al empleo del mismo, o ambas cosas. Podrían estudiarse las medidas que se enuncian a continuación. Si llegara a incluirse la mencionada sustancia en el Convenio de Estocolmo, sería posible tener en cuenta esas medidas durante la elaboración de los planes nacionales de aplicación.

Compromisos voluntarios del sector industrial podrían mitigar las consecuencias ambientales derivadas del empleo de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial al reducir su producción o utilización, o ambas cosas. Se han aplicado con éxito compromisos en algunos países, y en virtud de los mismos, el sector industrial ha eliminado paulatinamente la producción de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial. Es probable que esa medida funcione eficazmente cuando las actuaciones necesarias no sean costosas, o al sector industrial le resulte manifiesto que se enfrenta a una eliminación gradual a largo plazo de la sustancia, o ambas cosas. Sin embargo, la efectividad a escala mundial de las medidas voluntarias depende de la cultura de una determinada sociedad, en la cual influye frecuentemente la experiencia, y esos factores revestirán particular trascendencia al considerarse la adopción de medidas en países en vías

de desarrollo. Aquellos que se benefician sin costo alguno suelen plantear un problema en muchos de los mecanismos voluntarios que se han puesto en práctica con la finalidad de contener las emisiones de diversas sustancias. Parece más probable que resulten eficaces otras medidas.

Los programas de etiquetado ecológico, bien con la exigencia de que se etiqueten los productos con contenido de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial o, más probablemente, que a los productos que contienen sustancias menos perjudiciales se les conceda una etiqueta de producto inocuo para el medio ambiente, servirían para informar a los consumidores de los productos más inocuos para el medio ambiente, permitiéndoles así elegir dichos productos. A pesar de que la puesta en práctica de un programa de esas características sería poco costosa, los fabricantes de productos que no contaran con el favor de los consumidores tras su aplicación podrían sufrir consecuencias financieras.

Instrumentos económicos, entre los que podrían figurar impuestos sobre la venta de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial o de productos que contuvieran esa mezcla. Otra posibilidad sería implantar el comercio de permisos para la adquisición y uso de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial. Ambos instrumentos brindarían a los usuarios incentivos económicos para reducir el empleo de esa sustancia. Sin embargo, no se ha demostrado que los instrumentos económicos sean eficaces en los países más desarrollados cuando se precisa una eliminación completa en un breve espacio de tiempo y no se han empleado en el caso de sustancias que generen tanta inquietud como los contaminantes orgánicos persistentes. En la mayoría de los países en vías de desarrollo la experiencia de aplicación práctica de los mismos es reducida. Por ello, la introducción de esa medida complicaría la situación. Puesto que actualmente el Convenio de Estocolmo no permite la utilización de instrumentos económicos, no debería continuar estudiándose tales medidas.

Una prohibición/restricción del uso de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial, ya sea total o sectorial, podría implantarse tanto a través de foros unilaterales como multilaterales. Podría consistir en una prohibición total de su utilización en todos los sectores o en algunos productos, o en restricciones respecto al contenido en los productos. Si un número suficiente de países alcanzara un acuerdo, esta medida podría ser eficaz si se aplicara adecuadamente. Algunos países ya han adoptado medidas de esas características. Las normas dirigidas a lograr una reducción del contenido de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial en los productos o las relativas, por ejemplo, al empleo de otros aditivos no serían eficaces debido a que esos contenidos ya se han reducido en todo lo posible con el propósito de aminorar los costos (RPA, 2000). Igualmente, esta medida únicamente afectaría a algunas partes de la cadena de valor del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial y dejaría al margen importantes fuentes de emisiones al medio ambiente exterior y al entorno laboral. No obstante, se podría recurrir a normas para garantizar una gestión de los desechos que no fuera perjudicial para el medio ambiente. Se conseguiría una mejor gestión de riesgos mediante la prohibición mundial de producir y utilizar éter de pentabromodifenilo de calidad comercial, y lograrlo mediante la inclusión de esa sustancia en el Convenio de Estocolmo sería la medida más adecuada. Existen alternativas a todos los usos del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial adecuadas y más inocuas para el medio ambiente, por lo que una posible prohibición podría abarcar todos los sectores. Una prohibición eliminaría las emisiones que se producen durante la fabricación de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial y también las emisiones originadas por la producción y la utilización de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial en productos de nueva fabricación. Un aspecto importante que se ha de tener en cuenta es que una simple prohibición no afectaría a las emisiones de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial presente en productos que ya se están utilizando. Podrían quedar exentos durante un período transitorio de duración limitada algunos usos muy especiales del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial para los que no existen alternativas lo bastante eficientes, o que resulten muy gravosas, o ambas cosas. En ese sentido, un país ha informado de la necesidad de contar con una exención para el empleo de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial en aviones militares ante la falta de alternativas que satisfagan necesidades especiales de seguridad frente al fuego. Podría concederse tiempo para la realización de pruebas y modificaciones técnicas de modo que se desarrollaran alternativas y se pudiera atender a las particulares exigencias de seguridad frente al fuego de ciertos productos con necesidades especiales. Para ello se precisaría un plan de eliminación gradual del uso de esos productos, el cual se justificaría en virtud del anexo B del Convenio de Estocolmo, aunque su inclusión en el anexo A con exenciones y un límite temporal lograría idéntico fin.

Se podría implantar un sistema de depósito-devolución para el éter de pentabromodifenilo de calidad comercial. Con arreglo al mismo, cada comprador de un producto que contenga éter de pentabromodifenilo abonaría un depósito (impuesto), el cual se le devolvería, parcial o íntegramente, cuando devolviera el producto a una instalación certificada de tratamiento de desechos (que posteriormente no volvería a utilizarse). Si bien exigiría la identificación de los desechos que contengan éter de pentabromodifenilo de calidad comercial, ésta podría ser una medida eficaz para garantizar un tratamiento adecuado de los desechos y lograr una disminución de las emisiones al medio ambiente cuando un producto se convierte en desecho. Sin embargo, dado que las prohibiciones nacionales y regionales ya en vigor reducirán la cantidad de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial que llega al mercado, no parece probable que un impuesto de esas características genere el volumen de fondos que se precisa para hacer frente a problemas heredados.

Diversas medidas de control en las instalaciones de producción o de tratamiento de desechos servirían para cerciorarse de que se cuenta con entornos laborales seguros y con buenas prácticas de fabricación, controles en el punto de descarga a fin de reducir las emisiones al medio ambiente, normas relativas al tratamiento de desechos de productos, y otras medidas. Se podría aplicar esas medidas en las plantas de producción de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial, en las plantas que utilizan esa sustancia como componente en su producción y en las instalaciones de tratamiento de desechos. Si se diseñan y aplican adecuadamente, podrían constituir una herramienta eficaz de reducción de emisiones procedentes de las fuentes en cuestión.

Eficacia y eficiencia de las posibles medidas de control

Para la elección de una medida de control para el período en que continúe utilizándose y produciéndose éter de pentabromodifenilo de calidad comercial han de tenerse en cuenta que los países más desarrollados han comenzado una eliminación gradual de la producción de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial y la protección de la salud humana y del medio ambiente frente a las emisiones y a la liberación de componentes de esa sustancia, que el Comité considera contaminantes orgánicos persistentes. Sería oportuno examinar otras posibilidades de reducción de riesgos aplicando los siguientes criterios (RPA, 2000):

- *Eficacia:* La medida ha de ir dirigida a los considerables efectos peligrosos y a las vías de exposición apreciadas en la evaluación de riesgos. La medida tiene que poder reducir los riesgos que sea necesario mitigar dentro de espacio de tiempo razonable y a lo largo del mismo.
- *Viabilidad:* Debería ser una medida aplicable, ejecutable y lo más sencilla posible de gestionar. Se tendría que dar prioridad a medidas utilizadas habitualmente que pudieran ponerse en práctica en el marco de las infraestructuras disponibles.
- *Consecuencias económicas:* Las consecuencias de la medida para los productores, procesadores, usuarios y otros interesados tendrían que ser las más leves posibles.
- *Posibilidades de vigilancia:* Tendría que resultar posible efectuar una vigilancia con objeto de posibilitar una evaluación del éxito de la reducción de riesgos.

Gestión de desechos

La prohibición de producir y utilizar éter de pentabromodifenilo de calidad comercial por sí sola no afectaría a las emisiones de los componentes de esa sustancia que causan preocupación durante el tratamiento de desechos, en el cual pueden presentarse problemas técnicos y otros heredados. No obstante, la inclusión de una sustancia en el Convenio de Estocolmo conlleva la prohibición del reciclado y del uso de las existencias mismas de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial. En el artículo 6 del Convenio se dispone que los desechos y las existencias se traten de un modo seguro, eficaz y ambientalmente racional de modo que el contenido se destruya o se transforme irreversiblemente, teniendo en cuenta las normas, reglas y directrices internacionales. En el artículo se prohíbe, asimismo, las operaciones de eliminación que conduzcan a la recuperación, el reciclado, la regeneración, la reutilización directa o los usos alternativos de contaminantes orgánicos persistentes.

Particular dificultad puede entrañar la separación de artículos con contenido de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial de los que no lo contienen, debido a que la mayor parte del etiquetado de los productos no indica qué contienen. Sin embargo, no se dispone de información sobre artículos que hayan contenido éter de pentabromodifenilo de calidad comercial en el pasado ni sobre en cuáles se emplea en la actualidad, como puede ser el caso de los productos electrónicos, los artículos textiles y el material de aislamiento y de recubrimiento. Las autoridades nacionales tendrían que elaborar encuestas con la finalidad de recabar información más pormenorizada acerca del contenido de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial de los distintos artículos que se convierten en desechos. Desde un punto de vista técnico, la dificultad residiría en la separación de los componentes de plástico que contienen bromo de los que no lo contienen. Aunque costosas, comienzan a aparecer tecnologías en este campo, lo cual ayuda en la gestión de desechos y en su posible reciclado.

Sería posible estudiar objetivos de eliminación gradual del empleo de productos ya existentes que contienen éter de pentabromodifenilo de calidad comercial y la recogida de los mismos según los anexos A o B del Convenio. Puesto que existen cantidades considerables de productos que contienen éter de pentabromodifenilo de calidad comercial que se están utilizando, las autoridades nacionales podrían estudiar posibles nuevas medidas de limitación de las emisiones. Dichas medidas podrían ir desde la creación de puntos de recogida en los que los ciudadanos pudieran depositar sus productos usados hasta un fomento más activo de la entrega de esos productos de desecho por parte de la ciudadanía. Un sistema de depósito-devolución no parece adecuado ya que no se permitiría más la venta de productos nuevos que contuvieran éter de pentabromodifenilo de calidad comercial y su presencia se ha constituido en un problema heredado. Con todo, una posibilidad sería pagar a los ciudadanos una tasa por entregar sus productos, aunque no hay una fuente de financiación que resulte evidente para una operación de esas características.

Garantizar en los países en vías de desarrollo un tratamiento adecuado del material de desecho o de los artículos que contienen éter de pentabromodifenilo de calidad comercial puede representar un reto especial. Dado que esos países cuentan con una experiencia limitada en el tratamiento de este tipo de desechos, precisarían asistencia de orden práctico e información, así como ayuda financiera, para garantizar un tratamiento de esos desechos inocuo para el medio ambiente. Esa asistencia podría consistir en mostrarles cómo dismantelar productos con contenido de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial, cómo tratar las distintas partes y cuáles son los métodos ambientalmente racionales de tratamiento del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial. Si se incluyera esa sustancia en el Convenio de Estocolmo, las directrices relativas al tratamiento ambientalmente racional del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial y de los artículos que lo contengan se desarrollarían en virtud del Convenio de Basilea (párrafo 2 del artículo 6 del Convenio de Estocolmo).

3.2 Información sobre alternativas (productos y procesos)

Con la eliminación gradual del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial en importantes mercados, los fabricantes están buscando activamente alternativas. Algunas empresas, como IKEA, ya han eliminado por etapas todo el éter de pentabromodifenilo de calidad comercial a escala internacional. Otro factor que favorece el desarrollo de alternativas es el hecho de que muchos gobiernos y grandes empresas se hayan dotado de directrices *verdes* sobre compras que prohíben el empleo de éteres de difenilo polibromados en los productos electrónicos.

En una encuesta regional realizada en los Estados Unidos (Estado de Washington, 2006), varias empresas informaron acerca de alternativas al éter de pentabromodifenilo de calidad comercial que ya se utilizaban. Las alternativas encontradas en ese proceso aparecen en el cuadro 3.1 del documento UNEP/POPS/POPRC.3/INF/23. Los autores no han investigado los efectos para la salud humana y para el medio ambiente de dichas alternativas. Por ejemplo, el hexabromociclododecano, una alternativa al éter de pentabromodifenilo de calidad comercial en recubrimientos y adhesivos, no es una alternativa preferible. Se trata de un compuesto que ya genera preocupación en varios países y regiones a causa de sus propiedades químicas. RPA (2000) apunta que únicamente el éster de tetrabromobenzoato (TBBE) y los ésteres de fosfato alquílico clorado (especialmente el fosfato de tris (2-cloroisopropilo) (TCCP)), seguidos de los ésteres de fosfato, son alternativas químicas pertinentes al éter de pentabromodifenilo. No obstante, cabe la posibilidad de que se hayan desarrollado y comercializado otras alternativas desde esa fecha y también tendría que tenerse en cuenta las mismas. Ante la diversidad de piroretardantes alternativos disponibles, un proceder adecuado consistiría en estudiar los procesos de fabricación, evaluar el empleo de materiales sintéticos y primar aquellos que planteen el menor riesgo.

Alternativas al éter de pentabromodifenilo de calidad comercial en la espuma de poliuretano

El programa Diseño para el Ambiente, de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos, realizó una evaluación de alternativas al éter de pentabromodifenilo de calidad comercial presente en el poliuretano que se liberó al medio ambiente en septiembre de 2005 (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2005). La agencia ha puesto en marcha un acuerdo de colaboración sobre piroretardantes de mobiliario con un amplio conjunto de partes interesadas a fin de evaluar alternativas químicas al éter de pentabromodifenilo de calidad comercial más seguras desde una perspectiva medioambiental e investigar otras tecnologías que mejoren la seguridad del mobiliario frente al fuego. Destacados fabricantes químicos de piroretardantes de los Estados Unidos hallaron 14 formulaciones químicas que son sustitutos viables del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial para la producción a gran escala de espuma de poliuretano flexible de baja densidad (véase el cuadro 3.2 en UNEP/POPS/POPRC.3/INF/23). Las alternativas encontradas son sustancias químicas de sustitución directa del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial compatibles con el equipo de procesamiento que ya se utiliza en las instalaciones de fabricación de espuma y, por lo tanto, resultarían rentables. En estos momentos se utilizan otras sustancias químicas, además de esas 14 formulaciones, para otras variedades de espuma y en mercados especializados de espuma de poliuretano de baja densidad. Las sustancias químicas se emplean como piroretardantes de espuma de poliuretano flexible de alta densidad.

Tres de las sustancias químicas de uso más común que varios informes han señalado como alternativas más viables e inocuas para el medio ambiente que el éter de pentabromodifenilo de calidad comercial son la melamina, el fosfato tris (1,3-dicloro-2-propilo) (TDCPP o TCPP) y el polifosfato de amonio (APP). Ya se utilizan piroretardantes basados en la melamina en espumas de poliuretano flexible, pinturas intumescentes (las que se dilatan por efecto del calor, confiriéndoles, de ese modo, ciertas propiedades piroretardantes), poliamidas y poliuretanos termoplásticos. Se utilizan eficazmente en Europa en espumas de poliuretano flexible de alta densidad, aunque precisan entre un 30 y un 40% de melamina, según el peso del poliol. El fosfato de tris es un éster de fosfato clorado que, con frecuencia, se emplea en las formulaciones de espuma de poliuretano. Se utiliza en espuma de alta densidad y se ha empleado en espumas de baja densidad cuando el chamuscado ligero (decoloración) no preocupa en exceso. El polifosfato de amonio, un aditivo piroretardante, se usa, en la actualidad, para conferir propiedades piroretardantes a las espumas de poliuretano flexible y rígido, así como en laminaciones intumescentes, resinas de moldeo, sellantes y colas. Los

fabricantes químicos y los grupos comerciales de fabricación de espuma no consideran, sin embargo, que sea una alternativa a gran escala al éter de pentabromodifenilo de calidad comercial.

Alternativas no químicas al éter de pentabromodifenilo de calidad comercial en la espuma de poliuretano

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (2005) también ha señalado alternativas no químicas. Tres tecnologías alternativas y actualmente disponibles para dotar de propiedades piroretardantes al mobiliario son las tecnologías de barrera, la espuma impregnada de grafito y el tratamiento de superficie. La espuma impregnada de grafito y los tratamientos de superficie poseen aplicaciones comerciales limitadas. Las tecnologías de barrera se utilizan predominantemente en la fabricación de colchones y no en el mobiliario tapizado para la vivienda, aunque puede que tengan más aplicaciones.

Asimismo, es oportuno señalar que algunos diseños de mobiliario descartan el empleo de material de relleno e, incluso, de cualquier tipo de tejido. Por ello, debiera tenerse en cuenta el diseño a la hora de evaluar medios alternativos para dotar de propiedades piroretardantes al mobiliario.

Alternativas al éter de pentabromodifenilo de calidad comercial en aparatos eléctricos y electrónicos

A partir de noviembre de 2005, varios grandes fabricantes comenzaron una eliminación gradual de todos los éteres de difenilo polibromados. Las empresas fabricantes esperan que se deriven mayores costos del cumplimiento de la prohibición de la Unión Europea de utilizar sustancias químicas peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos, incluido el éter de pentabromodifenilo de calidad comercial, entre otras diversas sustancias. El 35% de los productores de aparatos eléctricos y electrónicos del mundo prevé que el precio de sus productos se eleve menos del 5%, el 23% espera una subida de entre el 5 y el 10%, y un 6% piensa que los precios aumentarán más del 10% (Environmental International Reporter, 2006). A continuación figuran algunos ejemplos de los procesos alternativos que se utilizan actualmente para conferir propiedades piroretardantes: placas de circuitos sin bromo (Sony), piroretardantes a base de fósforo para placas de circuitos impresos (Hitachi), plástico ignífugo (Toshiba), materiales y cables internos de bajo voltaje sin contenido de halógeno (Panasonic/Matsushita) (Agencia Noruega para la Protección del Medio Ambiente, 2003).

Leisewitz y otros, (2000) afirman que el empleo de borato de zinc, hidróxido de magnesio o grafito expandible como alternativas a los piroretardantes bromados no debería plantear problema alguno.

Alternativas al éter de pentabromodifenilo de calidad comercial en productos textiles

Existen piroretardantes alternativos sin contenido de bromo que pueden utilizarse en productos textiles (véase el cuadro 3.3 en UNEP/POPS/POPRC.3/INF/23). Algunos de estos productos, como el trióxido de antimonio y el bórax, no son ambientalmente racionales. Igualmente, hay materiales piroretardantes duraderos, como la lana y las fibras de poliéster. Algunos fabricantes afirman que una prohibición del uso de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial en los productos textiles tendrá como consecuencia productos textiles de peor calidad y menos duraderos.

3.3 Repercusiones que la aplicación de posibles medidas de control tendrá en la sociedad

Ventajas derivadas de la eliminación gradual del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial

La ventaja más evidente para la sociedad internacional derivada de la eliminación progresiva del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial sería un menor riesgo para la salud humana y para el medio ambiente al producirse un descenso de las emisiones al aire, el agua y el suelo de los componentes que se consideran contaminantes orgánicos persistentes, así como de las emanaciones en entornos laborales (PNUMA, 2006). La mayor parte de las emanaciones de éter de pentabromodifenilo van a parar al suelo y los sedimentos debido a que, en el medio ambiente, esa sustancia se adhiere a partículas. El éter de pentabromodifenilo presente en el suelo o en sedimentos se incorpora fácilmente a la cadena alimentaria y se bioacumula en los tejidos grasos de los depredadores superiores (incluidos los seres humanos). La sustancia está muy difundida por todo el medio ambiente mundial. Se han detectado niveles preocupantes en varias especies en peligro de extinción.

Se han hallado niveles de éter de pentabromodifenilo en seres humanos en todas las regiones del mundo (UNEP, 2006). La posible exposición de los seres humanos se produce a través de los alimentos, la utilización de productos con contenido de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial y el contacto con el aire y el polvo de interiores. El éter de pentabromodifenilo pasa de la madre al embrión y a los lactantes. En su evaluación, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) (2006) llega a la conclusión de que es probable que el éter de pentabromodifenilo tenga efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente de tal magnitud que se justifique la adopción de medidas a nivel internacional (véase la sección 1.2). Una utilización continuada supondrá un costo potencialmente elevado.

La prevención de incendios es importante para salvaguardar la integridad de las personas y evitar pérdidas sociales y económicas por causa del fuego, pero también para impedir la propagación en el medio ambiente de materiales tóxicos

que se liberan durante los incendios. Por esa razón, un menor empleo de sustancias piroretardantes o unos agentes piroretardantes menos eficaces podrían causar pérdidas si aumentara la frecuencia de los incendios. No obstante, según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (2005), las alternativas disponibles resultan tan eficaces como el éter de pentabromodifenilo de calidad comercial. La mayoría de las alternativas son, en sí mismas, menos peligrosas para el medio ambiente que el éter de pentabromodifenilo de calidad comercial. Tan sólo algunos de esos sustitutos están clasificados como peligrosos para el medio ambiente aunque, en muchos casos, se carece de una información completa. La Agencia Danesa de Protección del Medio Ambiente ha hecho públicos los criterios de evaluación de posibles sustancias candidatas (1999).

Sería conveniente efectuar un cálculo de la reducción de costos que para la sociedad se derivarían de una disminución del daño a los ecosistemas y a la salud del público cuando se retiren del mercado materiales como el éter de pentabromodifenilo de calidad comercial. Resulta difícil cuantificar el valor de una reducción del deterioro del medio ambiente y de la salud, pero se han propuesto varios métodos. El principio de que quien contamina, paga, según el cual dichos costos tendrían que asumirlos los productores o los usuarios, o ambos, raramente se aplica (al menos sin un respaldo normativo) y, por ello, no se dispone de cálculos fiables del posible costo de los daños que se evitarían.

La inexistencia de datos en la bibliografía hace que resulte imposible valorar y cuantificar con precisión los beneficios netos globales para la salud humana y para el medio ambiente de una eliminación gradual del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial, aunque muy probablemente sean positivos.

Costos de la eliminación gradual del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial

Habría que analizar de nuevo los costos adicionales que para los usuarios del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial supondría la sustitución de esa sustancia por otras en sus productos y por el rediseño del producto mismo a fin de eliminar la necesidad de aditivos. Cada una de las plantas afectadas tendría su propio conjunto de costos generados por la progresiva eliminación del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial, por lo cual resulta difícil efectuar una valoración global con cierto grado de fiabilidad. Es posible que algunos fabricantes tengan que invertir en nuevos bienes de equipo. No obstante, para la mayoría de los usuarios, no parece que eso sea necesario puesto que existen sustitutos directos. En general, parece que los costos de la adquisición de muchas de las alternativas son similares o ligeramente inferiores a los de adquirir éter de pentabromodifenilo de calidad comercial. Empero, puede que en el caso de algunas alternativas se produzca un aumento de los costos ligado a la necesidad de emplear cantidades mayores (RPA, 2000). En cualquier caso, esos costos tendrían que ser reducidos dado que la mayor parte de los fabricantes ya han dejado de utilizar el éter de pentabromodifenilo de calidad comercial. Las modificaciones en la demanda del mercado, por causa de las prohibiciones normativas en vigor en otras regiones y la gradual eliminación del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial, exigirán ajustes como los ya explicados en la sección 2.3 respecto al mercado de productos eléctricos y electrónicos.

La inclusión del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial o de sus principales componentes en el Convenio de Estocolmo obligaría a las Partes a adoptar medidas u orientaciones, tal y como se especifica en el Convenio, sobre la gestión de desechos contaminados con éter de pentabromodifenilo de calidad comercial. En el caso de los países que aún no han adaptado sus sistemas de gestión de desechos de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial, la adopción de tales medidas conllevará costos adicionales, tanto en países desarrollados como en aquellos en vías de desarrollo. Además de tecnología de confinamiento y disposiciones relativas a una gestión especial, esas medidas podrían ampliarse, por ejemplo, a la mejora de las plantas de tratamiento de desechos. No se dispone de datos acerca de los costos que han debido asumir los países que han adoptado tales medidas. Si bien no se cuenta con cifras fiables de los costos previstos de la eliminación gradual del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial, la mayoría de los estudios indican que dichos costos son «reducidos». Junto a ese análisis económico encontramos el hecho de que la mayor parte de los usuarios de los países desarrollados ha eliminado paulatinamente el éter de pentabromodifenilo de calidad comercial aparentemente sin ninguna dificultad excepcional.

Se tendría que incluir en el análisis los posibles costos adicionales por el empleo de sustancias alternativas. Utilizar menos cantidad de las sustancias piroretardantes o agentes menos eficaces podría producir pérdidas sociales y económicas si aumentara la frecuencia de los incendios. No obstante, según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (2005), las alternativas disponibles actúan tan bien como el éter de pentabromodifenilo de calidad comercial. Podría estudiarse la conveniencia de incluir en un análisis de costos y beneficios los costos para los *productores* de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial en los que incurrirían éstos al dejar de producirlo y, finalmente, pasar a producir otras sustancias. Podrían considerarse dichos costos como parte de una reestructuración ordinaria de la producción a causa de cambios en la demanda del mercado. En la bibliografía no se han hallado evaluaciones de esos costos de reestructuración para los productores. Sin embargo, dicho costo sería reducido si se considera que la mayoría de los productores ya han realizado la transición a la producción de otras sustancias y el aumento de la demanda del mercado de alternativas al éter de pentabromodifenilo de calidad comercial debido a la eliminación gradual en regiones que presentan la mayor demanda de esa sustancia.

Los costos en los que incurran los gobiernos nacionales por las actividades de regulación, aplicación y cumplimiento (incluida la gestión de desechos) tendrían que integrarse en el análisis. Canadá ha recopilado algunos datos de ese tipo (Environment Canada, 2006) y es probable que los costos totales sean menores en los países desarrollados, en los cuales ya existen sistemas para las actividades de vigilancia y control. Por el contrario, los costos podrían ser considerables en el caso de países en vías de desarrollo que no dispongan de tales sistemas. Por otro lado, la aplicación del Convenio de Estocolmo exigiría la implantación de esos sistemas, con lo cual los costos adicionales derivados de la inclusión del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial en el Convenio serían menores.

Asimismo, la sociedad podría tener que soportar algunos costos específicos cuando materiales como el éter de pentabromodifenilo de calidad comercial se retiren del mercado y se atiendan a los desechos relacionados con esos materiales y los lugares contaminados. Podría aplicarse el principio de que quien contamina³ paga, pero rara vez es así. Con frecuencia se producen problemas heredados, como el que probablemente cree la presencia de éter de pentabromodifenilo en el medio ambiente, ya que no es posible identificar al causante de la contaminación o la actividad empresarial del mismo ha cesado. No obstante, el principio de que quien contamina paga, únicamente podría, no obstante, constituir un enfoque en aquellos casos en los que se pueda determinar el causante de la contaminación, y si el marco reglamentario de la Parte permite tal medida.

El costo total para los países desarrollados resultante de una eliminación gradual del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial tendría que ser reducido, tal y como se ha expuesto en el presente documento. La gestión de desechos puede suponer costos para algunos países y precisar asistencia financiera y técnica para países en vías de desarrollo.

Análisis de costos y beneficios En la bibliografía no se dispone de suficiente información para efectuar un análisis cuantitativo de los costos y los beneficios de la eliminación gradual del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial. No obstante, existe información suficiente para realizar un análisis cualitativo. A la vista del perfil de riesgos (anexo E) del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial, incluidas su persistencia y su bioacumulación, de la eliminación gradual en los países desarrollados y del aumento de la demanda de alternativas a esa sustancia, es en extremo probable que la consecuencia general de la citada eliminación gradual sea positiva. Debería analizarse la posible concesión de ayuda financiera y técnica a los países en vías de desarrollo.

4. Síntesis de la información

4.1 Resumen de la evaluación

El éter de pentabromodifenilo de calidad comercial se ha utilizado esencialmente en la fabricación de espuma de poliuretano flexible destinada al mobiliario y a los tapizados del hogar y de vehículos, los embalajes y, en menor grado, en la elaboración de poliuretano (no esponjoso) para estuches y aparatos eléctricos y electrónicos. Igualmente, esos materiales se han empleado, en cierta medida, en aplicaciones especializadas en productos textiles y han tenido algunos otros usos. Los riesgos que representa para la salud humana y el medio ambiente se han abordado en el perfil de riesgos preparado de conformidad con el anexo E, que el Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes aprobó en noviembre de 2006.

Existen normas nacionales e internacionales sobre la prevención de incendios para algunos grupos de productos. Las mismas se aplican, por ejemplo, al material eléctrico, al embalaje industrial, al mobiliario tapizado, a las cortinas, a los aparatos electrónicos para el hogar y a los cables eléctricos. Esas normas especifican las propiedades piroretardantes exigidas. Siempre se ha considerado que los piroretardantes bromados constituyen el modo más rentable de dotar de resistencia frente a la ignición a muchos tipos de productos. Sin embargo, en algunos casos, se están sustituyendo éstos por piroretardantes sin contenido de bromo, o se modifica el diseño del producto de forma que no haya necesidad de continuar utilizando piroretardantes químicos.

Parecen existir alternativas adecuadas para casi todos los usos del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial. Empero, algunas de las sustancias alternativas también son peligrosas y los efectos de algunas de ellas no se han estudiado cabalmente. Sin embargo, se acepta, que los beneficios generales de la gradual eliminación del empleo de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial son positivos. Por lo común se considera que los costos resultantes de eliminar gradualmente el éter de pentabromodifenilo de calidad comercial son «bajos» debido a que la mayoría de los países desarrollados ya han procedido a su eliminación sin experimentar excesivas dificultades. Se cuenta con

³ Preámbulo del Convenio de Estocolmo: «Reafirmando el principio 16 de la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo que estipula que las autoridades nacionales deberían procurar fomentar la internalización de los costos ambientales y el uso de instrumentos económicos, teniendo en cuenta el criterio de que el que contamina debe, en principio, cargar con los costos de la contaminación, teniendo debidamente en cuenta el interés público y sin distorsionar el comercio ni las inversiones internacionales».

alternativas que no contienen contaminantes orgánicos persistentes y eficaces en función de los costos que algunas empresas ya han adoptado como sustitutos del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial usado en la espuma de poliuretano y en los aparatos electrónicos.

4.2 Componentes de una estrategia de evaluación de riesgos

Habida cuenta de que la liberación de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial al medio ambiente es un problema mundial y transfronterizo, se debería estudiar la posibilidad de adoptar medidas internacionales para su eliminación gradual. El mejor modo de contribuir a la gestión de riesgos sería aplicar a todos los sectores una prohibición internacional de la producción y la utilización de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial, la cual se haría efectiva mediante la inclusión de esa sustancia en el anexo A del Convenio de Estocolmo. Puesto que la mayor parte de los países desarrollados ya han prohibido su producción, ésta sería la medida más adecuada. Llegado el caso, durante un período transitorio de duración limitada podrían quedar al margen de esa prohibición algunos usos muy específicos del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial (aviones militares, trajes de astronauta, etc.) si no existen alternativas suficientemente eficaces, o las mismas resultan muy costosas, o ambas cosas. Los países desarrollados disponen de todos los mecanismos de vigilancia y control, así como de los instrumentos legislativos, para aplicar una prohibición. De ese modo, el mayor desafío en materia de aplicación sería que los países en vías de desarrollo consiguieran disponer de suficiente capacidad para hacerlo.

Varios países han manifestado que les resultaría difícil reglamentar una mezcla comercial que contenga éter de pentabromodifenilo. Incluir en las listas del Convenio los distintos congéneres sería coherente con las legislaciones nacionales sobre el congénere del éter de pentabromodifenilo y facilitaría la vigilancia y el control nacionales de las emisiones, la producción y el uso. Asimismo, siempre existe la posibilidad de que pudieran hallarse vías comerciales a uno u otro de los componentes de la mezcla, sustrayéndose, de ese modo, a cualquier prohibición creada por la inclusión del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial en el Convenio. La mayoría de los reglamentos nacionales se ocupan de los compuestos. En consecuencia, resultaría más práctico incluir en las listas del Convenio los éteres de difenilo bromados con cuatro o cinco bromos en lugar de la mezcla comercial éter de pentabromodifenilo. Con ello, todas las mezclas que contengan los isómeros del éter de tetrabromodifenilo o del éter de pentabromodifenilo estarían sometidas a las condiciones del Convenio salvo cuando su presencia fuera residual. El Convenio podría fijar límites inferiores para las sustancias incluidas en los anexos, de forma que las mezclas que contuvieran concentraciones inferiores a esos niveles (por ejemplo, trazas) quedarían excluidas.

Una razón especial que aconseja que la inclusión en el Convenio se haga atendiendo al nivel de bromado y no de la mezcla comercial reside en que podría reiniciarse la producción de mezclas de éteres de difenilo polibromados con bajas concentraciones (aparte del éter de pentabromodifenilo), la cual cesó como medida voluntaria del sector. Así, la mezcla comercial denominada éter de tetrabromodifenilo, que se ha empleado anteriormente en el Japón, no se vería afectada por la prohibición del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial si un fabricante decidiera producirla.

El éter de pentabromodifenilo de calidad comercial contiene hasta un 12% de éter de hexabromodifenilo. El Comité está analizando un perfil de riesgos del éter de octabromodifenilo de calidad comercial a nivel mundial, el cual también contiene cantidades apreciables de éter de hexabromodifenilo. Si se considera que el éter de hexabromodifenilo es un contaminante orgánico persistente, una posibilidad sería incluir en el Convenio los piroretardantes con un contenido de cuatro a seis bromos. Sin embargo, esto tendría también consecuencias para el éter de octabromodifenilo de calidad comercial y precisaría de una evaluación de la gestión a nivel mundial del éter de octabromodifenilo de calidad comercial.

La estrategia de gestión de riesgos para la eliminación del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial tendría que abarcar orientaciones respecto a los criterios de selección de alternativas a esa sustancia. Será importante desalentar la sustitución del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial por otras sustancias perjudiciales para el medio ambiente.

Una prohibición eliminaría emisiones generadas por la fabricación de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial y de productos que lo contengan. No afectaría a las emisiones de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial contenido en productos que ya se estén utilizando. No se permitiría el reciclado y la reutilización de productos que contengan éter de pentabromodifenilo si ello conlleva una nueva utilización de isómeros de éter de tetrabromodifenilo o de éter de pentabromodifenilo como componentes de nuevos productos, puesto que el artículo 6 del Convenio prohíbe tales actividades. Se permiten el reciclado y la reutilización, pero únicamente si el nuevo producto no contiene los isómeros de éter de tetrabromodifenilo ni de éter de pentabromodifenilo. Tal vez sea preciso contemplar la adopción de nuevos reglamentos cuando se gestionen los productos para la recuperación de materiales valiosos, como los metales, contenidos en esos productos y se liberen involuntariamente a la atmósfera los componentes del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial. Esto reviste especial importancia en el caso del reciclado de productos electrónicos que contienen éter de pentabromodifenilo de calidad comercial y de las plantas trituradoras donde se tratan éstos y otros productos (p. ej., vehículos). Es posible separar algunos componentes de la fracción de desechos, pero en

la mayoría de los aparatos eléctricos y electrónicos tal separación no resultaría práctica. Por lo tanto, sería aconsejable que en los nuevos reglamentos se exigiera la instalación de dispositivos de control de la contaminación atmosférica en algunos incineradores y plantas, algo que les resultará costoso. Sin embargo, los países más desarrollados ya disponen de otras restricciones que exigen el filtrado de las descargas gaseosas de las emisiones provenientes de plantas de reciclado y triturado. Podrían añadirse esas categorías de fuentes al anexo C como constitutivas de producción involuntaria.

Se estudió la posibilidad de incluir en el anexo B los éteres de difenilo bromados con cuatro o cinco bromos, con la exigencia de fijar objetivos de eliminación gradual del uso de productos específicos que existen en la actualidad con contenido de éter de pentabromodifenilo de calidad comercial. La recogida de esos productos representaría, no obstante, una tarea de grandes proporciones y la probable complejidad de programas de ese tipo desaconsejaba esa recomendación. Podría añadirse un párrafo acerca de la voluntad de alcanzar ese objetivo en el caso de países que cuenten con sistemas de gestión. Las normas generales relativas a la gestión de desechos del Convenio de Estocolmo serán aplicables, claro está, al éter de pentabromodifenilo de calidad comercial una vez que se incluyan en el Convenio los éteres de difenilo bromados con cuatro o cinco bromos.

Habría que gestionar las fracciones de desechos que contengan éter de pentabromodifenilo como desechos peligrosos, algo que ya se hace en buena parte de la región ECE de Naciones Unidas. Esto podría suponer costos adicionales para algunos países y sectores. Las soluciones para la gestión de desechos tendrían que estar sujetas, en gran medida, a las condiciones del país y diseñarse con el fin de que se incorporen en sistemas y tradiciones ya existentes, teniendo en cuenta las reglas generales del Convenio de Estocolmo, incluida la directriz general sobre gestión de desechos del Convenio de Basilea, en cuyo anexo VIII figuran sustancias como los bifenilos policlorados y los polibromobifenilos, así como «otros compuestos polibromados análogos»

Declaración final

La presente declaración sobre la gestión de riesgos se ha preparado de conformidad con el contenido indicado en el anexo F del Convenio y se fundamenta en el perfil de riesgos (anexo E) aprobado en 2006 por el Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes. Según lo dispuesto en el párrafo 9 del artículo 8 del Convenio, el Comité recomienda a la Conferencia de las Partes que estudie la posibilidad de incluir en el anexo A los éteres de difenilo polibromados con cuatro o cinco bromos, y detallar las medidas de control conexas, tal y como se ha descrito *supra*.

Referencias

- Agrell, C., A. F. H. ter Schure, J. Sveder, A. Bokenstrand, P. Larsson and B. N. Zegers (2004). Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) at a solid waste incineration plant. I: atmospheric concentrations. *Atmos. Environ.* 38, 5139-5148.
- Alaee, M., P. Arias, A. Sjødin y Å. Bergman (2003). An overview of commercially used brominated flame retardants, their applications, their use patterns in different countries/regions and possible modes of releases. *Env. Inter.* 29, 683-689.
- Ballschmiter, K., A. Mennel y J. Buyten (1993). Long-chain Alkyl Polysiloxanes as Non-Polar Stationary Phases in Capillary Gas Chromatography, Fresenius'. *J. Anal. Chem.* 346: 396-402.
- Betts, K. (2006). PBDEs and PCBs in computers, cars, and homes. *Environ. Sci. Technol.* 40: 7452.
- BSEF (2007). Annex F Questionnaire Responses Submitted by the Bromine Science and Environment Forum (BSEF).
- BSEF (2001). Major brominated flame retardants volume estimates. Total market demand by region 2001. Bromine Science and Environment Forum 21 January 2001. www.bsef.com.
- Agencia Danesa para la Protección del Medio Ambiente (1999). Brominated flame retardants. Substance flow analysis and assessment of alternatives. www2.mst.dk/udgiv/Publications/1999/87-7909-416-3/html/kap04_eng.htm
- Daugherty, M.L. (1982). Chemical hazard information profile draft report: Melamine CAS No. 108-78-1. Office of Toxic Substances, US EPA.
- Environment Canada (2006). Regulatory Impact Analysis Statement for proposed Polybrominated Diphenyl Ether Regulations. www.ec.gc.ca/CEPA/Registry/regulations/Detail/Reg.cfm?intReg=108.
- Environmental International Reporter (2006). Electronics firms worldwide pledge to meet EU Directive banning use of some chemicals. Vol. 29, No 5.
- European Union (2000). Risk Assessment of Diphenyl Ether, Pentabromo derivative (Pentabromodiphenyl ether). CAS Number: 32534-81-9, EINECS Number: 251-084-2. Final report of August 2000, Commissioner of the European Communities. Rapporteur: United Kingdom.
- Fjeld, E., M. Schlabach, J. A. Berge, T. Eggen, P. Snilsberg, G. Källberg, S. Rognerud, A. Borgen y H. Gundersen (2003). Screening of selected new organic contaminants - brominated flame retardants, chlorinated paraffins, bisphenol A and triclosan. SFT-report 4809/2004.
- Fjeld, E., M. Schlabach, J. A. Berge, N. Green, T. Eggen, P. Snilsberg, C. Vogelsang, S. Rognerud, G. Kjellberg, E. K. Enge, C. A. Dye y H. Gundersen (2004). Screening of selected new organic contaminants 2004. Brominated flame retardants, alkylated substances, irganol, diuron, BHT and dicofol. SFT-report 927/2005.
- Freedonia Group Inc. (2005): World flame retardants. R154-1365. <http://www.mindbranch.com>
- Hale, R. C., M.J. La Guardia, E. Harvey y T.M. Mainor (2002). Potential role of fire retardant-treated polyurethane foam as a source of brominated diphenyl ethers to the US environment. *Chemosphere* 46: 729-735.
- Hazrati, S. y S. Harrad (2006). Causes of Variability in Concentrations of Polychlorinated Biphenyls and Polybrominated Diphenyl Ethers in Indoor Air. *Environ. Sci. Technol.* 40: 7584-7589.
- Law, R.J., C. R. Allchin, J. de Boer, A. Covaci, D. Herzke, P. Lepom, S. Morris, J. Tronczynski y C. A. de Wit (2005). Levels and Trends of Brominated Flame Retardants in European and Greenland Environments. *Chemosphere* 64: 187 – 208.
- Leisewitz, A., H. Kruse y E. Schramm (2000). German Federal Ministry of the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, Substituting Environmentally Relevant Flame Retardants: Assessment Fundamentals. Research report 204 08 642 or 207 44 542.
- Morf, L.S., J. Tremp, R. Gloor, Y. Huber, M. Stengele y M. Zenegg (2005). Brominated flame retardants in waste electrical and electronic equipment: Substance flow in a recycling plant. *Environ. Sci. Technol.* 39, 8691-8699.
- Agencia Noruega para la Protección del Medio Ambiente (2003). Bruken av bromerte flammehemmere i produkter. Materialstrømsanalyse. (The use of brominated flame retardants in products. A material flow analysis) TA-1947/2003. (Sólo en noruego.)
- OCDE (2001): Report on Incineration of Products Containing Brominated Flame Retardants. [http://www.olis.oecd.org/olis/1997doc.nsf/LinkTo/env-epoc-wmp\(97\)4-REV3](http://www.olis.oecd.org/olis/1997doc.nsf/LinkTo/env-epoc-wmp(97)4-REV3)

- Peltola, J. y Yla-Mononen, L. (2001). Pentabromodiphenyl ether as a global POP. TemaNord 2001, vol. 579. Copenhagen: Nordic Council of Ministers; ISBN 92-893-0690-4: 78 pp.
- Prevedouros, K., K. C. Jones y A. J. Sweetman (2004). Estimation of the production, consumption, and atmospheric emissions of pentabrominated diphenyl ether in Europe between 1970 and 2000. *Environ. Sci. Technol.* 38, 3224-3231.
- Prevedouros, K., Jones, K.C., y Sweetman, A.J. (2004). Estimation of the Production, Consumption and Atmospheric Emissions of Pentabrominated Diphenyl Ethers in Europe between 1970 and 2000. *Environ. Sci. Technol.* 38: 3224-3231.
- RPA (2000). Risk Reduction Strategy and Analysis of Advantages and Drawbacks for Pentabromodiphenyl Ether. Stage 4 Report. Risk & Policy Analysis Limited, Londres.
- SAICM Overarching Policy Strategy 14d, Global Plan of Action Activity 54, 55 (2002). www.chem.unep.ch/saicm%20texts/SAICM%20documents.htm.
- Shoeib, M., Harner, T., Ikonomou, M. y Kannan, K. (2004). Indoor and Outdoor Concentrations and Phase Partitioning of Perfluoroalkyl Sulfonamides and Polybrominated Diphenyl Ethers. *Environ. Sci. Technol.* 38: 1313-1320.
- Stapleton, H.M., Dodder, N.G., Offenber, J.H., Schantz, M.M. y Wise, S.A. 2005. Polybrominated Diphenyl Ethers in House Dust and Clothes Dryer Lint. *Environ. Sci. Technol.* 39: 925-931.
- Agencia Suiza (2002). Environmentally hazardous substances: Selected polybrominated flame retardants, PBDE and TBBPA – Substance flow analysis. Environmental series No. 338.
- ter Schure, A.F.H., C. Agrell, A. Bokenstrand, J. Sveder, P. Larsson y B. N. Zegers (2004). Polybrominated diphenyl ethers at a solid waste incineration plant II: atmospheric deposition. *Atmos. Environ.* 38, 5149-5155.
- TNO (2005). Study of the effectiveness of the UNECE Persistent organic pollutants protocol and cost of possible additional measures. Phase I: Estimation of emission reduction resulting from the implementation of the POP protocol. R 2005/194.
- UNEP (2006). Draft risk profile: pentabromodiphenyl ether. Note by the Secretariat. Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. Persistent Organic Pollutants Review Committee. Second meeting Geneva 6-10 November 2006. UNEP/POPS/POPRC.2/7.
- US EPA (2005). Future Flame Retardant Partnership: Environment Profiles of Chemical Flame-retardant Alternatives for Low Density Polyurethane Foam. Chemical Hazard Reviews, Vols. 1&2. www.epa.gov/dfe/pubs/flameret/ffr-alt.htm.
- Van der Goon, D., M. van het Bolscher, A.J.H. Visschedijk y P.Y.J. Zandveld (2005). Study of the effectiveness of the UNECE persistent organic pollutants protocol and cost of possible additional measures. Phase I: Estimation of emission reduction resulting from the implementation of the POP protocol. TNO-report 2005/194.
- Washington State (2006). Polybrominated Diphenyl Ether (PBDE) Chemical Action Plan: Draft Final Plan, December 1, 2005.
- Wilford, B.H., M. Shoeib, T. Harner, J. Zhu y Jones, K.C. (2005). Polybrominated Diphenyl Ethers in Indoor Dust in Ottawa, Canada: Implications for Sources and Exposure. *Environ. Sci. Technol.* 39(18): 7027-7035.