



**Convenio de Estocolmo
sobre contaminantes
orgánicos persistentes**

Español
Original: Inglés

**Comité de Examen de los Contaminantes
Orgánicos Persistentes
Séptima reunión**
Ginebra, 10 a 14 de octubre de 2011

**Informe del Comité de Examen de los Contaminantes
Orgánicos Persistentes sobre la labor realizada en su séptima
reunión**

Adición

**Evaluación de la gestión de los riesgos sobre el
hexabromociclododecano**

1. En su séptima reunión, el Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes adoptó una evaluación de la gestión de los riesgos sobre el hexabromociclododecano basada en el proyecto contenido en el documento UNEP/POPS/POPRC.7/5, en su forma enmendada. El texto de la evaluación de la gestión de los riesgos figura en el anexo de la presente adición. El documento no ha sido objeto de revisión editorial oficial.

Anexo

Hexabromociclododecano

EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN DE LOS RIESGOS

14 de octubre de 2011

ÍNDICE

Resumen	4
1. Introducción.....	5
1.1 Identidad química de la sustancia propuesta	5
1.2 Conclusiones del Comité de Examen en relación con la información solicitada en el anexo E.....	7
1.3 Fuentes de los datos.....	8
1.4 Situación del producto químico en el marco de los instrumentos internacionales	8
1.5 Medidas de control nacionales o regionales adoptadas	8
2. Información resumida relativa a la evaluación de la gestión de los riesgos.....	9
2.1 Posibles medidas de control	10
2.2 Eficacia y eficiencia de las posibles medidas de control en el logro de las metas de reducción de riesgos	11
2.3 Información sobre alternativas (productos y procesos).....	15
2.3.1 Poliestireno expandido y extruido piroretardante	17
2.3.2 Alternativas al HBCD en plástico de poliestireno de alto impacto	20
2.3.3 Alternativas al uso del HBCD en el revestimiento de textiles	21
2.4 Resumen de la información sobre los efectos para la sociedad de la aplicación de las posibles medidas de control.....	22
2.4.1 Salud, incluida la salud pública, ambiental y en el lugar de trabajo	22
2.4.2 Biota (biodiversidad)	23
2.4.3 Aspectos económicos, incluidos los costos y beneficios para los productores y los consumidores, y la distribución de los costos y beneficios.....	23
2.4.4 Avance hacia el desarrollo sostenible	25
2.5 Otras consideraciones.....	25
3. Síntesis de la información.....	26
3.1 Síntesis de la información sobre el perfil de riesgo.....	26
3.2 Síntesis de la información sobre la evaluación de la gestión de los riesgos	26
3.3 Medidas sugeridas para la gestión de los riesgos	27
4. Conclusiones.....	28
Referencias	29

Resumen

1. El hexabromociclododecano (HBCD; también HBCDD) fue propuesto como posible contaminante orgánico persistente (COP) por Noruega en 2008. En 2010, el Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes decidió en su sexta reunión que era probable que el HBCD, como resultado de su transporte ambiental de largo alcance, pudiera tener efectos adversos importantes para la salud humana y el medio ambiente, de modo que se justificaba la adopción de medidas a nivel mundial. El Órgano Ejecutivo de la Convención sobre la contaminación atmosférica transfronteriza a larga distancia de la Comisión Económica para Europa (CEPE) consideró que el HBCD cumplía los criterios relativos a los COP definidos en el Protocolo sobre los contaminantes orgánicos persistentes.

2. El HBCD se produce en China, los Estados Unidos de América, Europa y el Japón. La producción conocida en la actualidad es de aproximadamente 28.000 toneladas anuales (de 9.000 a 15.000 toneladas en China, 13.426 toneladas en Europa y los Estados Unidos). La información existente apunta a que el uso del HBCD puede estar aumentando. La mayor parte del volumen de mercado se utiliza en Europa y China.

3. El HBCD se usa como aditivo piroretardante a fin de demorar la combustión y retrasar la propagación de las llamas subsiguientes en vehículos, edificios o artículos durante su vida útil y almacenamiento. Los usos principales del HBCD son la espuma de poliestireno expandido y extruido en la aislación y la construcción, junto con otros usos en aplicaciones textiles y aparatos eléctricos y electrónicos (poliestireno de alto impacto). En textiles, el HBCD se utiliza para el revestimiento en tapizados y otros textiles de interior, incluso en aplicaciones de automoción. En general, se desconoce el volumen de artículos con HBCD como piroretardante importados y exportados en todo el mundo.

4. La liberación del HBCD al medio ambiente puede suceder durante la producción y fabricación, el procesamiento, el transporte, el uso, el manejo, el almacenamiento y como consecuencia del desecho de la sustancia o de productos que la contengan. La liberación puede proceder de descargas de fuentes puntuales o de emisiones difusas por el uso del producto manufacturado, como la instalación de planchas aislantes, el uso de textiles con piroretardantes, o la erosión por los elementos atmosféricos y la abrasión de productos con piroretardantes debidos al uso. Varios estudios demuestran la presencia de HBCD en la atmósfera de interior y el polvo doméstico, así como en el polvo del interior de vehículos, nuevos o no. La combustión incontrolada y la incineración de la sustancia o de productos que la contengan puede liberar como subproductos dioxinas y furanos polibromados.

5. En las evaluaciones realizadas se estima que las emisiones de HBCD al medio ambiente durante la producción y el uso son reducidas, en comparación con las liberaciones de los productos y desechos. Se estima que las emisiones de HBCD a atmósferas de interior ocasionadas por productos fabricados con poliestireno expandido o extruido durante su vida útil en el momento de la instalación son reducidas, aunque las estimaciones relativas a la liberación durante el uso por los consumidores de artículos que contienen HBCD son enormemente inciertas.

6. Las emisiones procedentes de materiales que contienen HBCD serán una fuente potencial de liberación al medio ambiente a largo plazo. La mayor parte del volumen de HBCD producido acaba en artículos usados en el sector de la construcción, principalmente de poliestireno (expandido y extruido). No se han evaluado las posibles emisiones futuras procedentes de tales artículos. La vida útil declarada de la espuma de poliestireno en edificios es de entre 30 y 50 años. El uso de HBCD en planchas aislantes y el HBCD incorporado en edificios y construcciones va en aumento y es probable que las liberaciones procedentes del poliestireno expandido y extruido sean mayores en el futuro, en particular a partir de 2025 aproximadamente, dado que se renovarán o demolerán cada vez más edificios que contienen esos tipos de poliestireno con HBCD piroretardante. La tasa dependerá de las regiones y abarcará un plazo de entre 10 y 50 años.

7. Entre los desechos que contienen HBCD se cuentan los residuos de producción, las planchas aislantes, los desechos de construcción y renovación, y los procedentes de otras aplicaciones, como productos eléctricos y electrónicos, textiles y vehículos de transporte. Se desconoce en qué medida se depositan en vertederos, incineran, abandonan en el medio ambiente o reciclan productos finales que contienen HBCD. Es probable que los desechos que acaban en los sistemas municipales de recogida se depositen en vertederos o se incineren. En los países en desarrollo, con frecuencia los aparatos eléctricos y electrónicos que contienen HBCD y otras sustancias tóxicas se reciclan en condiciones que dan lugar a una liberación relativamente alta de HBCD al entorno, a la contaminación de la zona y

la exposición de los trabajadores. La incineración y los vertederos al aire libre son destinos habituales para artículos y desechos electrónicos que contienen HBCD.

8. La eliminación progresiva del HBCD podría incluir la sustitución de pirorretardantes, la sustitución de resinas y materiales, y el cambio en el diseño de los productos. Ya existen en el mercado productos químicos alternativos para sustituir al HBCD en el poliestireno de alto impacto y el revestimiento de textiles. En beneficio del medio ambiente y de la salud, se pueden examinar como alternativas los productos químicos no halogenados disponibles. En la actualidad no existe en el mercado ningún producto químico alternativo directo en los procesos de producción de poliestireno expandido o extruido, aunque debería estar comercialmente disponible para 2012. Además, se están desarrollando otros productos químicos en varias regiones mediante iniciativas de colaboración entre distintos interesados, pero se necesitará un tiempo antes de que el sector de la espuma de poliestireno pueda introducir progresivamente esas alternativas. También existen en el mercado varios materiales alternativos que se podrían usar como pirorretardantes en el poliestireno expandido y extruido, entre los que se incluyen espumas fenólicas, mantas de lana de vidrio y de roca, vidrio celular, espuma de vidrio y relleno a granel que puede contener lana de roca, fibra de vidrio, celulosa o espuma de poliuretano. Otra posibilidad empleada en algunos países consiste en usar poliestireno expandido o extruido sin pirorretardantes junto con técnicas de construcción alternativas y barreras térmicas. No obstante, esta opción puede estar sujeta a códigos de construcción nacionales.

9. La medida de control sugerida es la inclusión del HBCD en el Convenio. Con el objeto de permitir determinados usos críticos durante un período limitado, se podría otorgar una exención al uso de HBCD en el poliestireno expandido y extruido junto con una descripción de las condiciones de producción y estos usos. La inclusión en el Convenio efectivamente pondría fin al uso de HBCD como pirorretardante en aplicaciones textiles de emisiones elevadas y en el poliestireno de alto impacto, para los cuales hay una amplia disponibilidad de alternativas, y en poliestireno expandido o extruido cuando se incorporen productos químicos sucedáneos de uso inmediato.

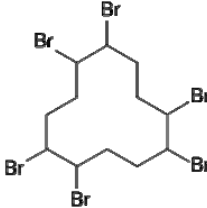
1. Introducción

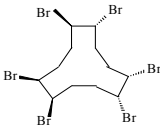
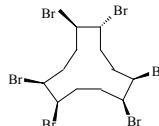
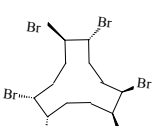
10. El 18 de junio de 2008, Noruega, en su calidad de Parte en el Convenio de Estocolmo, presentó la propuesta de incluir el pirorretardante bromado hexabromociclododecano (HBCD; también HBCDD) como posible contaminante orgánico persistente (COP) en el anexo A del Convenio (UNEP/POPS/POPRC.5/INF/16).

1.1 Identidad química de la sustancia propuesta

11. El HBCD comercial es una sustancia sólida blanca. Los productores e importadores han proporcionado información sobre esta sustancia bajo dos nombres distintos: hexabromociclododecano (número CE: 247-148-4, número CAS: 25637-99-4) y 1,2,5,6,9,10-hexabromociclododecano (número CE: 221-695-9, número CAS: 3194-55-6). El HBCD fue designado con ambas denominaciones. La fórmula estructural del HBCD es una estructura cíclica a la que se unen átomos de Br (véase el cuadro 1). La fórmula molecular del compuesto es $C_{12}H_{18}Br_6$ y su peso molecular, 641 g/mol. Según el fabricante y el método de producción empleado, el HBCD técnico está compuesto por entre un 70% y un 95% de γ -HBCD y entre un 3% y un 30% de α -HBCD y β -HBCD (Comisión Europea, 2008; Consejo Nórdico de Ministros, NCM, 2008). Cada uno de esos estereoisómeros tiene un número CAS específico, es decir, el número CAS del α -HBCD es 134237-50-6; del β -HBCD es 134237-51-7; y del γ -HBCD es 134237-52-8. Se puede consultar más información relativa a la identidad química del HBCD en el cuadro 2 y en la información justificativa sobre el perfil de riesgo del HBCD (UNEP/POPS/POPRC.6/INF/25).

Cuadro 1. Información relativa a la identidad química del HBCD

Estructura química	
<p>Fórmula estructural del HBCD¹:</p> <p>¹Fórmula estructural del 1,2,5,6,9,10-HBCD, es decir, número CAS 3194-55-6. Obsérvese que también se usa el número CAS 25637-99-4 para esta sustancia, aunque no es correcto desde el punto de vista químico, ya que ese número no especifica la posición de los átomos de bromo. A</p>	

<p>Estructura química</p> <p>continuación figura, como información adicional, la estructura y los números CAS de los diastereómeros que conforman el 1,2,5,6,9,10-HBCD, aunque esos diastereómeros siempre están presentes en forma de mezcla en el producto técnico.</p>			
<p>Componentes quirales del HBCD comercial</p>	 <p>α-HBCD número CAS: 134237-50-6</p>	 <p>β-HBCD número CAS: 134237-51-7</p>	 <p>γ-HBCD número CAS: 134237-52-8</p>

Cuadro 2. Identidad química

<p>Identidad química</p>	
<p>Nombre químico:</p>	<p>Hexabromociclododecano y 1,2,5,6,9,10-hexabromociclododecano</p>
<p>Número CE:</p>	<p>247-148-4; 221-695-9</p>
<p>Número CAS:</p>	<p>25637-99-4; 3194-55-6</p>
<p>Nombre en la IUPAC:</p>	<p>Hexabromociclododecano</p>
<p>Fórmula molecular:</p>	<p>$C_{12}H_{18}Br_6$</p>
<p>Peso molecular:</p>	<p>641,7</p>
<p>Nombres comerciales/otros sinónimos:</p>	<p>Ciclododecano, hexabromo; HBCD; Bromkal 73-6CD; Nikkafainon CG 1; Pyroguard F 800; Pyroguard SR 103; Pyroguard SR 103A; Pyrovatex 3887; Great Lakes CD-75P™; Great Lakes CD-75; Great Lakes CD75XF; Great Lakes CD75PC (compacto); Dead Sea Bromine Group Ground FR 1206 I-LM; Dead Sea Bromine Group Standard FR 1206 I-LM; Dead Sea Bromine Group Compacted FR 1206 I-CM.</p>
<p>Estereoisómeros y pureza de los productos comerciales:</p>	<p>Según el fabricante, el HBCD de calidad técnica está compuesto por entre un 70% y un 95% de γ HBCD y entre un 3% y un 30% de α-HBCD y β-HBCD aproximadamente, debido al método de producción empleado (Comisión Europea, 2008). Cada uno tiene un número CAS específico. Heeb y otros (2005) también han encontrado en el HBCD comercial otros dos estereoisómeros, δ-HBCD y ϵ-HBCD, en concentraciones de 0,5% y 0,3%, respectivamente. Actualmente esas impurezas se consideran aquirales. Según los mismos autores, el 1,2,5,6,9,10-HBCD tiene seis centros estereogénicos, por lo que, en teoría, se podrían formar 16 estereoisómeros.</p>

12. El HBCD está en el mercado mundial desde finales del decenio de 1960. Se ha declarado su producción en China, los Estados Unidos de América, Europa y el Japón. La producción conocida en la actualidad es de aproximadamente 28.000 toneladas anuales (China: de 9.000 a 10.000 toneladas en 2009 y 15.000 toneladas en 2010, 13.426 toneladas por las empresas miembros del Foro Científico y Ambiental del Bromo (BSEF) de Europa y los Estados Unidos en 2009). No se dispone de datos sobre la producción en el Japón. No se recibió información sobre la producción en otros países.

13. De las respuestas de las Partes y los observadores se deduce que la mayor parte del consumo y uso de HBCD actualmente tiene lugar en Europa y China. Según la demanda mundial declarada por el sector en 2001, más de la mitad del volumen de mercado (9.500 de 16.500 toneladas) se utilizó en Europa. La demanda mundial total de HBCD aumentó en más de un 28% en 2002, hasta 21.447 toneladas, y volvió a incrementarse ligeramente en 2003 hasta 21.951 toneladas (BSEF, 2006). En los

Estados Unidos, se declaró una cantidad de HBCD fabricado e importado de entre 4.540 y 22.900 toneladas en 2006 (Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos, US EPA, 2010). El volumen total de HBCD usado en la Unión Europea se estimó en torno a 11.580 toneladas en 2006. La demanda de HBCD en la Unión Europea supera la producción y en 2006 se estimó una importación neta a la región de 6.000 toneladas (Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas, ECHA, 2009). Las autoridades del Japón han informado de que la suma de la producción interna y la importación de HBCD fue de 2.844 toneladas en 2008 y de 2.613 toneladas en 2009. Otras autoridades nacionales han informado de la importación de HBCD en forma de compuesto puro o en productos: el Canadá (100-1.000 toneladas), Australia (<100 toneladas), Polonia (500 toneladas importadas anualmente desde China) y Ucrania (UNEP/POPS/POPRC.6/13/Add.2). La información disponible apunta a que el uso del HBCD puede estar aumentando (ECHA, 2009; UNEP/POPS/POPRC.6/13/Add.2).

14. El HBCD se usa como aditivo piroretardante en productos, a fin de demorar la combustión y retrasar la propagación de las llamas subsiguientes en vehículos, edificios o artículos durante su vida útil y almacenamiento (BSEF, 2010; véase una descripción general en UNEP/POPS/POPRC.6/13/Add.2). Los usos principales del HBCD

en todo el mundo son la espuma de poliestireno expandido¹ y extruido² piroretardante en el aislamiento y la construcción (más del 90% del uso de HBCD), mientras que el uso en aplicaciones textiles³ y aparatos eléctricos y electrónicos (poliestireno de alto impacto)⁴ se da en menor escala (BSEF, 2011; UNEP/POPS/POPRC.6/13/Add.2 y las referencias que figuran en ese documento, como ECHA, 2009; OCDE 2007; INE-SEMARNAT, 2004; LCSP, 2006; BSEF, 2010). Con datos del sistema Inventory Update Reporting (IUR), la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos observó que menos del 1% del uso comercial y de consumo de HBCD en los Estados Unidos se destinaba a tejidos, textiles y vestimenta (US EPA, 2010). El HBCD se utiliza para el revestimiento en tapizados de muebles y otros textiles de interior, incluso en aplicaciones de vehículos de transporte (Japón, 2011; LCSP, 2006). Otros usos menores han sido mencionados por KEMI (2006) y en UNEP/POPS/POPRC.6/13/Add.2.

15. Según las respuestas de las Partes y los observadores e información de la ECHA (2009), en general se desconocen los volúmenes de importación y exportación de HBCD en artículos piroretardantes. Los materiales de con espuma de poliestireno suelen adaptarse al mercado local, y la mayor cuota de producción se destina al consumo local y no se exporta (SWEREA, 2010; BSEF, 2011).

1.2. Conclusiones del Comité de Examen en relación con la información solicitada en el anexo E

16. En su sexta reunión, celebrada en octubre de 2010, el Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes evaluó el proyecto de perfil de riesgo sobre el HBCD con arreglo al anexo E (UNEP/POPS/POPRC.6/13) y lo aprobó (UNEP/POPS/POPRC.6/13/Add.2). El Comité de Examen decidió lo siguiente: “El HBCD es una sustancia sintética sin presencia natural conocida que se sigue utilizando en muchos países, incluso en artículos y productos importados. Las liberaciones de HBCD están aumentando en todas las regiones estudiadas; o sea, Europa y en Asia (Japón). El HBCD es persistente en el medio ambiente y se bioacumula y biomagnifica en peces, aves y mamíferos. Varios niveles medidos en la biota, incluidos niveles tróficos superiores, como las aves y los mamíferos, en fuentes y zonas remotas son altamente preocupantes para la salud humana y el medio ambiente. Por consiguiente, se llega a la conclusión de que es probable que el HBCD, como resultado de su transporte a larga distancia en el medio ambiente, pueda provocar efectos adversos importantes para la salud humana, el medio ambiente, o ambos, que justifican la adopción de medidas a nivel mundial”. El Comité decidió también establecer un grupo de trabajo especial encargado de preparar una evaluación de la gestión de los riesgos que incluyera un análisis de posibles medidas de control para el hexabromociclododecano de conformidad con el anexo F del Convenio, para su examen en la reunión siguiente.

1 0,5-0,7% de peso húmedo de HBCD (Canadá, presentación de PlasticsEurope/Exiba, 2011).

2 0,8-2,5% de peso húmedo de HBCD (BFRIP 2005, XPSA y CPIA, presentación de PlasticsEurope/Exiba, 2011).

3 10-15% de peso húmedo de HBCD (Comisión Europea, 2008).

4 1-7% de peso húmedo de HBCD (ECHA, 2009).

1.3. Fuentes de los datos

17. La presente evaluación de la gestión de los riesgos se preparó con información del anexo F presentada por las Partes y los observadores, entre los que se incluyen integrantes del sector que utilizan y producen HBCD.

18. Presentaron información 16 Partes y países observadores (Alemania, Brasil, Burundi, Canadá, China, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Finlandia, Japón, Nigeria, Noruega, Mauricio, República Checa, Rumania y Suecia). Cinco observadores no gubernamentales presentaron información: el Foro Científico y Ambiental del Bromo (BSEF), PlasticsEurope/Exiba, el Instituto del Medio Ambiente (IMA) del Brasil, la Extruded Polystyrene Foam Association (XPSA) y la Canadian Plastics Industry Association (CPIA), así como la Red Internacional de Eliminación de Contaminantes Orgánicos Persistentes (IPEN). Todas las presentaciones se pueden consultar en el sitio web del Convenio.

1.4. Situación del producto químico en el marco de los instrumentos internacionales

19. El HBCD figura dentro del grupo de los pirorretardantes bromados en la Lista de Sustancias Químicas que necesitan una acción prioritaria del Convenio para la protección del medio marino del Atlántico nordeste (Convenio OSPAR). El Convenio OSPAR está integrado por representantes de los gobiernos de las 15 Partes y la Comisión Europea. La Comisión de Helsinki (HELCOM) también ha incluido el HBCD en la lista de sustancias peligrosas prioritarias.

20. En diciembre de 2009, el Órgano Ejecutivo de la Convención sobre la contaminación atmosférica transfronteriza a larga distancia de la Comisión Económica para Europa (CEPE) consideró, sobre la base de un examen técnico (ECE/EB.AIR/WG.5/2009/7), que el HBCD cumplía los criterios relativos a los COP definidos en el Protocolo sobre los contaminantes orgánicos persistentes. En 2010 se evaluaron las posibles opciones de gestión del HBCD a fin de sentar las bases para negociaciones ulteriores. Las negociaciones darán comienzo previsiblemente en diciembre de 2011.

1.5. Medidas de control nacionales o regionales adoptadas

21. En la UE, el HBCD ha sido identificado como sustancia altamente preocupante que cumple los criterios de sustancia PBT (persistente, bioacumulativa y tóxica) con arreglo al artículo 57, letra d), del reglamento REACH (ECHA, 2008). En febrero de 2011, el HBCD se incluyó en la lista de la Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas (ECHA) de sustancias sujetas a autorización en virtud del reglamento REACH. Con efecto en 2015, el HBCD ya no podrá utilizarse sin autorización. Con objeto de asegurar una transición sin problemas una vez que exista una alternativa viable, el sector del poliestireno tendrá que considerar la posibilidad de solicitar la autorización en virtud del reglamento REACH para que el uso de HBCD en el poliestireno pueda continuar en Europa después de agosto de 2015. En la Unión Europea se presentó una propuesta sobre la clasificación y el etiquetado del HBCD como posible toxina para la reproducción (Propuesta de clasificación y etiquetado armonizados, basada en el Reglamento (CE) N° 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, parte 2 del anexo VI, Nombre de la sustancia: hexabromociclododecano, versión 2, septiembre de 2009) (KEMI, 2009). El Comité de Evaluación de Riesgos (RAC) de la Unión Europea es de la opinión de que el HBCD debería clasificarse como “se sospecha que puede perjudicar a la fertilidad o dañar al feto” (Repr.2 H361) y “puede perjudicar a los niños alimentados con leche materna” (Lact. H362) (RAC, 2010). En la Unión Europea, el HBCD está clasificado como sustancia perjudicial para el medio ambiente N:R50/53 “Muy tóxica para los organismos acuáticos y capaz de causar efectos perjudiciales duraderos en el medio ambiente acuático”.

22. La directiva de la Unión Europea sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) (2002/96/CE) exige la extracción de plásticos que contengan materiales pirorretardantes bromados y de tarjetas de circuitos impresos de los aparatos eléctricos y electrónicos antes de su recuperación y reciclado.

23. La directiva de la Unión Europea sobre los productos de construcción (Directiva 89/106/CEE del Consejo) indica que la higiene, salud y medio ambiente es uno de los ámbitos que se habrán de especificar en las normas armonizadas para los productos, junto con los demás requisitos: resistencia mecánica y estabilidad, seguridad en caso de incendio, seguridad de utilización, protección contra el ruido, y ahorro de energía y aislamiento térmico, como se establece en el anexo 1 de la directiva. Este requisito esencial reconoce las normativas nacionales sobre sustancias peligrosas, que puedan ser emitidas o liberadas por los productos de construcción a atmósferas de interior, suelo, aguas superficiales o subterráneas, o que puedan tener consecuencias para el medio ambiente. La directiva

se aplica a las propiedades de los productos cuando están instalados en un edificio, es decir, no en las fases de fabricación, demolición o desecho. El HBCD está incluido en la lista indicativa de sustancias peligrosas reguladas que se deberían examinar en las normas para los productos (http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/construction/documents/legislation/cpd/index_en.htm).

24. En Ucrania el HBCD está registrado en el Registro Estatal de Factores Peligrosos del Ministerio de Protección de la Salud, que lleva una lista de sustancias químicas utilizadas en la industria en el territorio del país. La entrada actual del HBCD es válida hasta 2014. El Comité Estatal de Reglamentación de la Higiene se ocupa de administrar las medidas nacionales sobre la evaluación de los riesgos de las sustancias químicas y la correspondiente reglamentación de higiene.

25. En el Japón, el HBCD se ha clasificado como sustancia química sujeta a vigilancia por su persistencia y alto grado de bioacumulación en virtud de la Ley sobre la evaluación de sustancias químicas y regulación de su fabricación, etc. (normalmente citada como la ley de control de sustancias químicas o CSCL). En septiembre de 2010, los ministros de salud, trabajo y bienestar del Japón, así como los de economía, comercio e industria y medio ambiente, dieron instrucciones a los responsables de las empresas de fabricación o importación de HBCD para que realizaran un examen sobre la reproducción de aves (orientaciones de la OCDE para el examen 206) y presentaran un informe sobre los resultados del mismo para finales de marzo de 2012, con sujeción a la CSCL.

26. En los Estados Unidos, la Agencia de Protección del Medio Ambiente tiene previsto proponer una norma sobre un uso nuevo significativo en virtud del artículo 5 a) 2) de la Ley de control de sustancias tóxicas acerca del uso del HBCD en textiles destinados al consumo. Se prevé que la norma que se está elaborando excluirá a los productos textiles usados en vehículos automotores, que es el uso por los consumidores que persiste en los Estados Unidos. También pediría a las personas que notificaran a la Agencia al menos 90 días antes de fabricar, importar o procesar HBCD para el uso en determinados productos textiles de consumo, dando a la Agencia la oportunidad de evaluar el uso deseado y, en caso necesario, prohibir o limitar la actividad antes de que se produzca.

27. El Ministerio de Medio Ambiente de Noruega está examinando actualmente una propuesta para la prohibición del HBCD en el país (Noruega, 2011).

28. El Canadá está realizando una evaluación de los riesgos del HBCD y examinará medidas de control cuando la termine, previsiblemente en 2011.

2. Información resumida relativa a la evaluación de la gestión de los riesgos

29. La liberación del HBCD al medio ambiente puede suceder durante la producción y fabricación, el procesamiento, el transporte, el uso, el manejo, el almacenamiento y como consecuencia del desecho de la sustancia o de productos que la contengan. La liberación puede proceder de descargas de fuentes puntuales o de emisiones difusas por el uso del producto manufacturado. Además, se pueden liberar como subproductos dioxinas y furanos polibromados a consecuencia de incendios, combustión e incineración de la sustancia o de productos que la contengan. Las liberaciones dependen de las condiciones de combustión y son reducidas en pequeños incineradores de tecnología avanzada que, sin embargo, no están disponibles en todas las ubicaciones.

30. En la evaluación de los riesgos realizada por la Unión Europea (Comisión Europea, 2008) se estima que las emisiones ambientales conocidas de HBCD durante la producción y el uso son reducidas, un 0,1% del volumen de HBCD producido e importado en la Unión Europea (8,7 toneladas de un volumen total de entre 8.000 y 9.000 toneladas), en comparación con las liberaciones de los productos y desechos. Sin embargo, existen inquietudes sobre algunos aspectos ambientales de estas emisiones. Según la evaluación de los riesgos de la Unión Europea, el 99,9% del volumen de HBCD producido o importado acaba en artículos, principalmente de poliestireno (expandido o extruido), usados en el sector de la construcción, donde se les presupone una vida útil muy larga. No se han evaluado las emisiones futuras probables de estas construcciones (por ejemplo, durante la reparación o demolición de antiguos edificios, carreteras, vías de ferrocarril y otras construcciones). El informe sobre la evaluación de los riesgos reconoce que las emisiones futuras son muy probables, pero que no hay metodología para evaluarlas. También llega a la conclusión de que es posible que las emisiones al final de la vida útil sean más elevadas que durante las fases de producción y formulación, a menos que se recicle prácticamente todo el material de construcción de poliestireno usado, por lo que los riesgos a largo plazo asociados con el uso de HBCD en artículos con una vida útil prolongada pueden haber sido muy subestimados en la evaluación.

31. Los productos liberan HBCD (Comisión Europea, 2008; Miyake y otros, 2009; Kajiwara y otros, 2009), pero la estimación de las liberaciones durante el uso de los productos por los

consumidores es muy incierta (ECHA, 2009). El uso de HBCD como aditivo piroretardante en textiles podría quizá dar lugar a la contaminación de aguas superficiales durante el lavado. Además, se pueden prever emisiones debidas al desgaste del tejido durante su vida útil (Comisión Europea, 2008). Se estima que las emisiones de HBCD a atmósferas de interior debidas a alteraciones de productos compuestos de poliestireno expandido o extruido durante su vida útil son muy reducidas (ECHA, 2009), pero la instalación de planchas en edificios ocasiona liberaciones mayores de emisiones difusas (SWEREA, 2010; KLIF, 2011a; ECHA, 2008). Varios estudios muestran la presencia de HBCD en atmósferas de interior y polvo doméstico (Abdallah y otros, 2008a y b; Abdallah, 2009; Goosey y otros, 2008; Stapleton y otros, 2008; Stuart y otros, 2008; Takigami y otros, 2009 a y b) y en polvo en el interior de vehículos nuevos y usados (Harrad y Abdallah, 2011). Según la presentación del Japón (2011), en los nuevos modelos de automóviles no se usan tejidos con HBCD.

32. Los resultados de un análisis de flujo de sustancias realizado en el Japón (Managaki y otros, 2009), indican que las emisiones de materiales de construcción continuarán durante varias décadas y serán fuentes potenciales a largo plazo de lixiviación o volatilización de HBCD al entorno, además de suponer liberaciones mayores durante la demolición o renovación de edificios en el futuro. Asimismo, el incremento en las existencias de HBCD observado en el estudio indica que posiblemente surgirán problemas en el reciclado futuro de materiales de construcción cuando se renueven o destruyan los edificios del período actual. Los resultados del análisis de flujo de sustancias de Suiza (Morf y otros, 2008) también apoyan estas conclusiones. El estudio de Suiza también resaltó las existencias en gestión de residuos y vertederos como fuentes a largo plazo de liberaciones de HBCD. Sin embargo, la importancia de esas fuentes depende de las estrategias de gestión de residuos por las que opte el país, de si los residuos se incineran o se depositan en vertederos, controlados o no.

33. Las liberaciones derivadas del desecho de residuos dependen del método empleado. Es probable que, al final de su vida útil, los productos que contienen HBCD sean depositados en vertederos, incinerados, reciclados o permanezcan en el medio ambiente en forma de desechos (UNEP/POPS/POPRC.6/13/Add.2). Se desconoce en qué medida se vierten, incineran, abandonan en el medio ambiente o reciclan los productos finales que contienen HBCD. Los desechos que acaban en los sistemas municipales de recogida probablemente se depositan en vertederos o se incineran (Comisión Europea, 2008). Los desechos sólidos que contienen HBCD pueden ser material de chatarra generado durante las operaciones de procesado, partículas liberadas por el envejecimiento y desgaste de los productos finales, y el desecho de los productos al final de su vida útil. Los productos y materiales en vertederos están expuestos a erosión por los elementos atmosféricos y liberarán partículas de HBCD principalmente al suelo y, en menor medida, a las aguas y la atmósfera (ECHA, 2009; Medio Ambiente Canadá, 2010b). También existe la posibilidad de formación de otros subproductos en los procesos de incineración (véase más adelante).

34. Las planchas aislantes constituyen la mayor parte de los residuos que contienen HBCD. La vida útil declarada de la espuma de poliestireno en edificios es de entre 30 y 50 años (ECHA, 2009; Plastics Europe, 2009; SWEREA, 2010). Se considera que la mayor parte de ese material se depositará en vertederos o se incinerará, aunque se producirán también algunas liberaciones de HBCD en el polvo generado durante la demolición de edificios equipados con planchas aislantes con piroretardantes. El uso de HBCD en planchas aislantes y el HBCD incorporado en edificios y construcciones están aumentando y es probable que las liberaciones procedentes de poliestireno expandido o extruido de materiales de desecho sean más significativas en el futuro, en particular a partir de 2025, aproximadamente, a medida que aumente el número de edificios con HBCD que sean remodelados o demolidos. La tasa dependerá de las regiones y abarcará un plazo de entre 10 y 50 años. En Europa, el sector del poliestireno expandido tiene una cuota de mercado del 35% en el aislamiento para la construcción (www.eumeps.org).

2.1. Posibles medidas de control

35. El objetivo del Convenio de Estocolmo (artículo 1) es proteger la salud humana y el medio ambiente frente a los contaminantes orgánicos persistentes. Esto se puede lograr incluyendo el HBCD en el Convenio, posiblemente junto con condiciones para determinados usos del HBCD. Durante la evaluación de las medidas de control, se deberían tener en consideración las liberaciones de la producción y el uso del HBCD y de los artículos que lo contienen, pero también la posible liberación procedente de la gestión de desechos de artículos que contienen HBCD al final de su vida útil.

36. La eliminación progresiva del HBCD podría incluir la sustitución de piroretardantes, la sustitución de resinas y materiales y el cambio en el diseño de los productos (LCSP, 2006). Además,

la reevaluación de los requisitos de seguridad contra incendios, por ejemplo en aplicaciones sin riesgo de incendios (como aplicaciones subterráneas, aunque puede haber riesgo de incendio durante la construcción y el almacenamiento previo de los materiales) o cuando ese riesgo se haya eliminado con algún otro medio, reduciría la necesidad de material de aislamiento piroretardante. Las emisiones de HBCD se pueden reducir en procesos donde se utilicen HBCD o artículos que lo contienen, así como durante la fase de gestión de residuos.

37. En el proceso del anexo F, las Partes y los observadores han indicado diversos usos del HBCD. Para el poliestireno de alto impacto y la producción de revestimientos textiles con piroretardantes ya existen alternativas disponibles y en uso en muchos países. En algunas regiones se están utilizando piroretardantes químicos alternativos al HBCD en la producción de poliestireno expandido piroretardante, pero no son adecuados para todos los procesos de producción (véase la sección 2.3.1). No obstante, ya está muy extendido el uso de materiales aislantes alternativo, así como de métodos de construcción alternativos. Esos usos y los posibles productos sustitutivos se describen con mayor detalle en la sección 2.3.

38. En los procesos de producción y fabricación podría exigirse la aplicación de medidas de reducción de las emisiones y el uso de las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales si se incluyeran exenciones específicas o finalidades aceptables, a fin de reducir la liberación de HBCD en el medio ambiente. Los fabricantes europeos de HBCD y poliestireno iniciaron en 2006 programas de reducción de las emisiones que están encaminados a eliminar las emisiones de los usuarios de primer nivel de HBCD (*Self-Enforced Control of Use to Reduce Emissions* (SECURE) y *Voluntary Emissions Control Action Programme* (VECAP)). La mayor parte del sector europeo de espuma de poliestireno aplica esas medidas de reducción de riesgos (EBFRIP, 2009a) y, según el informe sobre los progresos del VECAP correspondiente a 2010, el 95% de los residuos de embalaje se manejan con las mejores técnicas de desecho disponibles (VECAP, 2011). La aplicación de las mejores prácticas en el manejo redujo el total de liberaciones potenciales desde 2.017 kg/año en 2008 hasta 309 kg/año en 2009, y hasta 560 kg/año en 2010, según la encuesta realizada entre las empresas miembros (el incremento en 2010 se explica por un cambio en la encuesta y las hipótesis sobre emisiones potenciales porque se observó que no todos los usuarios operaban con sistemas de ventilación). Además, el sector de cortinas y persianas del Japón ha desarrollado un método de coagulación-sedimentación en el proceso de teñido para reducir las emisiones de HBCD a las aguas (Japón, 2011).

39. Si se incluyera el HBCD en el Convenio, deberían introducirse medidas de gestión de desechos conformes al artículo 6 1) d) ii) para velar por que los productos que contienen HBCD (poliestireno expandido, extruido o de alto impacto, textiles) se eliminen de manera que el contenido del contaminante orgánico persistente se destruya o se elimine en forma ambientalmente racional. Para ello sería imprescindible identificar los materiales que contienen HBCD, por ejemplo durante la renovación o demolición de edificios, a fin de facilitar la destrucción del contenido del contaminante orgánico persistente en los desechos y prevenir otras prácticas de gestión no apropiadas que den lugar al reciclado de ese contenido.

2.2. Eficacia y eficiencia de las posibles medidas de control en el logro de las metas de reducción de riesgos

40. La inclusión del HBCD en el Convenio reduciría eficazmente las liberaciones de HBCD. Para ello sería necesario introducir técnicas de construcción o materiales aislantes alternativos que garantizaran la seguridad contra incendios en la construcción, o bien la introducción progresiva por el sector de una alternativa al HBCD. Ya existen en el mercado alternativas para la aplicación del HBCD en los textiles y el poliestireno de alto impacto, aunque el uso de ese producto continúa, especialmente en las aplicaciones textiles.

41. Según el documento UNEP/POPS/POPRC.6/13/Add.2, las liberaciones se producen durante toda la vida útil de los productos que contienen HBCD. Las estimaciones calculadas en la Unión Europea indican que las liberaciones de HBCD al medio ambiente durante la producción y la fabricación son relativamente reducidas. Según ECHA, 2008a, el total estimado de liberaciones de HBCD debidas a la fabricación y el uso de planchas aislantes (95% del consumo de HBCD) y a la fabricación y el uso de textiles (2% del consumo) era de la misma magnitud. Las liberaciones difusas debidas a la instalación y demolición de espumas de poliestireno y desechos de embalaje también contribuyen a las liberaciones de HBCD al medio ambiente. Especialmente en la fase de desecho, son elevadas las liberaciones procedentes de espuma de poliestireno y del reciclado de productos eléctricos y electrónicos en países en desarrollo.

42. Las técnicas de control de emisiones y gestión de desechos en los centros de producción no serán suficientes por sí solas para resolver el problema que plantea el HBCD para el medio ambiente y la salud, dado que también plantean gran inquietud las emisiones difusas y las liberaciones a las reservas hídricas y los sistemas de alcantarillado procedentes del uso y el procesamiento de productos que lo contienen, así como las liberaciones procedentes de desechos. Varios estudios han demostrado la presencia de HBCD en polvo doméstico, de oficinas y de vehículos (Abdallah y otros, 2008a y b; Abdallah, 2009; Goosey y otros, 2008; Stapleton y otros, 2008; Stuart y otros, 2008; Takigami y otros, 2009 a y b).

43. Los productos reciclados que contienen HBCD, como planchas de poliestireno expandido o extruido, son fuentes potenciales de emisiones al igual que los productos originales. Según el análisis de flujo de sustancias realizado en Suiza, la proporción de HBCD reciclado es mayor que en el material que contiene otros pirorretardantes bromados, y se preveía un aumento del porcentaje de reciclado del HBCD utilizado en el aislamiento con poliestireno expandido desde el 30% en 2005 hasta el 60% en 2010 en Suiza (Geopartner, 2007).

44. El poliestireno expandido se suele reciclar si se recupera sin contaminación de otros materiales. Las operaciones de reciclado realizadas durante la recuperación de metales o plásticos de productos electrónicos y vehículos también son fuentes potenciales. La directiva sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos de la Unión Europea (2002/96/CE) exige la remoción de los plásticos que contienen pirorretardantes bromados y de tarjetas de circuito impreso de los aparatos eléctricos y electrónicos antes de la recuperación y el reciclado. No obstante, se trata solo de una parte pequeña de los desechos que contienen HBCD. Las cantidades recicladas varían de un país a otro, pero pueden ser significativas (la Unión Europea de los 27 estima (ECHA, 2009) un 30% del poliestireno expandido). En la actualidad existen opciones para el reciclado del poliestireno expandido en Europa y el reciclado de ese producto se realiza de manera económica. Los desechos se pueden moler y mezclar con poliestireno expandido nuevo para fabricar nuevos productos de espuma, o bien fundir y extruir para fabricar poliestireno compacto. Este se puede utilizar para fabricar artículos como tiestos para plantas, perchas y sustitutos de madera, o bien poliestireno endurecido de media densidad, y para productos con los que se pueden fabricar artículos en forma de planchas o termoformados, como bandejas. Si forma parte de desechos plásticos mezclados, el poliestireno expandido se puede reciclar para obtener, por ejemplo, postes para vallas y señales de tráfico (EUMEPS, 2011). Sin embargo, en esos procesos el HBCD probablemente se incluirá en artículos difíciles de detectar, como determinó anteriormente el Comité de Examen en relación con productos reciclados que contienen pentaBDE y octaBDE. El poliestireno expandido fragmentado también se puede volver a fundir y reutilizar para el drenaje y el tratamiento de suelos. Los desechos de poliestireno expandido granulado se utilizan asimismo para mejorar la textura del suelo en la agricultura y la horticultura (UNEP/POPS/POPRC.6/10; Vogdt, 2009).

45. En los sistemas de eliminación controlados, los materiales que contienen HBCD se podrían separar, aunque esto no siempre será técnicamente viable ya que esos materiales no se pueden detectar sin equipo técnico o bien están mezclados con otros materiales. El poliestireno expandido como material aislante tiene una vida útil estimada de entre 30 y 50 años, aproximadamente, y su obtención y reciclado pueden verse obstaculizados por dificultades para separar el poliestireno expandido que contiene HBCD de otros materiales. En la Unión Europea en 2007, la proporción de poliestireno expandido con pirorretardantes constituía el 60% de la demanda total de poliestireno expandido, y la cuota de poliestireno extruido con pirorretardantes ascendía al 92% de la demanda total de ese producto (PlasticsEurope/Exiba, 2011). El etiquetado de productos o partes de productos podría ser una valiosa ayuda para el proceso de detección y separación de elementos que contienen HBCD al final de su vida útil (KEMI, 2006). Las cantidades afectadas también pueden ser elevadas, especialmente respecto a las espumas aislantes que se han utilizado desde el decenio de 1980.

46. Actualmente, las fuentes más importantes en conexión con la descarga de HBCD a los desechos en la Unión Europea son los textiles y el poliestireno de alto impacto con HBCD pirorretardante (Comisión Europea, 2011). En los países en desarrollo, los aparatos eléctricos y electrónicos que contienen HBCD y otras sustancias tóxicas se reciclan con frecuencia en condiciones que provocan una liberación relativamente alta de HBCD al medio ambiente, la contaminación de los lugares (Zhang y otros, 2009) y la exposición de los trabajadores (Tue y otros, 2010). La incineración y los vertederos a cielo abierto son destinos habituales de artículos y desechos electrónicos que contienen HBCD (Malarvannan y otros, 2009; Polder y otros, 2008).

47. La incineración controlada es un método para eliminar los desechos que contienen HBCD (ECHA, 2009; PlasticsEurope/Exiba, 2011). El pirorretardante se descompone durante el proceso

en las instalaciones de incineración. En un estudio de co-combustión realizado en una instalación experimental de alta temperatura (>900 °C), la adición de espuma originó un aumento sustancial del contenido de bromo en la materia prima del incinerador (hasta seis veces mayor), pero no afectó significativamente al peligro general del gas bruto o las emisiones. No obstante, la carga adicional de bromo se liberó casi en su totalidad en el gas bruto, mientras que los niveles de la ceniza de fondo de horno permanecieron constantes (APME). Los datos obtenidos de los experimentos confirman que, en determinadas condiciones, la incineración de HBCD y de productos que lo contienen puede originar la formación de dibenzodioxinas polibromadas (PBDD) y dibenzofuranos polibromados (PBDF), incluso en instalaciones municipales de incineración de residuos sólidos de tecnología avanzada (APME; NCM, 2004). La formación de dioxinas y furanos clorados y bromados mixtas ocurre principalmente por medio del “mecanismo de síntesis de novo”, semejante al de la formación PCDD/PCDF (Shuler y Jager, 2004). Sin embargo, en ese tipo de incineradoras, las PBDD y los PBDF formados a partir de desechos que contienen HBCD probablemente serán destruidos por las altísimas temperaturas de funcionamiento, y las emisiones al medio ambiente se controlarán mediante los sistemas de tratamiento del gas de combustión. La eficacia de la incineración y las condiciones de funcionamiento de los sistemas de tratamiento del gas de combustión son de gran importancia para las emisiones resultantes de dioxinas (NCM, 2004) y los pirorretardantes bromados (incluido el HBCD) pueden ser destruidos muy eficazmente en condiciones de combustión controlada (Weber y Kuch, 2003). Sin embargo, existe el potencial de liberación de subproductos bromados en caso de incineración no controlada e incendios accidentales, instalaciones de pirólisis o gasificación e incineradoras que no funcionen bien (Weber y Kuch, 2003; ECHA, 2009). Desmet y otros (2005) también documentaron la formación de bromofenoles, conocidos precursores que pueden dar lugar a la formación de PBDD y PBDF, durante la combustión de poliestireno extruido pirorretardante que contenga HBCD. En el estudio no se investigó la formación de dioxinas y furanos bromados, pero se observó que era muy probable que se formaran diversos isómeros de dioxinas bromadas a partir de los bromofenoles, aunque no se procedió a medirlos.

48. Se prevé que en los próximos años el acceso a la incineración con tecnología avanzada esté más generalizado en algunos países, lo que evitará que materiales que contengan HBCD lleguen a los vertederos. Sin embargo, actualmente en muchos países los vertederos son el método más habitual de eliminación de desechos, lo que provoca la acumulación en ellos de residuos que contienen HBCD. En el Japón los recicladores de material y térmicos utilizan los productos de desecho que contienen HBCD (por ejemplo poliestireno expandido y extruido y residuos del desguace de automóviles⁵) como recurso en la fase de eliminación con el objeto de fomentar el desarrollo sostenible.

Requisitos para pirorretardantes

49. El poliestireno y sus copolímeros tienen tendencia a la despolimerización cuando la temperatura llega al punto de inflamación, lo que da lugar a la liberación de productos volátiles con hidrocarburos de alto valor como combustible. La respuesta al fuego de un material también está influida por rellenos, revestimientos, laminados, pigmentos, tintes y otros agentes aglutinantes. La inflamabilidad de los polímeros se evalúa principalmente mediante la ignición, la facilidad de extinción, la tasa de propagación de las llamas, la tasa de liberación de calor y la liberación de humo, que son características inherentes de la respuesta de los materiales al fuego (Weil y Levchik, 2009). Por consiguiente, puede ser necesario tratar los materiales inherentemente inflamables con un elemento pirorretardante para satisfacer los criterios de resistencia al fuego exigidos en las normativas nacionales para usos específicos. En las legislaciones nacionales, los requisitos se suelen especificar en términos generales y relativos y no exigen el uso de pirorretardantes específicos. Para demostrar que se cumplen los requisitos, se prescriben criterios verificables que con frecuencia se han elaborado con la ayuda de organismos de normalización como la Organización Internacional de Normalización (ISO), el Comité Europeo de Normalización (CEN) y UL (KEMI, 2006).

50. El sistema europeo de clasificación de las propiedades de reacción al fuego de los productos y materiales de construcción no establece requisitos para los materiales individuales de un producto de construcción, sino sobre las propiedades ignífugas del producto completo en el modo de aplicación al que está destinado. Sin embargo, es habitual que existan normativas nacionales específicas para las propiedades de reacción al fuego de materiales aislantes no recubiertos, lo que no necesariamente predice el comportamiento del material en una situación de incendio real.

51. Por consiguiente, según la aplicación del material y las condiciones de uso (por ejemplo, el número de plantas del edificio), el valor exigido de resistencia a la propagación de las llamas varía de

5 El material que queda después de la recuperación de metales y otros materiales reutilizables del desmantelamiento y desguace de vehículos.

un país a otro dentro de la Unión Europea. Los criterios basados en la respuesta de los elementos tienen una importancia fundamental en la directiva de la Unión Europea sobre los productos de construcción. También se ha sugerido que los criterios basados en esa respuesta mejorarían la seguridad contra incendios a un menor coste (EUMEPS, 2011).

52. Muchos países han establecido normas para materiales de construcción en relación con su contribución a la propagación del fuego o bien criterios de propiedades de reacción al fuego para elementos de construcción como suelos, muros o techos (SWEREA, 2010; KLIF, 2011a; KLIF, 2011b). Las normativas de seguridad contra incendios exigen el uso de pirorretardantes en Alemania, Austria, el Canadá, China, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, Hungría, Islandia, los Países Bajos, la República Checa y Suiza para todas las aplicaciones de construcción, independientemente del uso (Alemania; PlasticEurope/Exiba, 2011). Es más, se utilizan pirorretardantes en el poliestireno expandido depositado en almacenes, con objeto de demorar la inflamación y retrasar la propagación de las llamas subsiguientes. En Italia, Portugal y el Reino Unido se utilizan generalmente espumas de poliestireno pirorretardantes (BSEF, 2011). En el Reino Unido no hay ninguna normativa oficial que excluya el uso de poliestireno expandido o extruido no pirorretardante pero, según el sector del plástico en ese país, casi toda la cuota de mercado de poliestireno expandido o extruido es pirorretardante por las exigencias del sector de los seguros. Se utilizan otros materiales alternativos no combustibles, como lana de piedra y de vidrio, para algunas aplicaciones cuando se han de respetar requisitos estrictos de seguridad contra incendios. La espuma de poliestireno pirorretardante se puede utilizar en algunas aplicaciones de construcción en Finlandia, Noruega y Suecia, aunque no es obligatorio. Suecia y Noruega, cuyas legislaciones aplican criterios de reacción al fuego del producto final, utilizan muchos menos pirorretardantes bromados que países con requisitos más específicos para los materiales (KLIF, 2011a). En ambos países, el sector ha retirado voluntariamente del mercado los productos que contienen HBCD, lo que es posible porque se pueden usar técnicas de construcción alternativas, incluso con aplicaciones de poliestireno expandido.

53. En los Estados Unidos y el Canadá existen numerosos reglamentos y normativas aplicables al aislamiento utilizado en el sector de la construcción, bien sea en el plano nacional, estatal, de condado o municipal (LSCP, 2006). El requisito más habitual en diversos códigos de construcción para los materiales empleados es el ensayo en túnel ASTM E 84 (Weil y Levchik, 2009). Según la norma UL-94, los plásticos se pueden clasificar en cinco clases.

54. En Australia hay muy pocos requisitos oficiales acerca de la respuesta al fuego de los materiales y no necesariamente exigen el uso de poliestireno expandido o extruido pirorretardante. Sin embargo, parece que cuando se usa poliestireno expandido o extruido en lugar de otros materiales, se opta voluntariamente por que sea pirorretardante (KLIF, 2011b).

55. Los requisitos para el poliestireno de alto impacto pirorretardante dependen de la aplicación. Su uso en la fabricación de televisores es probablemente la aplicación más importante y en los Estados Unidos se exige una clasificación V-0 según la norma UL-94, que es más estricta que los requisitos europeos. Para obtener la clasificación V-0 según la UL-94, se necesita aproximadamente un 10% de peso húmedo de pirorretardante en combinación con óxido de antimonio. El poliestireno de alto impacto suele procesarse a 220-230 C. El HBCD de calidad normal no es lo bastante estable a esas temperaturas y se favorece el uso de compuestos de bromo con mayor estabilidad térmica. Sin embargo, existen en el mercado versiones de HBCD estabilizado para usos a temperaturas más elevadas (Weil y Levchik, 2009).

56. La demanda de pirorretardante en textiles se observa principalmente en vestimenta de trabajo, tapicerías de edificios oficiales, moquetas de edificios oficiales y comerciales, transporte, vestimenta militar y ropa de cama. Se aplican normativas sobre la inflamabilidad de muebles tapizados en el Reino Unido (norma BS 5852) y el estado de California (Estados Unidos). En los Estados Unidos existe el requisito federal del ensayo de llama abierta para colchones fabricados o importados a partir del 1 de julio de 2007. Se desconoce si el HBCD se usa para esta aplicación, ya que hay muchos métodos alternativos para superar este requisito, incluso el uso de barreras bajo el terliz (Weil y Levchik, 2009).

57. Las normativas de seguridad contra incendios se explican con mayor detalle en KLIF (2011^a y b).

2.3. Información sobre alternativas (productos y procesos)

58. El Comité de Examen ha llegado a la conclusión de que el HBCD, debido a que se transporta a larga distancia en el medio ambiente, probablemente tenga efectos adversos importantes para la salud humana y el medio ambiente que justifican la adopción de medidas a nivel mundial (UNEP/POPS/POPRC.6/13/Add.2). A fin de reducir los riesgos para la salud humana y el medio ambiente, es preciso reducir al mínimo el uso del HBCD para diferentes aplicaciones. El objetivo o la meta de toda estrategia de reducción de los riesgos para el HBCD debería ser reducir y eliminar las emisiones y liberaciones teniendo en consideración la lista indicativa del anexo F, que incluye la viabilidad técnica de las posibles medidas de control y alternativas, los riesgos y beneficios de las sustancias y de su producción y uso continuados. Al examinar una estrategia para la reducción de esos riesgos, es importante tener en cuenta la disponibilidad de sustitutos en los sectores de interés. A este respecto, la sustitución del HBCD por otra alternativa química o no necesita tener presentes factores como los siguientes:

- Viabilidad técnica (si es práctico aplicar una tecnología alternativa que exista actualmente o que se prevea desarrollar en un futuro próximo)
- Costos, incluidos los costos ambientales y para la salud
- Riesgo (inocuidad de las alternativas)
- Disponibilidad y accesibilidad de sustitutos en los sectores de interés

59. Según la información presentada por las Partes y los observadores, en la actualidad existe la necesidad de que el aislamiento cumpla requisitos de eficiencia energética, específicamente los materiales aislantes pirorretardantes debido a requisitos específicos al respecto en algunos países. Sin embargo, los requisitos de seguridad no indican sustancias o grupo de sustancias pirorretardantes específicos que sea preciso utilizar, y la selección ha de realizarla el fabricante.

60. En el mercado hay alternativas técnicamente viables para la mayoría de las aplicaciones en que se usa el HBCD. En el corto plazo habrá alternativas químicas directas para la producción de poliestireno expandido y extruido en una etapa. Las alternativas incluyen la sustitución de pirorretardantes, la sustitución de resinas y materiales, y el cambio en el diseño de los productos. Algunas de esas alternativas son no halogenadas, y se las ha considerado mejores para el medio ambiente y la salud en las siguientes evaluaciones: ECHA, 2009; SWEREA, 2010; y KLIF, 2010 (cuadro 3). No obstante, pueden presentar otros riesgos, como otras sustancias perjudiciales o polvo, que es preciso tener en cuenta (LCSP, 2006; KLIF, 2011c).

61. Al examinar las alternativas químicas, cabe también establecer una distinción entre pirorretardantes aditivos y productos químicos con enlaces covalentes y menores posibilidades de liberación al medio ambiente. Es más, se debería tener en cuenta la inflamabilidad inherente de las resinas y materiales y, cuando sea posible, examinar la posibilidad de usar materiales aislantes no combustibles, así como técnicas de construcción alternativas.

62. Más adelante en el presente documento se examinan distintas estrategias junto con la disponibilidad y adecuación de alternativas al HBCD y una descripción general de alternativas técnicamente viables y comercialmente disponibles (cuadro 3). Algunas de las alternativas, por ejemplo el decaBDE, no están permitidas en todos los países. También se puede consultar información adicional en DEPA (2010), SWEREA (2010), KLIF (2011a) y KLIF (2011b).

Cuadro 3. Resumen de alternativas técnicamente viables y comercialmente disponibles al uso del HBCD (basado en SWEREA, 2010, e información presentada en virtud del anexo F).

Material	Aplicaciones	Alternativas químicas	Materiales alternativos y técnicas para el cambio de diseño de productos
Poliestireno expandido y poliestireno extruido	Aislamiento de cimientos, muros y techos Tarimas, aparcamientos, etc.	En la actualidad no hay disponibles comercialmente productos químicos sustitutivos directos para todos los procesos de producción y todas las regiones En el proceso de producción de poliestireno expandido en dos etapas, para el cual no se puede utilizar HBCD, se utiliza otro tipo de pirorretardante.	Poliestireno expandido y extruido sin pirorretardantes, con barreras térmicas Espumas de poliisocianurato, incluso espumas de uretano modificadas Espumas fenólicas Mantas (bandas o rollos de fibra) que pueden contener lana de roca, fibra de vidrio, celulosa o espuma de poliuretano Vidrio celular, vidrio espuma Bandas de poliéster Relleno a granel que puede contener lana de roca, fibra de vidrio, celulosa o espuma de poliuretano Sistemas de aislamiento reflectantes
Poliestireno de alto impacto	Carcasas de productos electrónicos Cableado	Deca-BDE tris(tribromoneopentil)fosfato /ATO TBBPA-DBPE/ATO 2,4,6-tris(2,4,6-tribromofenoxi)-1,3,5 triazina/ATO 1,2-bis(pentabromofenil)etano/ATO Etilenbis(tetrabromoftalimida)/ATO	Aleaciones de PPE/poliestireno de alto impacto o PC/ABS con tratamiento de fósforo con pirorretardantes
Revestimiento de textiles	Vestimenta de protección Moquetas Cortinas Tapicerías Tiendas de campaña Interiores en vehículos de transporte público (por ejemplo automóviles, trenes y aviones) Otros textiles técnicos	Deca-BDE, decabromodifenil etano, etilenbis(tetrabromoftalimida), parafinas cloradas, polifosfatos de amonio	Materiales no ignífugos por naturaleza: lana Fibras pirorretardantes por naturaleza: rayón, fibras de poliéster, fibra aramida y otros tejidos sintéticos Otros textiles con polifosfatos de amonio (APP) Textiles con sistemas intumescentes

2.3.1 Poliestireno expandido y extruido piroretardante

63. La mayor aplicación para el uso del HBCD es la producción de espuma aislante de poliestireno. El uso del HBCD en el poliestireno expandido y extruido podría eliminarse progresivamente mediante el empleo de un piroretardante alternativo, de materiales aislantes alternativos o de técnicas de construcción alternativas que logren el mismo nivel de seguridad contra incendios sin piroretardantes.

64. La primera consideración sería evitar el uso de HBCD y otros piroretardantes cuando no exista peligro de incendio. Estos usos incluyen la colocación de aislamiento entre dos superficies murales no combustibles, como piedra u hormigón, y cuando se instala aislamiento entre los cimientos de un edificio y el suelo. Estos cambios de diseño podrían ser aplicados por el fabricante del producto final (LCSP, 2006; KLIF, 2011c) y comercializarse con sujeción a los requisitos del código de edificación. Además, el poliestireno expandido y extruido piroretardante puede utilizarse, por ejemplo, en otras aplicaciones subterráneas, como protección contra la helada superficial del suelo o la construcción de carreteras, ferrocarriles o puentes sobre suelos de baja capacidad de carga. Actualmente este uso tiene lugar en la Unión Europea, los países escandinavos, los Estados Unidos, el Canadá, el Japón, Tailandia y Jamaica (EC, 2011; EPS, 2011). En Noruega se dejó de usar “geofoam” con poliestireno expandido en 2004 y desde entonces no se han producido incendios accidentales de poliestireno expandido (Aabye y Frydenlund, 2011). En el lugar de las obras la seguridad contra incendios se logra por medio de la vigilancia, las vallas y el uso cuidadoso de equipo de cortar y soldar, entre otras cosas.

Alternativas químicas directas al HBCD en aplicaciones de poliestireno expandido y extruido

65. Según la información presentada en virtud del anexo F, no existían alternativas químicas directas comercial o técnicamente viables para el HBCD como piroretardante en la producción de poliestireno extruido ni en los procesos más habituales de fabricación en una etapa de poliestireno expandido, que se usan al menos en Europa y generalmente en Norteamérica. En marzo de 2011 se anunció una alternativa al HBCD en el poliestireno expandido y extruido (Emerald 300). En el proceso de producción en una etapa, todos los aditivos se mezclan en la solución de estireno antes de la polimerización. En el proceso alternativo de dos etapas, las perlas se polimerizan en la primera etapa sin el aditivo piroretardante ni el pentano, que se añaden en la segunda etapa, en su caso. En el proceso de dos etapas, el piroretardante debe tener capacidad para penetrar en las perlas ya formadas. La penetración de HBCD en las perlas después de la polimerización no es suficiente, por lo que han de utilizarse otros piroretardantes.

66. Todos los fabricantes de poliestireno de Europa y la mayoría de Norteamérica utilizan el proceso de una etapa, para el cual actualmente no existe en el mercado ninguna alternativa al HBCD que cumpla los criterios técnicos (propiedades de la espuma, perfil ambiental) y de reacción al fuego (es decir, demora de la combustión y retraso de la propagación de las llamas durante los ensayos). Según el sector del HBCD, los polímeros puros de estireno como el poliestireno de alto impacto, el poliestireno expandido y el poliestireno extruido necesitan piroretardantes bromados para cumplir las normas de seguridad contra incendios deseadas. El sector del poliestireno está buscando alternativas al HBCD en cooperación con los productores de piroretardantes. También la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos está debatiendo con el sector nuevas alternativas al HBCD en las espumas de poliestireno, pero las conclusiones todavía no se han hecho públicas.

67. Como se mencionó *supra*, en marzo de 2011, Great Lakes Solutions anunció que impulsaría la producción de un copolímero bromado de estireno y butadieno de alto peso molecular piroretardante (Emerald™ 3000) adecuado para el poliestireno expandido y extruido, desarrollado por Dow Chemicals (DOW, 2011). Sin embargo, se prevé que el sector tarde varios años en pasar totalmente a esta tecnología. Según la evaluación de riesgos realizada por el sector, es persistente, pero no bioacumulativo ni tóxico. El Programa de Diseño para el Medio Ambiente de la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos realizará una evaluación de los peligros de las alternativas al HBCD utilizadas en el poliestireno expandido y extruido.

68. Dos instalaciones de producción en Norteamérica y posiblemente otras fuera de Europa, utilizan un proceso de dos etapas. No está claro lo que se utiliza actualmente en el proceso de “poliestireno expandido sin HBCD”, pero al menos en el pasado se utilizaron tetrabromociclooctano y dibromoetilidibromo-ciclohexano (LSCP, 2006). También hay inquietudes sobre las propiedades de esas sustancias para el medio ambiente o la salud.

69. El sector del poliestireno expandido en el Japón aspira a sustituir el HBCD en sus procesos de producción para finales de 2012 y también el sector de producción de poliestireno extruido se está

esforzando por reducir el uso del HBCD reexaminando el contenido en HBCD pero también la necesidad de esa sustancia en el producto (Japón, 2011).

Alternativas al uso de poliestireno expandido y extruido piroretardante

70. La espuma de poliestireno expandido y extruido piroretardante utilizada en el aislamiento de edificios también se puede sustituir por materiales aislantes alternativos que, según KLIF (2011b), pueden cumplir los mismos requisitos de aislamiento y seguridad contra incendios, además de ser resistentes a la humedad e igualmente rígidos o más flexibles que el poliestireno expandido o extruido piroretardante. Este enfoque se ha considerado más complejo que la mera sustitución del piroretardante porque tiene un efecto mayor sobre los costos y la reacción al fuego generales del producto (LCSP, 2006).

71. Las propiedades del poliestireno expandido lo hacen especialmente adecuado para el aislamiento de muros exteriores, techados planos, suelos y elementos sándwich. Se dispone de alternativas comerciales técnicamente viables para los usos principales del poliestireno expandido piroretardante en materiales aislantes comunes utilizados en todo el mundo. Los materiales alternativos incluyen espumas de poliisocianurato, espumas fenólicas, mantas aislantes, fibra de vidrio, vidrio celular, bandas de poliéster, lana de oveja y sistemas de aislamiento reflectantes, como hojas de metal, películas de plástico o papel (SWEREA, 2010), y también abarcan productos aislantes como espumas de poliuretano y aislantes de relleno a granel que se pueden verter, proyectar o inyectar en la estructura de los edificios durante la construcción. Sin embargo, en estos materiales también se pueden utilizar piroretardantes (como ácido bórico) con perfiles medio ambientales o de salud cuestionables. Los aislantes de relleno a granel constan de pequeñas partículas de fibra, espuma u otros materiales (US DOE, 2010) que forman un material de aislamiento que se puede adaptar a cualquier espacio sin alterar estructuras ni acabados. Esta capacidad de adaptación hace que sean muy adecuados para remodelaciones y para lugares donde es difícil instalar otros tipos de aislamiento. Los tipos más habituales de material usado para el aislamiento de relleno a granel incluyen celulosa, fibra de vidrio y lana mineral (de roca o escoria). Todos estos materiales se producen con materiales de desecho reciclados. La celulosa se obtiene principalmente de papel reciclado. La mayoría de las fibras de vidrio contienen entre un 20% y un 30% de vidrio reciclado. La lana mineral se suele producir con un 75% de contenido reciclado postindustrial. Los aislantes de relleno a granel también se pueden producir a partir de materiales como vermiculita o perlita. Las planchas aislantes de vidrio celular, perlita y fibra de madera se consideran tan viables técnicamente como el poliestireno expandido para todos los usos fundamentales, con excepción de los paneles sándwich. Los distintos materiales disponibles en el mercado tienen diferentes propiedades de aislamiento térmico y zonas de uso, y exigen sus propios métodos de instalación (US DOE, 2010; KLIF, 2011b). También varían en cuanto a las propiedades ignífugas, pero existen alternativas que pueden cumplir los mismos requisitos de seguridad contra incendios que el poliestireno expandido piroretardante, o incluso otros más estrictos (KLIF, 2011b, 2011c).

a) Las espumas de poliisocianurato incluyen espumas de uretano modificadas que utilizan piroretardantes químicos como fosfato de trismonocloropropilo (TMCPP, TCPP) y fosfato de tricloroetileno (TCEP). Existe una evaluación de los riesgos realizada en la Unión Europea (ECB, 2008) sobre el TMCPP, en la que se observa solamente el riesgo de exposición de trabajadores. En el proceso de fabricación del TCEP se utiliza óxido de etileno (un carcinógeno), y el TCEP parece ser un producto tóxico para la reproducción, se encuentra en el Ártico, lo que indica transporte a larga distancia, y es considerado como carcinógeno por la Oficina de evaluación de peligros para la salud medioambiental de California. Según LCSP (2006), debido a los piroretardantes clorados y bromados utilizados en la fabricación de productos aislantes con poliisocianurato, no se pueden considerar alternativas preferibles por sus efectos para la salud.

b) Las espumas fenólicas se usan en cubiertas de techados, planchas para cavidades, planchas para muros exteriores y aislamiento de suelos. Se usan principalmente para aglutinar fibra de vidrio en la fabricación de productos aislantes. Una inquietud sobre su empleo es que se puede usar formaldehído, un carcinógeno humano, para sintetizar los monómeros de las resinas fenólicas. El formaldehído está clasificado por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) como carcinógeno humano conocido (LCSP, 2006). Esto se ha de tener en cuenta en las instalaciones de producción, con el uso de las técnicas de control de emisiones disponibles y las restricciones de seguridad para proteger a los trabajadores. Según KLIF (2011c) también se pueden sintetizar los monómeros de las resinas fenólicas sin formaldehído, porque existen otras alternativas disponibles.

c) Las mantas aislantes son tanto una técnica alternativa como un material alternativo. Suelen estar compuestas de fibra de vidrio o lana de roca y se pueden colocar entre listones, viguetas y

vigas. Están disponibles en anchos adecuados a las distancias normalizadas entre los listones de los muros o las viguetas de los suelos. Los rollos continuos pueden cortarse a mano y ajustarse para adecuarlos a diversos espacios. Las mantas están disponibles con o sin revestimiento retardante de vapor. Existen bandas con un revestimiento piroretardante especial para cuando el aislamiento quede expuesto.

d) El vidrio celular y el vidrio espuma se pueden utilizar en algunas aplicaciones de aislamiento mediante poliestireno expandido o extruido, como en sistemas de cubierta caliente, aparcamientos, terrazas, fachadas ventiladas, aislamiento de interiores, aislamiento de suelos en entornos industriales y aislamiento de terrenos y perímetros. Tienen una estructura de células cerradas y están compuestos de vidrio reciclado sin aglutinantes. Existen en diversas densidades para diferentes cargas y no alimentan el fuego. También son impermeables.

e) La fibra de vidrio es una fibra vítrea sintética. El aislante de relleno a granel suele aplicarse por vertido o proyección con equipos especiales. Se puede usar para rellenar cavidades existentes en los muros y para zonas de forma irregular.

f) Los sistemas de aislamiento reflectantes incluyen hojas de metal, películas de plástico o papel que se colocan entre listones, viguetas y vigas, y se usan habitualmente para prevenir el flujo de calor desde el tejado. Los materiales suelen ser papel laminado con hojas de metal, burbujas de polietileno laminadas con hojas de metal, película plástica laminada con hojas de metal y cartón laminado con hojas de metal.

g) Otros materiales aislantes que se usan con frecuencia son bandas de poliéster y lana de oveja, que pueden colocarse entre listones, viguetas y vigas.

72. La fibra de vidrio, la lana de vidrio y la lana mineral son consideradas fibras vítreas sintéticas. También pueden tener efectos negativos para la salud en el lugar de trabajo. Cuando esas fibras permanecen suspendas en el aire pueden causar irritación de los ojos, la nariz, la garganta y partes de los pulmones. Los estudios en animales muestran que respirar repetidamente aire con fibras vítreas sintéticas puede provocar inflamación y fibrosis pulmonares (ATSDR, 2004). Los trabajadores de la construcción disponen de vestimenta y equipos protectores (mascarillas, gafas, guantes, etc.) y los usan para evitar irritaciones por el contacto con esas fibras. Esta protección solamente será de importancia en el entorno de trabajo, pues el material queda incorporado en el interior de los muros, cimientos y cubiertas de los edificios y construcciones, así como durante la demolición y remodelación. Además, la fibra de vidrio puede adoptar la forma de bandas con aglutinantes sintéticos, que pueden contener formaldehído fenólico, un producto químico peligroso que se libera lentamente del aislamiento durante muchos años en forma gaseosa.

73. La sustitución de HBCD para finalidades de construcción y edificación también puede beneficiarse del rediseño de los productos, es decir, de soluciones técnicas y cambios en las prácticas empleadas. Las planchas de poliestireno expandido no piroretardante se usan en diversos países en combinación con otros materiales de construcción que lo protegen de la combustión (KLIF, 2011a). Ejemplos de cambio en el diseño de los productos incluyen el uso de materiales que actúen como barrera contra las llamas y otras estrategias para separar del producto la fuente de calor y reducirla. Estos cambios de diseño podrían ser aplicados por el fabricante del producto final (LCSP, 2006). Utilizando barreras térmicas sería posible lograr la seguridad contra incendios sin el uso de poliestireno expandido o extruido piroretardante. Las barreras térmicas son revestimientos o coberturas ignífugas que separan el material aislante del interior del edificio. Por ejemplo, el material aislante puede colocarse entre dos superficies murales no combustibles, como piedra u hormigón, o entre los cimientos y la tierra (LCSP, 2006; KLIF, 2011c). La técnica puede usarse en construcciones tales como fachadas exteriores, losas del suelo o tejados planos (KLIF, 2011c). En los tejados, se coloca una barrera térmica entre el poliestireno expandido y la cubierta metálica. En aplicaciones donde el aislamiento está en contacto directo con la tierra no hay necesidad de espumas plásticas piroretardantes, dado que el poliestireno extruido suele colocarse entre las planchas de hormigón y la tierra, y el material está bien protegido contra la exposición a las llamas (KLIF, 2011c). Las barreras térmicas incluyen las siguientes: tableros de yeso, pasta de yeso o cemento, planchas de perlita, celulosa aplicada por proyección, uso de revestimientos de fibra mineral o yeso, y tipos especiales de contrachapados. Todos estos materiales se usan habitualmente en la construcción de edificios de viviendas y comerciales en la actualidad (LCSP, 2006; SWEREA, 2010).

74. Las barreras térmicas están sujetas a requisitos especificados en códigos de construcción nacionales (SWEREA, 2010) y actualmente se usan en Finlandia, Noruega, Suecia y España, donde los códigos de construcción establecen los requisitos nacionales de seguridad contra incendios. Al tiempo que tienen en cuenta también los aspectos técnicos y soluciones como el uso de barreras térmicas y la manera en que se aplica el aislamiento en la construcción de edificios, los códigos de

construcción de esos países especifican los productos aislantes que se pueden utilizar y para qué tipo de construcciones. Así, se puede lograr la protección contra incendios incluso cuando se usa poliestireno expandido o extruido no piroretardante. No obstante, cabe señalar que el uso de barreras térmicas puede no ser factible en todos los países a corto plazo debido a normas técnicas y códigos de construcción (SWEREA, 2010) y políticas. Además, la normativa de seguridad contra incendios en vigor en algunos países exige el uso de un piroretardante en el poliestireno expandido y extruido independientemente de su aplicación, para la seguridad durante el almacenamiento y transporte.

75. Los materiales y las técnicas de aislamiento alternativos pueden tener características diferentes que las del poliestireno extruido y el poliestireno expandido que los hacen más o menos apropiados para algunos usos específicos (como resistencia a la absorción de agua, resistencia a cargas mecánicas (alta resistencia a la compresión) e integridad estructural durante la vida útil) (ECHA, 2009; US DOE, 2010). Según la información presentada, existen materiales aislantes alternativos al poliestireno expandido y extruido disponibles para todos los usos, con excepción de algunos usos exigentes del poliestireno extruido en aplicaciones sensibles a la humedad o a la congelación/descongelación en Norteamérica (XPSA/CPIA, 2011). El uso de materiales o técnicas de aislamiento alternativos también puede incorporar distintas cuestiones ambientales, como un aumento del costo de energía durante el transporte, y conllevar su propio conjunto específico de riesgos para la salud o el medio ambiente que, en la mayoría de los casos, no se conocen demasiado bien. Si no se considera la liberación al entorno exterior, los efectos para la salud de cualquier material aislante dado son de importancia principalmente en el entorno de trabajo, ya que el material aislante se introduce en los muros, cimientos y tejados. La exposición a materiales aislantes alternativos durante la reparación, remodelación y demolición de edificios también se ha de tener en cuenta. Las propiedades para el medio ambiente y la salud de varios materiales alternativos se evaluaron en un reciente informe de Noruega, cuyas conclusiones fueron que las alternativas contenían sustancias químicas que eran menos problemáticas que el HBCD, ya que ninguna de ellas era halogenada, se había clasificado como PBT ni se había considerado contaminante orgánico persistente (KLIF, 2011c). Sin embargo, en el caso de las espumas rígidas de poliuretano, la mayoría de los productos químicos piroretardantes alternativos utilizados son sustancias halogenadas.

76. Además, la sustitución del aislamiento mediante poliestireno expandido o extruido por otros materiales puede influir en los costos generales y la reacción al fuego del producto, y hacer necesario un enfoque diferente durante la construcción y edificación. No obstante, las prácticas de construcción en vigor en Suecia y Noruega, donde la mayor parte del poliestireno expandido y extruido utilizado está exenta de HBCD, sugieren que la seguridad contra incendios de los materiales de construcción y edificios se puede obtener a un costo razonable sin el uso de HBCD y sin alterar en gran medida las técnicas tradicionales de construcción. Según un análisis de las alternativas al poliestireno expandido piroretardante realizado en Noruega, el cambio a materiales aislantes alternativos no ocasionaría una menor seguridad contra incendios y las alternativas, en general, podrían cumplir los mismos requisitos, u otros más estrictos, que el poliestireno expandido piroretardante. Las alternativas, como el poliestireno expandido no piroretardante en combinación con barreras térmicas, suelen ofrecer una mejor respuesta ante las llamas y resultar competitivas en relación con las propiedades aislantes y de resistencia a la humedad necesarias en la mayoría de las aplicaciones, tanto en climas fríos como templados (KLIF, 2011c). Según KLIF (2011c), el precio de las alternativas más económicas varía desde más o menos el mismo precio que el poliestireno expandido piroretardante hasta aproximadamente un 30% más.

2.3.2 Alternativas al HBCD en plástico de poliestireno de alto impacto

77. El HBCD no se usa ampliamente en el poliestireno de alto impacto y es razonable suponer que existen piroretardantes alternativos disponibles para esta aplicación (cuadro 3). Se utiliza principalmente en el poliestireno de alto impacto de categoría V-2 donde los piroretardantes bromados alifáticos son más eficientes que los aromáticos. El óxido de decabromodifenil (éter), es decir, deca-BDE, es el piroretardante de uso más extendido para el poliestireno de alto impacto debido a su reducido costo y elevado contenido en bromo (Weil y Levchik, 2009). También se usa en el aislamiento de cables para aparatos electrónicos. Sin embargo, quizá no sea recomendable para usar como sustituto del HBCD debido a inquietudes sobre sus efectos para la salud humana y el medio ambiente (Comisión Europea, 2002; US EPA, 2010) así como a la desbromación a compuestos como el pentaBDE y el octaBDE (UNEP/POPS/POPRC.6/2). En la Unión Europea, la aplicación de las directivas sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos y sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos eliminó gradualmente el uso del deca-BDE en esos productos. En los Estados Unidos, el sector retirará voluntariamente el deca-BDE en la mayoría de los usos para 2013. En Noruega, la fabricación, importación, exportación,

venta y uso de sustancias y preparados que contengan un 0,1% por peso o más de deca-BDE se prohibieron en 2004.

78. Otros productos químicos que se pueden utilizar como alternativas al HBCD en el poliestireno de alto impacto incluyen una variedad de pirorretardantes bromados utilizados junto con trióxido de antimonio (ATO). Entre ellos se incluyen los siguientes: Tris(tribromoneopentil)fosfato, Tetrabromobisfenol A-bis(2,3-dibromopropil éter) (TBBPA-DBPE); 2,4,6-tris(2,4,6-tribromofenoxi)-1,3,5 triazina; 1,2-bis(pentabromofenil)etano y Etilenbis(tetrabromoftalimida).

79. También existen materiales alternativos al poliestireno de alto impacto en el mercado, lo que deja de lado el problema de encontrar un sustituto químico al HBCD. Más concretamente, en los productos electrónicos este tipo de poliestireno se puede sustituir por varios materiales alternativos, como mezclas de policarbonato/acrilonitrilo butadieno estireno (PC/ABS), poliestireno/polifenil éter (PS/PPE) y polifenil éter/poliestireno de alto impacto (PPE/HIPS⁶) sin pirorretardantes o que usen pirorretardantes de fósforo no halogenados (Brasil, 2011; DEPA, 2010). Los compuestos organofosforados de arilo, resorcinol bis (bifenil fosfato), bis fenol A bis (bifenil fosfato), bifenil fosfato polimérico, difenil cresil fosfato y trifenil fosfato (KEMI, 2006) parecen requerir un coaditivo para evitar la migración del compuesto de fósforo a la superficie del poliestireno de alto impacto. En cargas más altas se exige el uso de las alternativas al fósforo para el poliestireno de alto impacto (ECHA, 2009). Las mezclas de copolímeros se usan ampliamente en equipos electrónicos con o sin pirorretardantes, tienen mayor resistencia al impacto y son de por sí más resistentes a la combustión porque forman una superficie de espuma de carbón aislante cuando se calientan (DEPA, 2010).

2.3.2 Alternativas al uso del HBCD en el revestimiento de textiles

80. El HBCD se utiliza como pirorretardante en el revestimiento posterior de textiles para muebles tapizados, tapizado de asientos de vehículos de transporte, cortinas, revestimientos murales, terliz para colchones y textiles de interior como persianas enrollables (LCSP, 2006; ECHA, 2009; SWEREA, 2010). La concentración típica de HBCD en aplicaciones textiles es elevada si se compara con otras aplicaciones, entre un 6% y un 15% en un polímero (CEFIC/EFRA, 2006, Comisión Europea, 2008). El HBCD es relativamente caro, por lo que se usa principalmente cuando las empresas consideran que es el único componente que cumple los requisitos de reacción al fuego (ECHA, 2008b).

81. El uso de pirorretardantes en textiles se puede evitar si el material en sí es ignífugo o de reducida inflamabilidad. Así, se pueden utilizar algunos materiales naturales, como la lana, como materiales de barrera en muebles (Noruega, 2011; SWEREA, 2010). Otros materiales pirorretardantes de por sí incluyen el rayón con un aditivo de fósforo, las fibras de poliéster y la fibra aramida (Weil y Levchik, 2009). También existen varios productos químicos que pueden servir como alternativas directas al HBCD en aplicaciones textiles. Para el revestimiento de textiles, las alternativas químicas al HBCD incluyen el deca-BDE, el decabromodifenil etano, el etilenbis (tetrabromoftalimida), las parafinas cloradas y los polifosfatos de amonio (ECHA, 2009; KLIF, 2011a). Las inquietudes sobre el deca-BDE se han descrito anteriormente. Las parafinas cloradas de cadena larga son productos tóxicos para la reproducción del ser humano, muestran toxicidad crónica con efectos en el hígado y los riñones, y son posibles carcinógenos (ECHA, 2009). Para diferentes grupos de textiles también es posible usar polifosfato de amonio (APP) en el revestimiento.

82. La seguridad contra incendios en textiles también se puede lograr con el uso de sistemas intumescentes (KLIF, 2010). La intumescencia es la formación de carbón espumado, que actúa como termoaislante. Un sistema intumescente suele ser una combinación de una fuente de carbono para generar carbón, un compuesto generador de ácido y un compuesto de descomposición para generar gases de inyectado y producir la espuma (Weil y Levchik, 2009). Esta espuma alcanza un espesor entre 10 y 100 veces superior a la capa aplicada originalmente y aísla el material de base gracias a su baja conductividad térmica, lo que hace eficientes a estos sistemas para reducir la flamabilidad y la exposición de gases de humos (KEMI, 2006). En el mercado existen desde hace unos 20 años varios sistemas intumescentes vinculados a aplicaciones textiles que han mostrado satisfactoriamente su excelente potencial. Entre los sistemas intumescentes figuran el uso de espumas expandibles impregnadas de grafito, tratamientos de superficie y tecnologías de barrera de materiales polímeros (SWEREA, 2010). Los sistemas intumescentes pueden no ser aplicables a los mismos conjuntos de textiles que los revestimientos basados en pirorretardantes bromados.

83. Según la información presentada por el Japón, en los tejidos para aplicaciones de automoción usados en los nuevos modelos de automóviles se ha sustituido el HBCD. Sin embargo, la oferta de

6 PPE/HIPS: aleación de polifenil éter y poliestireno de alto impacto.

tejidos que contienen HBCD continuará durante algún tiempo ya que se siguen utilizando en piezas de repuesto para modelos más antiguos (Japón, 2011).

2.4. Resumen de la información sobre los efectos para la sociedad de la aplicación de las posibles medidas de control

84. Dado que en el perfil de riesgo acordado por el Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes del Convenio de Estocolmo se mostraron las propiedades persistentes, bioacumulativas y tóxicas del HBCD, así como su potencial de transporte transfronterizo de largo alcance, se prevé un efecto positivo para el desarrollo sostenible mundial de la eliminación del HBCD. Si no se controlaran la producción, el uso y la gestión de desechos del HBCD, y se mantuvieran o aumentaran, probablemente continuarían elevándose los niveles en el medio ambiente, incluso en seres humanos y animales, y en ubicaciones alejadas de su producción y uso.

2.4.1. Salud, incluida la salud pública, ambiental y en el lugar de trabajo

85. Es importante mantener el nivel de seguridad contra incendios utilizando pirorretardantes, materiales o técnicas de construcción alternativos a fin de reducir al mínimo la pérdida de vidas, los daños a las personas y las propiedades, y las emisiones perjudiciales procedentes de incendios accidentales.

86. Se pueden prever efectos positivos para la salud humana y el medio ambiente de las medidas de control para la reducción o la eliminación del HBCD a escala mundial. En los seres humanos, el HBCD se encuentra en la sangre, el plasma, la leche materna y el tejido adiposo. Las principales fuentes de exposición conocidas actualmente son los alimentos contaminados y el polvo. La imposición de medidas de control probablemente garantizaría que disminuyan los niveles de HBCD en productos agrícolas como pescados de granja (y silvestres), leche y productos lácteos, y diversos productos cárnicos. A corto plazo, el efecto más positivo se prevé en entornos de interior, al reducirse o eliminarse por completo los niveles de HBCD en el polvo como consecuencia de una prohibición. Un resultado positivo de ello sería la menor exposición para los humanos mediante los alimentos y el polvo, especialmente para los niños que, según demuestran los estudios, ingieren más polvo que los adultos. También se reduciría la exposición de los trabajadores en plantas de producción de poliestireno expandido pirorretardante, así como de los trabajadores dedicados al reciclado de aparatos eléctricos y electrónicos en países en desarrollo (UNEP/POPS/POPRC.6/13/Add.2).

87. Si bien escasea bastante la información sobre la toxicidad del HBCD en los seres humanos, los embriones y los niños menores de un año se han destacado como grupos vulnerables que podrían estar expuestos a riesgos (UNEP/POPS/POPRC.6/13/Add.2; RAC, 2010), en especial debido a la toxicidad neuroendocrina y para el desarrollo del HBCD observada en estudios con animales. La eliminación progresiva o total del HBCD también sería especialmente beneficiosa para las poblaciones indígenas del Ártico, que dependen de alimentos nativos tradicionales y tienen un riesgo de exposición mucho mayor que otras comunidades. El especial riesgo que plantean los contaminantes orgánicos persistentes para los ecosistemas y las comunidades indígenas árticos se reconoce en el preámbulo del Convenio de Estocolmo.

88. La eliminación progresiva del HBCD en artículos y desechos es esencial para reducir la exposición del medio ambiente y la fauna y flora silvestre, la exposición humana por medio de los alimentos y el agua contaminados, y la exposición directa de los trabajadores por las operaciones de reciclado, o bien en los lugares de vertido de desechos, así como por la incineración al aire libre de desechos que contienen HBCD en países en desarrollo (Malarvannan y otros, 2009; Polder y otros, 2008; Tue y otros, 2010; Zhang y otros, 2009).

89. Los beneficios generales para la seguridad contra incendios de las normativas que exigen el uso de pirorretardantes han sido cuestionados por un grupo de científicos, ya que se plantea la hipótesis de que puedan aumentar la liberación de gases y hollín tóxicos, que son la causa de la mayoría de los fallecimientos y las lesiones provocadas por el fuego (EHP, 2010). La combustión de materiales que contienen HBCD u otros pirorretardantes halogenados durante incendios accidentales e incineración de desechos que los contengan puede aumentar la toxicidad de los productos gaseosos de la combustión al incrementar la liberación de monóxido de carbono, gases ácidos como bromuro de hidrógeno, y dioxinas y furanos bromados y clorados (Halogenated Flame Retardants, 2010). Así, la reducción general de los materiales pirorretardantes puede reducir el riesgo de problemas para la salud de la población y de los bomberos, si puede lograrse la seguridad contra incendios por otros medios.

2.4.2 Biota (biodiversidad)

90. La eliminación progresiva del HBCD es esencial para evitar un incremento de los niveles en la fauna y flora silvestre que ya está en riesgo. El HBCD se considera muy tóxico para organismos acuáticos. Existe el riesgo de efectos adversos en mamíferos marinos y peces en las cercanías de fuentes puntuales y en regiones con niveles de fondo elevados. Según la evaluación de los riesgos de la Unión Europea sobre el HBCD, los niveles de concentración medidos en la biota exceden la PNEC por efectos secundarios de 5 mg/kg de peso húmedo (Comisión Europea, 2008). Respecto de las aves de las regiones europeas donde se registran niveles de fondo elevados o de zonas cercanas a fuentes puntuales, se llegó a la conclusión de que los niveles rondan los umbrales de los efectos adversos. También causan preocupación datos preliminares que se obtuvieron recientemente de estudios de cernícalos americanos en cautiverio, según los cuales existen riesgos de que el HBCD repercute en la reproducción y el desarrollo, incluso en aves silvestres de regiones remotas (UNEP/POPS/POPRC.6/13/Add.2).

2.4.3 Aspectos económicos, incluidos los costos y beneficios para los productores y los consumidores, y la distribución de los costos y beneficios

91. Existen materiales y técnicas alternativas económicamente viables para muchas aplicaciones en las que se utiliza el HBCD. El poliestireno expandido y extruido sin pirorretardantes se puede usar en numerosas aplicaciones y no supone un costo mayor para el fabricante. Los productores recomiendan que las planchas aislantes de poliestireno expandido y extruido se recubran con otros materiales en los edificios y construcciones para mejorar las propiedades aislantes y térmicas, junto con la resistencia a las llamas, aunque sean pirorretardantes (KLIF, 2011c; EUMEPS, 2011b). El mercado de Escandinavia está dominado por planchas de poliestireno sin pirorretardantes. Esto se ha logrado gracias a normativas de seguridad contra incendios que no exigen el tratamiento con pirorretardantes y a la obtención del mismo nivel de protección por otros medios y dependiente de los pirorretardantes en menor medida (SWEREA, 2010).

92. El costo de la eliminación progresiva del HBCD será reducido para las regiones en las que se ha ido reduciendo en gran medida o no se utilizaba mucho (por ejemplo, Escandinavia y la mayoría los países en desarrollo, según los datos de uso y las presentaciones en virtud del anexo F). En otras regiones, los efectos dependerán de si se dispone de pirorretardantes alternativos cuando se elimine el HBCD. Habrá mayores consecuencias en los mercados donde la producción y el uso de planchas aislantes de poliestireno expandido pirorretardantes con HBCD es importante (especialmente Europa). Como en la actualidad no hay pirorretardantes químicos alternativos para el poliestireno expandido y extruido, la eliminación del HBCD sin un período de transición progresiva afectará la producción de poliestireno expandido y extruido pirorretardante en todas las regiones. Sin embargo, existen gran número de materiales y diseños alternativos para el poliestireno expandido y extruido (cuadro 3). En conclusión, las consecuencias en relación con los costos para los productores se consideran de bajas a moderadas y el cambio a otros pirorretardantes, materiales alternativos y otras soluciones de diseño servirá de estímulo para algunos productores (KLIF, 2010).

93. El costo de la eliminación progresiva del uso del HBCD debería ser limitado para la mayoría de los países en desarrollo, ya que la mayor parte tiene lugar en Europa, los Estados Unidos y China. La prohibición del HBCD en ausencia de una alternativa química directa podría tener consecuencias negativas para el sector del poliestireno expandido y extruido en Europa y para la mano de obra del mismo (PlasticsEurope/Exiba, 2011). Los posibles problemas incluyen cambios en el suministro de estireno y cuestiones relacionadas con la competitividad de las pequeñas y medianas empresas. En los Estados Unidos y el Canadá, la prohibición del HBCD ocasionaría dificultades para al menos una aplicación en la cual el poliestireno extruido pirorretardante es el único producto recomendado y aceptado por los códigos de construcción (XPSA/CPIA, 2011). Es probable que pronto se disponga comercialmente y comiencen a utilizarse sustitutos químicos directos para el HBCD en el poliestireno expandido y extruido (DOW, 2011; BASF, 2011).

94. En varios países el uso del poliestireno expandido y extruido sin pirorretardantes precisaría ajustes en las políticas y cambios en la aplicación de las normas de seguridad contra incendios. Se tardaría cierto tiempo, pero los costos se pueden considerar moderados. En la Unión Europea ya hay iniciativas encaminadas a armonizar las normas de regulación de la seguridad contra incendios y el HBCD está incluido en la lista indicativa de sustancias peligrosas cuyo uso se debe evitar en la protección contra incendios de edificios y construcciones. Esto debería impulsar también de manera importante el cambio en la normativa de protección contra incendios (KLIF, 2010a).

95. En relación con los sustitutos químicos directos, se han de tener en cuenta dos tipos principales de costos para el cambio de un pirorretardante a otro (SWEREA, 2010):

a) El costo del cambio, que es el costo de la reformulación o, en otras palabras, de la labor de desarrollo o cambio de equipos. Las instalaciones de fabricación y procesamiento necesitarán invertir en nuevos equipos para utilizar pirorretardantes alternativos. Este costo es difícil de estimar y suele incluir el costo de las actividades de investigación y desarrollo que no lograron resultados positivos para encontrar una alternativa eficiente. Se trata de un costo generado al principio de la vida útil de los productos.

b) Los gastos de explotación, que reflejan el precio del material pirorretardante (materia prima). Además, los costos de explotación diarios pueden ser distintos para las nuevas fases del proceso necesarias a fin de fabricar otros productos químicos pirorretardantes. Con objeto de garantizar la viabilidad económica, los pirorretardantes han de ser fáciles de procesar y eficaces en relación con el costo para las condiciones de fabricación de gran volumen que sean necesarias. Los costos de fabricación dependen mucho del precio de las materias primas, pero el grado de dependencia varía de un pirorretardante a otro.

96. En ausencia de normas actualizadas de seguridad contra incendios (por ejemplo, basadas en la reacción al fuego) y de técnicas que no requieran añadir pirorretardantes químicos, el sector de la espuma de poliestireno puede necesitar tiempo para adaptarse a las nuevas alternativas. Por tanto, una exención durante un tiempo limitado para el uso del HBCD en la espuma de poliestireno reduciría las consecuencias económicas. No obstante, las presiones de los consumidores y las legislaciones nacionales ya están obligando al sector a cambiar a pirorretardantes menos peligrosos (SWEREA, 2010).

97. Con arreglo a las disposiciones del artículo 6 1) d) ii), los productos que contengan HBCD (poliestireno expandido, poliestireno extruido, poliestireno de alto impacto, textiles) deberían eliminarse de un modo tal que el contenido del contaminante orgánico persistente se destruya o se transforme en forma irreversible de manera que no presenten las características de contaminante orgánico persistente o, de no ser así, en forma ambientalmente racional. La gestión y la eliminación de desechos especializadas en relación con el HBCD (edificios y artículos) podrían ser costosas para los países en desarrollo que dominan el consumo mundial de HBCD. La cantidad de desechos que se necesite gestionar dependerá del tiempo que se tarde en eliminar progresivamente el HBCD. En la Unión Europea se estima que se han consumido en torno a 170.000 toneladas de HBCD entre 1988 y 2010, y para 2017 (teniendo en cuenta todas las aplicaciones utilizadas) se estima alcanzar un total de 23 millones de toneladas de desechos que contienen HBCD⁷. De esa cantidad, para 2010 se han eliminado menos de un millón de toneladas de desechos y se prevé que, para 2050, en la Unión Europea habrá que eliminar más de 5.000 toneladas anuales de HBCD procedentes del sector de la construcción y la demolición (Comisión Europea, 2011). A la velocidad actual de uso, cada año se incorporan 10.431 toneladas de HBCD en nuevos productos pirorretardantes en la Unión Europea y al menos 28.000 toneladas en todo el mundo, que en el futuro se transformarán en desechos. De conformidad con las presentaciones en virtud del anexo F, los países en desarrollo tienen poco más que información general sobre las cantidades y las aplicaciones de HBCD importadas en artículos.

98. En la producción de HBCD para posibles exenciones específicas y su uso en ellas podrían ser necesarias medidas de reducción de emisiones y la utilización de mejores prácticas con objeto de reducir las liberaciones de HBCD al medio ambiente conexas. Los costos de los programas de reducción de las emisiones iniciados por los fabricantes europeos de HBCD y poliestireno dependen enormemente de las operaciones de las empresas (BSEF, 2011).

99. Para el revestimiento de textiles y el poliestireno de alto impacto ya se utilizan varias alternativas, lo que hace suponer que son económicamente viables. Sin embargo, el sector del HBCD ha cuestionado la viabilidad económica de los sistemas intumescentes. Para la Unión Europea, los costos incrementales totales en el nivel de producción para sustituir el HBCD en el poliestireno de alto impacto en todo el espacio económico europeo se han calculado entre 1 y 10 millones de euros por año si el HBCD se sustituye por otros pirorretardantes bromados, y entre 5 y 25 millones de euros por año si el poliestireno de alto impacto/HBCD se sustituye por copolímeros con pirorretardantes no halogenados. Los costos podrían reducirse con el transcurso de los años como resultado de un mayor mercado para las alternativas (DEPA, 2010).

100. En la incineración controlada de desechos, las medidas de control y la aplicación de las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales para evitar otros subproductos

⁷ La estimación se basa en la hipótesis de que el consumo se reducirá de manera continuada a partir de 2013 y hasta 2017, en que será igual a cero.

también reducen las emisiones de subproductos del HBCD y las dioxinas y furanos bromados. No hay costos adicionales para el sector.

101. El pescado, especialmente el pescado azul carnívoro situado en la parte final de la cadena alimentaria, es una fuente importante de exposición humana (Polder y otros, 2008; Thomsen y otros, 2003). De todas las muestras de alimentos, las mayores concentraciones de HBCD (hasta 9,4 ng/g de peso húmedo) se han registrado en el pescado (Knutsen y otros, 2008; Remberger y otros, 2004; Allchin y Morris, 2003). La eliminación progresiva del HBCD tendría así consecuencias positivas para la pesca y la acuicultura, y además redundaría en un beneficio general para los consumidores. La pesca y la acuicultura constituyen un sector importante en todo el mundo y la contaminación del pescado puede causarle perjuicios económicos.

2.4.4 Avance hacia el desarrollo sostenible

102. El control de los riesgos que plantean los productos químicos es una parte importante de la labor de avance hacia una sociedad sostenible. Un mayor conocimiento del fuego permite tomar mejores decisiones a fin de garantizar un nivel elevado de protección contra incendios así como contra sustancias peligrosas (KEMI, 2006). El cambio hacia el uso de pirorretardantes ambientalmente más racionales o alternativas no químicas (materiales alternativos o nuevo diseño de los productos) es un enfoque más sostenible, ya que causa menos peligro para la salud y el medio ambiente. También representa un menor costo para la sociedad a más largo plazo y el desarrollo de una economía ecológica, al evitar los costos asociados con los productos químicos peligrosos (costo de la gestión de residuos, problemas de salud, costos de rehabilitación de lugares contaminados, etc.) y estimular los sectores industriales de producción y uso sostenibles. Existen iniciativas conjuntas de las autoridades y el sector para avanzar hacia un uso más sostenible de los pirorretardantes. Green Flame™ es un sistema voluntario para evaluar simultáneamente los productos en relación con su calidad para el medio ambiente y la salud, en caso de incendio (www.sp.se/en/index/services/greenflame). Está abierto a todo tipo de productos distintos y creará incentivos para los fabricantes que diseñan productos con mejores resultados que los exigidos por las normas aplicables. La intención es que el sistema Green Flame™ ofrezca ventajas competitivas a las empresas que posean la competencia y la decisión para desarrollar productos de consumo que supongan mejoras importantes en materia de seguridad contra incendios y calidad del medio ambiente.

2.5. Otras consideraciones

103. La Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos ha organizado una asociación de colaboración entre múltiples interesados para analizar los perfiles ambiental y para la salud humana de alternativas probables y más seguras al HBCD. Además, el Sistema integrado de información sobre riesgos (IRIS) de esa Agencia está elaborando actualmente un examen toxicológico del HBCD.

<http://www.epa.gov/dfe/pubs/projects/hbcd/index.htm>

<http://www.epa.gov/iris/index.html>

104. La Comisión Europea ha financiado un proyecto en el cual se hace un estudio de casos prototipo sobre opciones para la sustitución de pirorretardantes bromados concretos. Aunque el HBCD no está incluido, el proyecto tiene la finalidad de ofrecer un conjunto de datos completo sobre la viabilidad de la producción y aplicación, la seguridad para el medio ambiente y una evaluación sobre la vida útil de los pirorretardantes alternativos.

<http://www.enfiro.com/index.html>

105. Las medidas voluntarias del sector encaminadas a reducir las emisiones de HBCD en Europa se describen en: <http://www.bsef.com/our-substances/hbcd/voluntary-emissions-reduction-programme-vecap-and-secure> <http://www.vecap.info/>

106. Estudio sobre la vigilancia en Europa del pirorretardante bromado HBCD en peces, huevos de aves y partículas en suspensión (SPM) entre 2007 y 2016 por un equipo del Instituto Fraunhofer de biología molecular y ecología aplicada de la Universidad de Tréveris y la Universidad Libre de Berlín. El proyecto está patrocinado por el Industry Working Group for HBCD, un grupo sectorial del Consejo Europeo de la Industria Química (CEFIC):

http://www.ime.fraunhofer.de/fhg/Images/summary_environmental_HBCD_monitoring_in_European_fish_new_tcm279-177322.pdf

107. Se dispone de información sobre la vigilancia del HBCD procedente de Europa, Norteamérica y Asia. Para hacer un seguimiento de la eficacia de las medidas posibles, el HBCD debería añadirse a las actividades en curso de vigilancia de los contaminantes orgánicos persistentes.

3. Síntesis de la información

3.1 Síntesis de la información sobre el perfil de riesgo

108. El piroretardante bromado hexabromociclododecano (HBCD) disponible comercialmente es lipofílico y tiene una alta afinidad por las partículas y baja solubilidad en agua. Según el fabricante y el método de producción empleado, el HBCD de calidad técnica está compuesto por entre un 70% y un 95% de γ -HBCD y entre un 3% y un 30% de α -HBCD y β -HBCD.

109. En la biota, se ha observado que el HBCD se bioconcentra, bioacumula y biomagnifica en los niveles superiores de la cadena trófica. Se han detectado concentraciones elevadas en Europa y el Japón, así como en aguas costeras del sur de China, cerca de instalaciones de producción de HBCD, instalaciones de fabricación de productos que contienen HBCD y centros de eliminación de desechos, incluidos los que realizan procesos de reciclado, vertido o incineración.

110. El HBCD es persistente en la atmósfera y se transporta a larga distancia. Se ha observado su presencia generalizada en regiones remotas como el Ártico, donde las concentraciones en la atmósfera y en los principales predadores son elevadas.

111. Existe el riesgo de efectos adversos en mamíferos marinos y peces en las cercanías de fuentes puntuales y en regiones con niveles de fondo elevados. Según la evaluación de los riesgos de la Unión Europea sobre el HBCD, los niveles de concentración medidos en la biota exceden la PNEC por efectos secundarios de 5 mg/kg de peso húmedo (Comisión Europea, 2008). Respecto de las aves de las regiones europeas donde se registran niveles de fondo elevados o de zonas cercanas a fuentes puntuales, se llegó a la conclusión de que los niveles rondan los umbrales de los efectos adversos.

112. Los datos obtenidos de estudios de laboratorio sobre la codorniz japonesa y el cernícalo americano indican que el HBCD, en dosis importantes desde el punto de vista del medio ambiente, podría causar la reducción del espesor de la cáscara del huevo, de la producción de huevos, de la calidad de los huevos y de la aptitud de las crías. El HBCD también es muy tóxico para los organismos acuáticos. Diversos estudios han demostrado que afecta la reproducción, el desarrollo y el comportamiento de los mamíferos. Entre los avances recientes en el estudio de la toxicidad inducida por el HBCD cabe mencionar la mayor comprensión del potencial del HBCD de interferir con el eje hipotalámico hipofisario tiroideo (HHT), su posible capacidad de alterar el desarrollo normal y de afectar al sistema nervioso central.

113. Los estudios disponibles demuestran que el HBCD se absorbe rápidamente en el aparato digestivo de los roedores. En los seres humanos, el HBCD se encuentra en la sangre, el plasma y el tejido adiposo. Según los datos sobre la leche materna humana recabados entre los decenios de 1970 y 2000, los niveles de HBCD han aumentado en ese período. Los niveles de HBCD en la leche materna humana parecen reflejar el consumo de HBCD en el mercado.

3.2 Síntesis de la información sobre la evaluación de la gestión de los riesgos

114. El HBCD se produce en China, los Estados Unidos de América, Europa y el Japón. La producción conocida en la actualidad es de aproximadamente 28.000 toneladas anuales. La mayor parte del volumen de mercado se utiliza en Europa y China.

115. El HBCD está en el mercado mundial desde el decenio de 1960. Se usa como aditivo piroretardante, a fin de demorar la combustión y retrasar la propagación de las llamas subsiguientes en vehículos, edificios o artículos durante su vida útil y almacenamiento. Los usos principales del HBCD en todo el mundo son la espuma de poliestireno expandido y extruido piroretardante en el aislamiento y la construcción, mientras que el uso en aplicaciones textiles y aparatos eléctricos y electrónicos (poliestireno de alto impacto) se da en menor escala. En los textiles, el HBCD se utiliza para el revestimiento en tapizados de muebles y otros textiles de interior, incluso en aplicaciones de automoción.

116. Muchos países ya han limitado el HBCD o están evaluando sus riesgos. Ya existen varios piroretardantes alternativos para sustituir el HBCD en el poliestireno de alto impacto y el revestimiento de textiles. En 2011 se anunció una alternativa química al poliestireno expandido y extruido denominada Emerald 300, cuya producción comercial está prevista para 2012. Sin embargo, previsiblemente se necesitarán varios años para que todo el sector se convierta al uso de un piroretardante alternativo, dada la necesidad de optimizar los procesos de producción y los productos, así como de obtener nuevas certificaciones para productos en ese amplio sector.

117. En algunos países se necesita contar con materiales aislantes pirorretardantes debido a los requisitos nacionales de seguridad contra incendios. En otros países, el HBCD ya se ha eliminado eficazmente. En esos países, las normativas de seguridad contra incendios no exigen el tratamiento con pirorretardantes y se puede alcanzar el mismo nivel de seguridad con otras alternativas, que son técnicamente viables y también están disponibles en el mercado.

118. En el mercado hay alternativas técnicamente viables para los distintos materiales en los que se usa el HBCD. Las alternativas incluyen la sustitución de pirorretardantes, la sustitución de resinas y materiales, y el cambio en el diseño de los productos.

119. El HBCD se puede liberar a la atmósfera, el agua, la tierra y los sedimentos durante todas las etapas de su vida útil: producción y fabricación, procesamiento, transporte, uso, manejo, almacenamiento y como consecuencia del desecho de la sustancia o de productos que la contienen. La liberación puede proceder de fuentes puntuales o de emisiones difusas por el uso del producto manufacturado. Se ha estimado que en la Unión Europea las liberaciones de HBCD al medio ambiente durante la fabricación y formulación y procedentes de los productos durante su uso final son reducidas. Las liberaciones durante el uso final a las aguas residuales y superficiales se deben principalmente a los revestimientos textiles. Sin embargo, las estimaciones de las liberaciones durante el uso por los consumidores son muy inciertas.

120. Los desechos que contienen HBCD son preocupantes porque el aumento continuo de esos desechos depositados en vertederos y otros lugares podrían ser una fuente de emisiones de HBCD al medio ambiente a largo plazo. Si se incluyera en el Convenio, las existencias y los desechos que contengan HBCD estarían sujetas a las disposiciones del artículo 6 y deberían gestionarse de forma ambientalmente racional. Los desechos de HBCD incluyen residuos de producción, de planchas aislantes, de construcción y renovación y de otras aplicaciones menos usadas, como los productos eléctricos y electrónicos y los textiles. El proceso de remodelación y demolición de edificios da origen a la inquietud de que los materiales de construcción instalados que contengan HBCD continuarán provocando emisiones en el futuro, a menos que sean gestionados adecuadamente por generaciones posteriores. La cantidad de material que se transforme en desechos en años venideros aumentará debido al uso ininterrumpido de HBCD en el presente.

121. Habitualmente, los productos y artículos que contienen HBCD se reciclan cuando se desechan. Esto puede dar lugar a contaminación por HBCD de productos que serán difíciles de detectar. En los países en desarrollo, los aparatos eléctricos y electrónicos que contienen HBCD y otras sustancias tóxicas se reciclan con frecuencia en condiciones que provocan una liberación relativamente alta de HBCD al medio ambiente, la contaminación de los lugares (Zhang y otros, 2009) y la exposición de los trabajadores (Tue y otros, 2010). La incineración y los vertederos a cielo abierto son destinos habituales de artículos y desechos electrónicos que contienen HBCD (Malarvannan y otros, 2009; Polder y otros, 2008).

122. La incineración controlada es un método para eliminar los desechos que contienen HBCD. En el caso de fuegos no controlados (incendios accidentales) y de co-combustión a temperaturas más bajas o en incineradores que no funcionen adecuadamente, existe el riesgo de formación de dibenzodioxinas polibromadas (PBDD) y dibenzofuranos polibromados (PBDF) (ECHA, 2009). Actualmente en muchos países los vertederos son el método más habitual de eliminación de desechos, lo que provoca la acumulación en ellos de residuos que contienen HBCD.

3.3 Medidas sugeridas para la gestión de los riesgos

123. La medida de control sugerida es la inclusión del HBCD en el Convenio. Con objeto de permitir ciertos usos críticos del HBCD durante un período limitado, podría otorgarse una exención específica para el uso del HBCD en el poliestireno expandido y extruido, junto con una descripción de las condiciones de producción y esos usos. Esa inclusión efectivamente pondría fin al uso de HBCD como pirorretardante en aplicaciones textiles de emisiones elevadas y en poliestireno de alto impacto, para las cuales hay una amplia disponibilidad de alternativas, y en el poliestireno expandido o extruido cuando se incorporen productos químicos sucedáneos de uso inmediato. Claramente se necesita tiempo de ensayos, validación, calificación, ajustes de la capacidad de producción y comercialización para el sucedáneo químico del poliestireno expandido o extruido pirorretardante a fin de permitir una transición sin problemas. Por consiguiente, llevará varios años hasta que haya un volumen suficiente de alternativas al HBCD comercialmente viables para satisfacer las necesidades del mercado.

124. La inclusión del HBCD en el Convenio sería coherente con las propiedades de contaminante orgánico persistente de esta sustancia de producción intencional y enviaría una indicación clara de que la producción y el uso del HBCD se han de eliminar progresivamente. Esa inclusión podrá tener

consecuencias para los países en vista de la continuación del uso cuando se han de incorporar progresivamente sustancias o métodos alternativos. .

125. Las existencias y los desechos que contienen HBCD estarían sujetos a lo dispuesto en el artículo 6.

4. Conclusiones

126. Habiendo decidido que, como consecuencia de su transporte ambiental de largo alcance, es probable que el hexabromociclododecano (HBCD) tenga efectos adversos importantes para la salud humana y el medio ambiente de modo que se justifica la adopción de medidas a nivel mundial;

127. Habiendo preparado una evaluación de la gestión de los riesgos y examinado las opciones de gestión;

128. De conformidad con el párrafo 9 del artículo 8 del Convenio, el Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes recomienda que la Conferencia de las Partes en el Convenio de Estocolmo examine la posibilidad de incluir el hexabromociclododecano⁸ en el Convenio de Estocolmo y especificar las medidas de control conexas.

⁸ Por "hexabromociclododecano" se entiende hexabromociclododecano (número CAS: 25637-99-4), 1,2,5,6,9,10-hexabromociclododecano (número CAS: 3194-55-6) y sus diastereómeros principales: alfa-hexabromociclododecano (número CAS: 134237-50-6); beta-hexabromociclododecano (número CAS: 134237-51-7); y gama-hexabromociclododecano (número CAS: 134237-52-8).

Referencias

Los formularios para presentar la información especificada en el anexo F del Convenio de Estocolmo, con arreglo al artículo 8 del Convenio, se pueden consultar en el sitio web: www.pops.int/poprc

Alemania 2011. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, enero de 2011.

Brasil 2011. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, enero de 2011.

Burundi 2011. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, enero de 2011.

Canadá 2011. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, enero de 2011.

China 2011. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, enero de 2011.

Colombia 2011. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, marzo de 2011.

Costa Rica 2011. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, enero de 2011.

Ecuador 2011. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, enero de 2011.

Finlandia 2011. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, enero de 2011.

Japón 2011. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, marzo de 2011.

Mauricio 2011. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, enero de 2011.

Nigeria 2011. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, enero de 2011.

Noruega 2011. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, enero de 2011.

República Checa 2011. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, enero de 2011.

Rumania 2011. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, enero de 2011.

Suecia 2011. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, enero de 2011.

[BSEF] 2011. Bromine Science and Environmental Forum (BSEF). Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, enero de 2011.

PlasticsEurope/Exiba 2011. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, enero de 2011.

Instituto do Meio Ambiente (IMA) Brasil 2011. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, enero de 2011.

[XPSA/CPIA] Extruded Polystyrene Foam Association (XPSA) and Canadian Plastics Industry Association (CPIA). Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, enero de 2011.

[IPEN] International POPs Elimination Network 2011. Format for submitting pursuant to Article 8 of the Stockholm Convention the information specified in Annex F of the Convention, enero de 2011.

Otras referencias:

- [Aabye, R, Frydenlund, T.E.] 40 years of experience with the use of EPS Geofoam blocks in road construction. Presentation by Norwegian Public Road Administration and Geo Con at 4th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications. Lillestrøm, 6–8 June 2011.
- Abdallah MA, Harrad S. Personal exposure to HBCDs and its degradation products via ingestion of indoor dust. *Environ Int.* 2009;35(6):870-6.
- Abdallah MA, Harrad S, Covaci A. Hexabromocyclododecanes and tetrabromobisphenol- A in indoor air and dust in Birmingham, U.K: implications for human exposure. *Environ Sci Technol.* 2008a;42(18):6855-61.
- Abdallah MAE, Harrad S, Ibarra C, Diamond M, Melymuk L, Robson M, Covaci A. Hexabromocyclododecanes in indoor dust from Canada, the United Kingdom, and the United States. *Environ Sci Technol.* 2008b;42(2):459-64
- Allchin CR, Morris S. Hexabromocyclododecane (HBCD) diastereoisomers and brominated diphenyl ether congener (BDE) residues in edible fish from the rivers Skerne and Tees, U.K. *Organohalogen Compd.* 2003, 61, 41-44.
- [APME] Association of Plastics Manufacturers in Europe (APME), European Extruded Polystyrene Insulation Board Association (Exiba), European Isocyanate Producers Association (Isopa) (no date). Co-combustion of Building Insulation Foams with Municipal Solid Waste. Summary report. Authors: Vehlow, J., Mark, F.E. 4 p.
- [ATSDR] Agency for Toxic Substances and Disease Registry 2004. Synthetic vitreous fibers. Division of Toxicology ToxFAQs. <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts161.pdf>
- [BASF] 2011. BASF supports new polymeric flame retardant. Press release 5 April 2011. 3 p. <http://www.basf.com/group/pressrelease/P-11-230>
- [BFR] 2010. Brominated Flame Retardants in Products: Results of the Swiss Market Survey 2008. Authors: Bantelmann, E., Ammann, A., Näf, U., Tremp, J. Abstract at BFR 2010 conference. 4 p.
- [BFRIP] Brominated Flame Retardant Industry Panel 2005. HPV Data Summary and Test Plan for Hexabromocyclododecane (HBCD). CAS No.3194556. <http://www.epa.gov/hpv/pubs/summaries/cyclodod/c13459rt.pdf>
- [BSEF] Bromine Science and Environmental Forum. About Hexabromocyclododecane (HBCD). 2006. <http://www.bsef.com/our-substances/hbcd/about-hbcd/> (consultado en enero de 2008).
- [BSEF] Bromine Science and Environmental Forum. About Hexabromocyclododecane (HBCD). 2010. <http://www.bsef.com/our-substances/hbcd/about-hbcd/> (consultado en junio de 2010).
- [BUWAL] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft 2004. Bromierte Flammschutzmittel in Kunststoffprodukten des Schweizer Marktes. Authors: Kuhn, E., Arnet, R., Känzig, A. and Frey, T. 53 p.
- [CEFIC/EFRA] European Chemical Industry Council. European Flame Retardants Association 2006. Flame Retardants Fact Sheet. Hexabromocyclododecane (HBCD). 3 p. <http://www.cefic-efra.com/Objects/2/Files/HBCDFactsheet.pdf>
- [CEFIC/EFRA] European Chemical Industry Council. European Flame Retardants Association. Flame Retardants Fact Sheet. Ammonium Polyphosphate (APP). 4 p. <http://www.cefic-efra.com/Objects/2/Files/APPFactSheet.pdf>
- [Comisión Europea] European Commission 2002. Risk Assessment Report Volume 17 Bis(Pentabromophenyl)Ether CAS No: 1163-19-5 Eines No: 214-604-9 Luxembourg Office for Official Publications of the European Communities. 294 p. http://esis.jrc.ec.europa.eu/doc/existing-chemicals/risk_assessment/REPORT/decabromodiphenyletherreport013.pdf

- [Comisión Europea] European Commission. Risk assessment hexabromocyclododecane, CAS-No.: 25637-99-4, EINECS No.: 247-148-4, Final Report May 2008. 492 pp.
http://ecb.jrc.ec.europa.eu/documents/Existing-Chemicals/RISK_ASSESSMENT/REPORT/hbccdreport044.pdf
- [Comisión Europea] European Commission. Study on waste related issues of newly listed POPs and candidate POPs. FINAL REPORT 25 March 2011 (Update 13 April 2011). 841 p.
http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/POP_Waste_2011.pdf
- [DEPA] Danish Environmental Protection Agency 2010. Inclusion of HBCDD, DEHP, BBP, DBP and additive use of TBBPA in annex IV of the Commission's recast proposal of the RoHS Directive, COWI A/S. Danish Ministry of Environment, Environmental Project No. 13172010. Authors Maag J, Brandt K, Mikkelsen S, Lassen C. 87 p.
- [DIOXIN] 2010a. PBDEs and their replacements: Does the benefit justify the harm? Dioxin 2010, 1-6. Authors: Blum, A., Shaw, S. & Birnbaum, L.
- [DIOXIN] 2010b. PBDE, HBCD and other non-PBDE flame retardants in car dust sampled in the Czech Republic in 2009. Dioxin 2010. Authors: Stavelova M, Kalachova K, Pulkrabova J, Hradkova P, Kovar M, Demnerova K, Hajslova J.
- Desmet K, Schelfaut M, Sandra P. 2005. Determination of bromophenols as dioxin precursors in combustion gases of fire retarded extruded polystyrene by sorptive sampling-capillary gas chromatography-mass spectrometry. J Chromatogr., A 1071(1 2):125–129.
- [DOW] DOW Chemicals 2011. Dow Announces Development of a New Polymeric Flame Retardant Technology for Polystyrene Foam Building Insulation Products. Press release 29 March, 2011.
<http://www.dow.com/news/corporate/2011/20110329b.htm>
- Dumler R, Thoma H, Lenoir D, Hutzinger O. 1989. PBDF and PBDD from the combustion of bromine containing flame retarded polymers: a survey. Chemosphere 19(12):2023–2031.
- [ECB] European Chemicals Bureau 2008. TRIS(2-CHLORO-1-METHYLETHYL) PHOSPHATE (TCPP). CAS No: 13674-84-5; EINECS No: 237-158-7; Summary Risk Assessment Report. Ireland (lead) and United Kingdom. 20 p. <http://ecb.jrc.ec.europa.eu/risk-assessment/SUMMARY/tcppsum425.pdf>
- [ECHA] (European Chemicals Agency) 2008. Member state committee support document for identification of hexabromocyclododecane and all major diastereoisomers as a substance of very high concern. 43 pp. http://echa.europa.eu/chem_data/authorisation_process/candidate_list_table_en.asp
- [ECHA] European Chemicals Agency 2009. Data on Manufacture, Import, Export Uses and Releases of HBCDD as well as Information on Potential Alternatives to Its Use. December 1, 2009.
http://echa.europa.eu/doc/consultations/recommendations/tech_reports/tech_rep_hbccd.pdf
- [EHP] San Antonio statement on brominated and chlorinated flame retardants, Environ Health Perspect 118:516 – 518 (2010). Authors: DiGangi J, Blum A, Bergman A, de Wit CA, Lucas D, Mortimer D, Schecter A, Scheringer M, Shaw SD, Webster TF (2010)
- [EMPA] Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology 2010. RoHS substances in mixed plastics from Waste Electrical and Electronic Equipment. Final Report September 17, 2010. Authors: Wäger, P., Schlupe, M. and Müller, E. 99 p.
- [Environment Canada]. Draft Screening Assessment Cyclododecane, 1,2,5,6,9,10-hexabromo-Chemical Abstracts Service Registry Number 3194-55-6. Environment Canada. Health Canada. August 2010a. 114 p.
- [Environment Canada]. Risk Management Scope for Cyclododecane, 1,2,5,6,9,10 – hexabromo-(Hexabromocyclododecane; HBCD). Environment Canada. Health Canada. August 2010b. 12 p.
- [EPS 2011] 4th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications.
http://www.tekna.no/portal/page/portal/tekna/event?p_kp_id=20775&p_backurl=http://www.tekna.no/portal/page/portal/tekna/event&p_action=PREVIEW
- [EUMEPS] European Manufacturers of Expanded Polystyrene 2002. Building a Better Environment with EPS. <http://www.eumeps.org/show.php?ID=4469&psid=xwctaave> (consultado en mayo de 2011). 6 p.
- [EUMEPS] European Manufacturers of Expanded Polystyrene 2011. Fire Safe Construction with EPS. <http://www.eumeps.org/show.php?ID=4530&psid=xwctaave> (consultado en mayo de 2011). 18 p.

- [Geopartner] GEO Partner AG Resource Management 2007. Dynamic Substance Flow Analysis Model for Selected Brominated Flame Retardants as a Base for Decision Making on Risk Reduction Measures (FABRO). Final report. Authors: Morf, L., Buser, A., Taverna, R. 165 p.
- Goosey E, Abdallah M, Harrad S. Dust from Primary School and Nursery Classrooms in the UK: Its Significance as a Pathway of Exposure for Young Children to PFOS, PFOA, HBCDs and TBBP-A. *Organohalogen Compd.* 2008; 70: 855-858.
- [Halogenated flame retardants] 2010. Do the fire safety benefits justify the risks? Authors: Shaw SD, Blum A, Weber R, Kurunthachalam K, Rich D, Lucas D, Koshland CP, Dobraca D, Hanson S, Birnbaum L. *Reviews on Environ Health* 25:261 - 305
- Harrad, S. & Abou-Elwafa Abdallah, M. Brominated flame retardants in dust from UK cars-within-vehicle spatial variability, evidence for degradation and exposure implications. *Chemosphere* 2011;82(9):1240-5
- [HBCD Industry Working Group]. Update on research programmes on alternatives to HBCD for polystyrene insulation foams. Submission to ECHA public consultation (2009) and to UNECE (February 2010) 7 p.
- Heeb NV, Schweizer WB, Kohler M and Gerecke AC. Structure elucidation of hexabromocyclododecanes - a class of compounds with a complex stereochemistry. *Chemosphere* 2005; 61: 65-73.
- Heeb NV, Schweizer WB, and Lienemann P. Thermally-induced transformation of hexabromocyclododecane and isobutoxypenta bromocyclododecanes in flame-proofed polystyrene materials. *Chemosphere* 2010; 80(7):701-708.
- [HSDB] Hazardous Substances Data Bank. Comprehensive, peer-reviewed toxicology data for about 5,000 chemicals. <http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/htmlgen?HSDB> (consultado en junio de 2011).
- [INE-SEMARNAT] Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Las sustancias tóxicas persistentes en Mexico. Report. Authors: Bremauntz AF, Yarto Ramírez MY, Díaz JC. 2004, 261 pp.
- Kajiwara N, Sueoka M, Ohiwa T, Takigami H. Determination of flame-retardant hexabromocyclododecane diastereomers in textiles. *Chemosphere.* 2009;74(11):1485-9.
- [KEMI] Swedish Chemicals Agency 2006. Survey and technical assessment of alternatives to TBBPA and HBCDD. Author: Posner, S. 43 p. http://www.kemi.se/upload/Trycksaker/Pdf/PM/PM1_06.pdf
- [KEMI] Swedish Chemicals Agency 2008. Proposal for Harmonised Classification and Labelling Based on the CLP Regulation (EC) No 1272/2008, Annex VI, Part 2. Substance Name: Hexabromocyclododecan. Dossier submitted to the European Commission 2009; 49 pp.
- [KLIF] Climate and Pollution Agency in Norway 2011a. Exploration of management options for Hexabromocyclododecane (HBCD). 18 August 2010 (updated version). Author: Posner, S., Säll, L. 45 p. <http://www.klif.no/no/Publikasjoner/Publikasjoner/2011/Mai/Report-to-the-8th-meeting-of-the-UNECE-Task-Force-on-Persistent-Organic-Pollutants-Montreal-18-20-May-2010-updated-18-August-2010/>
- [KLIF] Climate and Pollution Agency in Norway. 2011b. Assessment of the consumption of HBCDD in EPS and XPS in conjunction with national fire requirements. Authors: Posner, S., Blomqvist, P., Simonson McNamee, M., Thureson, P. 75 p. <http://www.klif.no/no/Publikasjoner/Publikasjoner/2011/Mai/Assessment-of-the-consumption-of-HBCDD-in-EPS-and-XPS-in-conjunction-with-national-fire-requirements/>
- [KLIF] Climate and pollution agency in Norway 2011c. Alternatives to the use of flame retarded EPS in buildings. A report by COWI AS Denmark. Authors: Lassen, C., Maag, J., Hoibye, L., Vesterlykke, M., Lundegaard, T. 97 p.
- Knutsen HK, Kvale HE, Thomsen C, Frøshaug M, Haugen M, Becher G, Alexander J, Meltzer HM. Dietary exposure to brominated flame retardants correlates with male blood levels in a selected group of Norwegians with a wide range of seafood consumption. *Mol Nutr Food Res.* 2008;52(2):217-27.

- Leung, A.O.W., Chan, J.K.Y., Hua Xing, G., Xu, Y., Chun Wu, S., Wong, C.K.C, Leung, C.K.M., Wong, M.H, Body burdens of polybrominated diphenyl ethers in childbearing-aged women at an intensive electronic-waste recycling site in China. *Environ Sci Pollut Res* (2010) 17:1300–1313
- [LCSP] Lowell Center For Sustainable Production. An Overview of Alternatives to Tetrabromobisphenol A (TBBPA) and Hexabromocyclododecane (HBCD). Report prepared for The Jennifer Altman Foundation. University of Massachusetts, 2006. Author: Morose G. 32 pp.
- Managaki S, Miyake Y, Yokoyama Y, Hondo H, Masunaga S, Nakai S, Kobayashi T, Kameya T, Kimura A, Nakarai T, Oka Y, Otani H and Miyake A. Emission load of hexabromocyclododecane in Japan based on the substance flow analysis. 2009.
http://risk.kan.ynu.ac.jp/publish/managaki/managaki200908_1.pdf
- Malarvannan, G., Kunisue, T., Isobe, T., Sudaryanto, A., Takahashi, S., Prudente, M., Subramanian, A. & Tanabe, S. 2009. Organohalogen compounds in human breast milk from mothers living in Payatas and Malate, the Philippines: levels, accumulation kinetics and infant health risk. *Environ Pollut*, 157, 1924-32.
- Miyake Y, Managaki S, Yokoyama Y, Nakai S, Kataoka T, Nagasawa E, Shimojima M, Masunaga S, Hondo H, Kobayashi T, Kameya T, Kimura A, Nakarai T, Oka Y, Otani H and Miyake A. Exposure to hexabromocyclododecane (HBCD) emitted into indoor air by drawing flameretarded curtain.
http://risk.kan.ynu.ac.jp/publish/masunaga/masunaga200908_3.pdf
- Morf L, Buser A, Taverna R, Bader HP, Scheidegger R. Dynamic substance flow analysis as a valuable tool - a case study for brominated flame retardants as an example of potential endocrine disruptors. 2008: 62(5):424-431
- [NCM] Nordic Council of Ministers 2004. Emission measurements during incineration of waste containing bromine TemaNord. Nordic Council of Ministers 2004:529 0903-7004 Corporate Author: Nordic Council of Ministers. 55 p.
- [NCM] Nordic Council of Ministers 2008. Hexabromocyclododecane as a possible global POP. Nordic Chemicals Group and Nordic Council of Ministers, Author: Peltola-Thies J. 2008, 91 pp.
<http://www.norden.org/en/publications/publications/2008-520>
- [OCDE] Organization for Economic Co-operation and Development. SIDS Initial Assessment Profile for Cas. No. 25637-99-4, 3194-55-6, Hexabromocyclododecane (HBCDD). SIAM 24, 19-20 April 2007. <http://webnet.oecd.org/Hpv/UI/handler.axd?id=ea58ac11-e090-4b24-b281-200ae351686c>
- Polder, A., Venter, B., Skaare, J. U. & Bouwman, H. 2008. Polybrominated diphenyl ethers and HBCD in bird eggs of South Africa. *Chemosphere*, 73, 148-154.
- [RAC] Committee for Risk Assessment RAC. Opinion proposing harmonised classification and labeling at Community level of hexabromocyclododecane (HBCDD). European Chemicals Agency (ECHA), 2010
- [RAC] Committee for Risk Assessment RAC. Annex 1. Background Document to the Opinion proposing harmonized classification and labelling at Community level of Hexabromocyclododecane (HBCDD). European Chemicals Agency (ECHA), 2010.
- Remberger M, Sternbeck J, Palm A, Kaj L, Strömberg K, Brorström-Lundén E. The environmental occurrence of hexabromocyclododecane in Sweden. *Chemosphere*. 2004;54(1):9-21
- Shuler D, Jager J (2004) Formation of chlorinated and brominated dioxins and other organohalogen compounds at the pilot incineration plant VERONA, *Chemosphere* 54:49 – 59
- Stapleton HM, Allen JG, Kelly SM, Konstantinov A, Klosterhaus S, Watkins D, McClean MD, Webster TF. Alternate and new brominated flame retardants detected in U.S. house dust. *Environ Sci Technol*. 2008;42(18):6910-6.
- [Stec A & Hull R.] Fire toxicity. Woodhead publishing Limited, Oxford. 728 p. ISBN 1 84569 502 X
- Stuart H, Ibarra C, Abdallah MA, Boon R, Neels H, Covaci A. Concentrations of brominated flame retardants in dust from United Kingdom cars, homes, and offices: Causes of variability and implications for human exposure. *Environ Int*. 2008;34(8):1170-5.
- [SWEREA] Exploration of management options for HBCDD. Report. Authors: Posner S, Roos S, Olsson E. 2010. 84 pp.
- Takigami H, Suzuki G, Hirai Y, Ishikawa Y, Sunami M, Sakai S. Flame retardants in indoor dust and air of a hotel in Japan. *Environ Int*. 2009a;35(4):688-93.

Takigami H, Suzuki G, Hirai Y, Sakai S. Brominated flame retardants and other polyhalogenated compounds in indoor air and dust from two houses in Japan. *Chemosphere*. 2009b ;76(2):270-7.

Thomsen C, Frøshaug M, Leknes H and Becher G. Brominated flame retardants in breast milk from Norway. *Organohalogen compounds* 2003; 64:

Tue, N. M., Sudaryanto, A., Tu, B. M., Isobe, T., Takahashi, S., Pham H. V. & Tanabe, S. 2010. Accumulation of polychlorinated biphenyls and brominated flame retardants in breast milk from women living in Vietnamese e-waste recycling sites. *Science of The Total Environment*, 408, 2155-2162.

[US DOE] US Department of Energy. Insulation and Air Sealing. (consultado en junio de 2011). http://www.energysavers.gov/your_home/insulation_airsealing/index.cfm/mytopic=11510

[US EPA] US Environmental Protection Agency. Initial Risk-Based Prioritization of High Production Volume Chemicals. Chemical/Category: Hexabromocyclododecane (HBCD). Risk-Based Prioritization Document 3/18/2008

[US EPA] US Environmental Protection Agency. Hexabromocyclododecane (HBCD) Action Plan. 12 p. http://www.epa.gov/oppt/existingchemicals/pubs/actionplans/RIN2070-AZ10_HBCD%20action%20plan_Final_2010-08-09.pdf

[VECAP] Voluntary Emissions Control Action Programme 2011. Annual Progress Report 2010. European Flame Retardants Association (EFRA), the Bromine Science and Environmental Forum (BSEF). 22 p. www.vecap.info

[VISTA] Vista Analyse AS. Kostnader og konsekvenser av utfasing av stoffer og stoffgrupper m.v. Vista Analyse Rapport 2010/09. Author: Skjelvik, J.M.. 42 p. <http://www.miljogift.no/Portals/0/Sluttrapport%20-%20Kostnader%20og%20konsekvenser%20av%20utvalgte%20tiltak.pdf>

[Vogdt] F.U. Planung, Konstruktion, Ausführung, Kapitel 15: Umwelt und Gesundheit. Kalksandstein – Umwelt und Gesundheit. Januar 2009.

Weber R, Kuch B. 2003. Relevance of BFRs and thermal conditions on the formation pathways of brominated and brominated-chlorinated dibenzodioxins and dibenzofurans. *Environment International* 29: 699 -710.

Weil E.D., Levchik, S.V.. Flame Retardants in Commercial Use or Development for Textiles. *Journal of Fire Sciences* May 2008 vol. 26 no. 3 243-281

Weil E.D., Levchik, S.V.. Flame Retardants for Plastics and Textiles. Practical Applications. Hanser Publications. Munich. 2009. ISBN 978-1-56990-454-1. 297 p.

Zhang, X. L., Yang, F. X., Luo, C. H., Wen, S., Zhang, X. & Xu, Y. 2009. Bioaccumulative characteristics of hexabromocyclododecanes in freshwater species from an electronic waste recycling area in China. *Chemosphere*, 76, 1572-1578.