



Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes

Distr.: General
11 de agosto de 2010

Español
Original: Inglés

Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes

Sexta reunión

Ginebra, 11 a 15 de octubre de 2010

Tema 4 a) del programa provisional*

Trabajo técnico: Programas de trabajo sobre nuevos contaminantes orgánicos persistentes aprobados por la Conferencia de las Partes

Programas de trabajo sobre nuevos contaminantes orgánicos persistentes aprobados por la Conferencia de las Partes

Nota de la Secretaría

1. Tras enmendar el Convenio de Estocolmo mediante las decisiones SC-4/10-SC-4/18 con el fin de incluir nueve productos químicos nuevos en los anexos A, B y C del Convenio, la Conferencia de las Partes decidió emprender un nuevo programa de trabajo que ofreciese orientaciones a las Partes sobre la forma mejor de restringir y eliminar los éteres de bromodifenilo, el ácido de sulfonato de perfluorooctano (PFOS) y sus sales, el fluoruro de sulfonilo de perfluorooctano (PFOSF) y los otros productos químicos recientemente incluidos.
2. De conformidad con los elementos de un programa de trabajo que figura en el anexo a la decisión SC-4/19, la Secretaría recogió información de las Partes y los observadores, en virtud de los párrafos 1 a 4 del anexo a la decisión SC-4/19, sobre éteres de bromodifenilo encontrados en artículos, PFOS, sus sales, PFOSF y otros productos químicos incluidos en la cuarta reunión de la Conferencia de las Partes. En el documento UNEP/POPS/POPRC.6/INF/6 se resumen las comunicaciones recibidas hasta la fecha límite de julio de 2010.
3. Sobre la base del mandato elaborado por el Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes en su quinta reunión y aprobado en la decisión POPRC-5/1, se elaboró un proyecto de documento técnico que figura en el anexo a la presente nota. En los documentos UNEP/POPS/POPRC.6/INF/10 y UNEP/POPS/POPRC.6/INF/7, respectivamente, figuran un documento de apoyo y una recopilación de los comentarios y respuestas relativos al documento técnico. El proyecto de documento técnico no ha pasado por los servicios de edición oficial de la Secretaría.

* UNEP/POPS/POPRC.6/1/Rev.1.

Medida que podría adoptar el Comité

4. El Comité tal vez desee:

- a) Examinar la información que han facilitado las partes y los observadores, así como la que figura en el proyecto de documento;
- b) Señalar posibles deficiencias en esa información y la manera de eliminarlas;
- c) Preparar informes para la quinta reunión de la Conferencia de las Partes acerca de la información proporcionada y formular recomendaciones sobre la eliminación de los éteres de bromodifenilo de la corriente de desechos y sobre la reducción de riesgos en relación con el PFOS, sus sales y el PFOSF.

Anexo

**Examen técnico de los efectos del reciclado del éter
de pentabromodifenilo de calidad comercial y del
éter de octabromodifenilo de calidad comercial**

PROYECTO

Agosto de 2010

Índice

1. Introducción.....	5
Reseña analítica.....	5
2. Antecedentes y objetivos del informe técnico	8
2 a): Decisiones de la Conferencia de las Partes y del Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes y fundamentos del informe.....	8
2 b): Descripciones de los términos utilizados:.....	8
2 c): La estructura y el contenido del informe.....	10
2 d): Metodología utilizada en la obtención de los datos y presentación de éstos	11
2 e): Producción, utilización y existencias de PentaBDE y OctaBDE	11
2 f): Niveles de PBDE en el medio ambiente y en los humanos	14
2 g): Dioxinas/Furanos bromados (PBDD/DF) y Dioxinas/Furanos bromados-clorados formados (PXDD/DF) de forma no intencional	15
3. Operaciones para reciclar y recuperar artículos que contengan COP-BDE y evaluación de sus posibles efectos en la salud y en el medio ambiente.....	16
3 a): Operaciones de reutilización y de reciclado secundario	16
3 b): Operaciones de reciclado terciario.....	17
3 c): Opciones al final de la vida útil	17
3 d): Examen y resumen de la información sobre la presencia de PBDE en artículos producidos a partir de materiales reciclados y riesgos para la salud derivados de la utilización de dichos artículos	18
4. Identificación de las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales para el reciclado de artículos que contengan PBDE.....	20
4 a): Métodos actuales para identificar los artículos y artículos reciclados que contienen PBDE	20
4 b): Separación de artículos con PBDE de otros componentes.....	22
4 c): Evaluación de las mejores técnicas disponibles para el reciclado de artículos que contengan PBDE considerando las exposiciones procedentes del reciclado y las opciones de eliminación	23
4 d): Identificación de la capacidad de los países en desarrollo y los países con economías en transición para aplicar las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales (BAT/BEP).....	28
4 e): Enfoques reglamentarios y estrategias utilizadas en apoyo de la aplicación de BAT/BEP y el control de PBDE.....	30
5. Examen de la conveniencia medioambiental a largo plazo del reciclado de artículos con PBDE.....	31
5 a): Existencias de Penta y Octa BDE y efectos para los niveles de reciclado y los reciclados	31
5 b): Información sobre el volumen potencial del comercio de artículos reciclados con contenido de PBDE, incluyendo los que van de los países desarrollados a los países en desarrollo.....	33
5 c): Evaluación de los costos y beneficios de la retirada o el mantenimiento de la exención al reciclado de artículos que contengan PBDE.....	33
5 d): Efecto del mantenimiento y la retirada de la exención a las necesidades de los países en desarrollo y los países con economías en transición.....	35
5 e): Recomendaciones sobre la conveniencia ambiental a largo plazo del reciclado de artículos con PBDE	36
5 f): Recomendaciones para la eliminación del PBDE	38
6. Deficiencias de conocimientos y complejidades	39
6 a): Deficiencias de conocimientos.....	39
6 b): Formación no intencionada de COP-BDE a partir de la desbromación y deficiencias de conocimientos correspondientes.....	40
Referencias:	42

1. Introducción

1. Este es el resumen ejecutivo de un informe sobre los efectos del reciclado de artículos que contienen éter de pentabromodifenilo de calidad comercial y éter de octabromodifenilo de calidad comercial (COP–BDE). Lo ha encargado la Secretaría del Convenio de Estocolmo a petición del Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes. El resumen ejecutivo está basado en seis apéndices y dos anexos en los que figura el detalle de los debates técnicos y amplias referencias sobre los temas que se resumen en el presente documento.
2. Los objetivos del examen técnico son los siguientes:
 - a) Evaluar los posibles efectos para la salud y el medio ambiente del reciclado de artículos que contengan éteres de bromodifenilo;
 - b) Analizar la conveniencia medioambiental a largo plazo del reciclado de artículos que contengan éteres de bromodifenilo;
 - c) Identificar las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales para el reciclado de artículos que contengan éteres de bromodifenilo;
 - d) En el estudio se consideran los efectos para los países desarrollados y en desarrollo, así como para los países con economías en transición.
3. En el informe se examinan y evalúan los riesgos para el medio ambiente y la salud asociados al reciclado de artículos que contengan COP–BDE. También se formulan recomendaciones en cuanto a la conveniencia a largo plazo de esas exenciones.

Reseña analítica

4. En mayo de 2009 se incluyeron en el anexo A del Convenio de Estocolmo ciertos congéneres contenidos en el éter de pentabromodifenilo de calidad comercial (PentaBDE¹) y en el éter de octabromodifenilo de calidad comercial (OctaBDE), y dicho Convenio prohíbe su producción, utilización, importación y exportación. Como no se tiene conocimiento de que sigan produciendo esas sustancias, el principal problema es la identificación y tratamiento de las existencias y desechos. El artículo 6 del Convenio de Estocolmo exige que cada Parte elabore y aplique estrategias para determinar las actuales existencias de COP y elabore estrategias para identificar los artículos en uso que contengan COP o estén contaminados por ellos, así como los desechos que contengan COP. Las operaciones de eliminación que puedan conducir a la recuperación, el reciclado, la regeneración o la reutilización potenciales del contenido de COP del desecho quedan estrictamente prohibidas, si la concentración es superior al límite de “bajo contenido de COP” respectivo cuando haya sido necesaria una gestión ambientalmente racional. No obstante, la inclusión de los PentaBDE y OctaBDE de calidad comercial comporta una exención específica que permite el reciclado de artículos que contengan dichas sustancias y la utilización y eliminación final de artículos fabricados a partir de materiales reciclados que contengan o puedan contener esas sustancias. El reciclado de artículos que contengan COP incrementa inevitablemente las liberaciones de COP, lo que puede traducirse en riesgos para el medio ambiente y la salud. La exención del reciclado dio lugar a un debate considerable en cuanto a si podía considerarse compatible con el objetivo principal del Convenio de Estocolmo, que consiste en proteger la salud humana y el medio ambiente frente a los COP.
5. La contaminación de una amplia gama de corrientes de productos constituye actualmente un reto en términos prácticos y de política que probablemente se acentúe con el reciclado. Los estudios recientes revelan que el plástico procedente de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos que contienen éter de polibromodifenilo (PBDE) está mayormente libre de control y se halla en múltiples productos reciclados (juguetes infantiles, productos del hogar, cartuchos de cintas de video y aparatos electrónicos).
6. El PentaBDE se utilizaba principalmente en América del Norte para el tratamiento de las espumas de poliuretano sobre todo en colchones y muebles y en menor medida en vehículos, en términos de volúmenes totales. Se ha observado que la vía principal de reciclado, del reaglutinado a la fabricación de bases de alfombras, expone a los trabajadores del reciclado y a los instaladores de alfombras, junto a cientos de miles o incluso millones de consumidores. La ingestión de polvo es la vía principal de entrada de los PBDE en las personas más expuestas. Preocupa principalmente la incorporación de PentaBDE en el acolchado de las alfombras que da lugar a los niveles más elevados de polvo en zonas en las que juegan los niños. Hay que señalar que la liberación de polvo aumenta con la edad de la alfombra, por lo que los niños de las familias más pobres resultan más expuestos – exposición que se refleja en los artículos publicados. Una evaluación indicativa de los costos para la salud asociados al reciclado de las espumas

¹ En este examen y en sus correspondientes apéndices, PentaBDE y OctaBDE se refieren a las mezclas comerciales. Cuando se hace referencia a los congéneres incluidos en el Convenio de Estocolmo, se describen como COP–BDE. Cuando se hace referencia específicamente a grupos homólogos particulares, se utilizan minúsculas como ‘triBDE a pentaBDE’.

de poliuretano muestra que los daños totales pueden estimarse en cerca de 6.000 millones de dólares de los EE.UU. al año. Por el contrario, el valor comercial del mercado norteamericano del reaglutinado se estima en menos de 15 millones de dólares de los EE.UU. al año.

7. Los métodos analíticos normalizados para la medición de los PBDE (Cromatografía de gases/espectrometría de masas, (CG/EM)) y el método más rápido de pirólisis–CG/EM son demasiado lentos como para que se puedan usar en la preselección y separación de materiales con PBDE en las plantas de reciclado. Actualmente, los únicos métodos prácticos para la separación de materiales contaminados por PBDE en las plantas de reciclado son las diversas tecnologías de preselección rápida que permiten la detección de bromo. Estos sistemas manuales y automatizados se utilizan actualmente en algunas plantas europeas de reciclado de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos a gran escala.

8. Hay una serie de tecnologías prometedoras con las que se puede recuperar el bromo de los polímeros, lo que permite efectuar un reciclado o recuperación de las materias primas con seguridad. Entre dichas tecnologías están las técnicas de recuperación de materiales para el reciclado, el reciclado de materias primas – como combustible o para utilización en manufacturas – la pirólisis de los polímeros con recuperación del bromo, la recuperación del bromo en los incineradores y la separación de los PBDE/pirorretardantes bromados del plástico. No obstante, la falta de incentivo comercial alguno para eliminar los PBDE/pirorretardantes bromados de los artículos que han llegado al final de su vida útil es posiblemente el motivo por el que estas técnicas no pasan de la fase de laboratorio o de proyecto piloto. No se tiene información de ninguna operación a gran escala.

9. Durante la evaluación se detectaron deficiencias clave en cuanto al conocimiento de las tecnologías utilizadas o propuestas para la recuperación de energía o de tratamiento al final de la vida útil de las corrientes de desechos con contenido de PBDE. Las incertidumbres son a menudo considerables y actualmente no permiten llegar a una conclusión o una recomendación definitiva sobre la idoneidad de una u otra tecnología para el tratamiento de materiales que contengan COP–BDE. En particular, se señala que no se han realizado ni publicado estudios sobre liberaciones de PBDE y PBDD/DF procedentes de hornos de cemento, aunque ya se utilizan corrientes de desechos con PBDE como combustibles alternativos. En artículos publicados se informa sobre liberaciones de PBDE y PBDD/DF en una serie de industrias metalúrgicas (industrias férreas primaria y secundaria, hornos de fundición de cobre y aluminio). No obstante, no se ha efectuado ninguna investigación en la que se haya evaluado la composición de los materiales empleados en los procesos, por lo que no es posible establecer modelos de los balances de materia o calcular la eficacia de la destrucción. En ensayos especializados realizados en hornos de fundición para el tratamiento de tarjetas de circuito impreso con contenido de PBDE/BFR se informa únicamente de los niveles de PCDD/DF. No existen datos publicados sobre liberaciones de PBDE/pirorretardantes bromados y PBDD/DF y una mezcla de PXDD/DF bromados-clorados.

10. Es por tanto necesario realizar urgentemente más evaluaciones de las tecnologías clave utilizadas o propuestas para el tratamiento de los desechos con PBDE/pirorretardantes bromados, a fin de obtener una base sólida de evidencias que permita formular recomendaciones firmes sobre la idoneidad del tratamiento de desechos con PBDE/BFR en estas instalaciones. Dichas pruebas ayudarían también a la adopción de decisiones relativas al establecimiento de las mejores técnicas disponibles para el diseño de los hornos, el tratamiento de los gases de chimenea y la protección correspondiente de los trabajadores y del medio ambiente. Eso a su vez permitiría evaluar de forma más sólida las actuales alternativas disponibles para el tratamiento y la eliminación. En la actualidad, las evaluaciones no son más que especulativas.

11. Durante todo el ciclo de vida de los PBDE se producen y liberan cantidades significativas de PBDD/DF y se considera que dichos PBDE son una proporción significativa de la cantidad total de PBDD/DF que se libera al medio ambiente. El PBDD/DF constituye ya un factor importante de contribución a la toxicidad de tipo dioxina en el polvo de los hogares y en los alimentos – las vías más importantes de exposición humana a los COP. Además, la exposición a estos compuestos a través de la leche humana rebasa ya los niveles de ingestión diaria de la OMS, si se supone una equivalencia de toxicidad con la de los congéneres clorados. No se trata en este caso de una hipótesis prudente, pues los PBDD/DF son en algunos casos mucho más tóxicos que sus equivalentes clorados.

12. El único informe de evaluación del ciclo de vida en la gestión de una corriente de desechos contaminada con PBDE muestra que los efectos del PBDD/DF son con creces el contribuyente más importante a los efectos totales en la salud, en las situaciones de reciclado y reciclado de materias primas. Cuando el ciclo de vida incluye la incineración en vertederos y a cielo abierto, los daños asociados al PBDD/DF son unas 15 veces superiores a los efectos totales en la salud atribuibles a todos los PBDE. Por tanto, es evidente que las emisiones de PBDD/DF son contaminantes significativos en relación con el reciclado y el tratamiento al final de la vida útil de los artículos que contienen PBDE. Toda evaluación que no tenga debidamente en cuenta estas emisiones será probablemente defectuosa y por tanto carente de fiabilidad como guía que oriente las decisiones de política.

13. No obstante, a pesar de la importancia evidente de la formación de PBDD/DF (y también cada vez más de PXDD/DF) para la gestión, reciclado y destrucción de los PBDE, estas clases de compuestos se han dejado ampliamente de lado (no se han medido o no se ha informado de ellos) en los anteriores debates sobre los actuales tratamientos al final de la vida útil. La única excepción sea tal vez la incineración con las mejores técnicas disponibles. En este caso, se ha demostrado que se formaban niveles enormes de PBDD/DF, PXDD/DF y PCDD/DF en la zona de combustión primaria cuando se añadían niveles elevados de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. La mayoría de estos COP generados en forma no intencional se destruyó satisfactoriamente en la zona de combustión secundaria. En otro estudio, se descubrieron PBDE y PBDD/DF en las cenizas del fondo, probablemente como resultado de la mezcla de material de la criba con esas cenizas. Estos estudios demuestran que el tratamiento de los desechos con PBDE en incineradores que no utilizan las mejores técnicas disponibles dará lugar a liberaciones elevadas de dioxinas. Se deduce que es importante confirmar las condiciones de destrucción de los PBDE y PBDD/DF con otras tecnologías de tratamiento térmico. También hay que vigilar adecuadamente todas las descargas para garantizar que los residuos sólidos no dan lugar a liberaciones de PBDE o PBDD/DF. Finalmente, es importante introducir controles adecuados para garantizar que los PBDE o PBDD/DF no se liberan accidentalmente en el medio ambiente. Por ejemplo, se han de adoptar precauciones para garantizar que material de la criba contaminado procedente de los incineradores no se combina con las cenizas del fondo, que luego se utilizan para la construcción o fines similares.

14. Los vertederos han sido y siguen siendo la forma más utilizada de eliminación de los artículos que contienen PBDE. No obstante, cada vez hay más pruebas de que el PBDE de los artículos depositados en los vertederos se libera lentamente por los lixiviados y en la atmósfera, contaminando a su vez la tierra y el agua de la superficie, así como los sedimentos y el suelo. La toxicidad de las mezclas de PBDE puede aumentar considerablemente mediante la desbromación de los PBDE más bromados (que normalmente están presentes en concentraciones mucho más elevadas) hacia congéneres menos bromados más tóxicos, por los procesos anaeróbicos del vertedero. Cuando la persistencia del PBDE en los vertederos se compara con el tiempo limitado que está previsto en los sistemas concebidos para la protección y la gestión de los vertederos, puede verse que el vertido de artículos con PBDE no puede considerarse una solución segura o sostenible, y que no es compatible con las obligaciones del Convenio de Estocolmo.

15. En este estudio se detectaron diversas deficiencias importantes de conocimientos a las que hay que hacer frente. La información necesaria para compensar dichas deficiencias consiste en:

- a) Datos globales para un análisis de los flujos mundiales de sustancias.
- b) Mejora de las situaciones hipotéticas de evaluación de los riesgos y en particular, mejora de la información sobre las emisiones y exposiciones durante la fase del final de su vida útil (reciclado, recuperación y eliminación) de los productos de consumo.
- c) Contribución del PBDE a la contaminación PBDD/DF mundial, en comparación con la de otros pirorretardantes bromados y la de otras posibles fuentes.
- d) Límites adecuados de bajo contenido de COP para los PBDE y PBDD/DF en los productos.
- e) Niveles de contaminación de PBDE y de otros contaminantes cruciales en el flujo de reciclado y exposición en los seres humanos, sumidero final y opciones de eliminación.
- f) Datos adicionales sobre la toxicidad del PBDE en el hombre y el medio ambiente, de interés para evaluación de los peligros y riesgos.

16. A lo largo de este año se ha venido realizando una labor de fomento de la investigación para compensar las deficiencias de conocimientos, planteándolas en una serie de documentos presentados ante la comunidad mundial de investigación de los COP en reuniones científicas importantes.

17. Este informe, junto con el examen realizado por el Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes, que se tradujo en la inclusión de los COP-BDE en el Convenio de Estocolmo, demuestra que los PBDE constituyen otro ejemplo en el que una evaluación inadecuada de un producto químico halogenado antes de la producción y utilización a gran escala dio lugar a una contaminación mundial por COP (y probablemente también por PBDD/DF), que exige una actuación a nivel mundial para reducir los daños causados por una mayor contaminación. Las existencias actuales y el flujo de reciclado del PBDE contribuyen a una mayor contaminación a unos niveles tales que, según las pruebas presentadas en el presente informe, causan daño a la salud humana y al medio ambiente. La reducción de los nuevos daños exige un control estricto de estos flujos y el cese del reciclado. Con los perjuicios causados por la utilización del PBDE y con las amenazas a los flujos importantes de reciclado, resulta evidente que los productos químicos utilizados en la actualidad y los que se utilizarán en el futuro como agentes ignífugos exigen una evaluación mucho más rigurosa a lo largo de todo su ciclo de vida. En ella deben incluirse las situaciones hipotéticas de reciclado y de fin de la vida útil, de forma que las estrategias para los pirorretardantes constituyan una parte integral de la producción sostenible, pudiendo de esta manera considerarse que contribuyen al consumo sostenible del futuro.

2. Antecedentes y objetivos del informe técnico

2 a): Decisiones de la Conferencia de las Partes y del Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes y fundamentos del informe

18. Este Informe se ha elaborado como consecuencia de la decisión adoptada en la cuarta reunión de la Conferencia de las Partes en el sentido de incluir en el anexo A del Convenio de Estocolmo² ciertos congéneres contenidos en el éter de pentabromodifenilo de calidad comercial³ y en los éteres de octabromodifenilo⁴. A los efectos de este informe, los PBDE incluidos en el anexo A se han denominado COP-BDE. El artículo 6 del Convenio exige que los residuos que contengan COP se gestionen de forma que se proteja la salud humana y el medio ambiente. Las decisiones de incluir estos COP-BDE comportan exenciones específicas que permiten el reciclado y la utilización posterior en artículos de materiales reciclados que contengan estas sustancias.

2 b): Descripciones de los términos utilizados:

19. El artículo 6 1) d) iii) del Convenio de Estocolmo no permite que los desechos, incluidos los productos y artículos, cuando se conviertan en desechos, estén autorizados a ser objeto de “operaciones de eliminación que puedan dar lugar a la recuperación, reciclado, regeneración, reutilización directa o usos alternativos de los contaminantes orgánicos persistentes”.

20. Se han solicitado como parte de este examen las descripciones de los términos siguientes: “artículo”, “recuperación”, “reciclado”, “regeneración”, “reutilización directa” y “otras operaciones de eliminación”.

21. El Convenio de Estocolmo no define estos términos. Tampoco se incluye en el Convenio la expresión “otras operaciones de eliminación”. De la calificación “otras” se deduce que las definiciones se refieren a un determinado contexto – por ejemplo, “la eliminación en el mar se prohibió en 1998 y las otras operaciones de eliminación son actualmente las únicas opciones legales”.

22. Por tanto, por razones de utilidad, es más pertinente definir todo el ámbito de las “operaciones de eliminación” – término que figura en el artículo 6 1) d) iii) del Convenio.

23. En consecuencia, las definiciones clave propuestas son:

“Operaciones de eliminación”

24. La eliminación se define en el artículo 2 4) del Convenio de Basilea como “cualquiera de las operaciones especificadas en el anexo IV del presente Convenio”.

25. A su vez, el anexo IV contiene una lista de las Operaciones de eliminación dividida en dos categorías:

- a) Operaciones que no pueden conducir a la recuperación de recursos, el reciclado, la regeneración, la reutilización directa u otros usos; y
- b) Operaciones que pueden conducir a la recuperación de recursos, el reciclado, la regeneración, la reutilización directa y otros usos.

26. Sólo hay diferencias de índole menor entre las listas de operaciones de estas categorías y los anexos I y II, respectivamente, de la actual versión compuesta (2006/12/CE) y la versión revisada (2008/98/CE) de la Directiva del Parlamento Europeo relativa a los residuos. El Convenio de Basilea difiere al referirse a las categorías A y B como “eliminación”, mientras que la Directiva del Parlamento Europeo define únicamente las operaciones del anexo I como “eliminación” y las del anexo II como “operaciones de valorización”.

27. Este tema se debatió en una teleconferencia, el 7 de julio de 2010, y se acordó que es importante que las convenciones internacionales utilicen definiciones congruentes. Se recomienda por tanto que se utilice a los efectos de

² Decisiones SC-4/14 sobre la inclusión del éter de hexabromodifenilo y el éter de heptabromodifenilo y SC-4/18 sobre la inclusión del éter de tetrabromodifenilo y el éter de pentabromodifenilo.

³ La inclusión comprende el éter tetrabromodifenilo y el éter de pentabromodifenilo, es decir 2,2',4,4'-éter tetrabromodifenilo (BDE-47, No. CAS: 40088 47-9) y 2,2',4,4',5'-éter de pentabromodifenilo (BDE-99, No. CAS: 32534-81-9) y otros éteres de tetrabromodifenilo y pentabromodifenilo presentes en el éter de pentabromodifenilo de calidad comercial.

⁴ La inclusión comprende el éter de hexabromodifenilo y el éter de heptabromodifenilo, es decir 2,2',4,4',5,5'-éter de hexabromodifenilo (BDE-153, No. CAS: 68631-49-2), 2,2',4,4',5,6'-éter de hexabromodifenilo (BDE-154, No. CAS: 207122 15-4), 2,2',3,3',4,5',6 -éter de heptabromodifenilo (BDE-175, No. CAS: 446255-22-7), 2,2',3,4,4',5',6 -éter de heptabromodifenilo (BDE-183, No. CAS: 207122-16-5) y otros éteres de hexabromodifenilo y heptabromodifenilo presentes en el éter de octabromodifenilo de calidad comercial.

este estudio la definición del Convenio de Basilea, salvo cuando entre en conflicto con los requisitos del artículo 6 del Convenio de Estocolmo. De ahí que para la definición de desechos en este estudio se utilice la del artículo 2 del Convenio de Basilea que define los “desechos” como “sustancias u objetos a cuya eliminación se procede, se propone proceder o se está obligado a proceder en virtud de lo dispuesto en la legislación nacional”.

“Artículo”

28. Se propone que para la definición de “Artículo” se utilice la de la Reglamentación Europea REACH⁵ (artículo 3 3)) (Parlamento y Consejo Europeos, 2006) que es: “Un objeto que, durante su fabricación, recibe una forma, superficie o diseño especiales que determinan su función en mayor medida que su composición química”.

“Reciclado”

29. El reciclado no se define en el Convenio de Basilea, pero la Norma Europea define el reciclado como: “actividad en un proceso de producción para el tratamiento de desechos con el objetivo original o con otros objetivos, excluido el de recuperación de energía” European Standard EN 13965–2:2004 (British Standards Institute 2004)

30. Esto puede compararse con la definición del anexo A.2 de la Directiva relativa a los envases – Directiva del Consejo 94/62/CE (Parlamento y Consejo Europeos, 1994): “Se entenderá por ‘reciclado’ la transformación de los residuos, dentro de un proceso de producción, para su fin inicial o para otros fines, incluido el reciclado orgánico pero no la recuperación de energía”.

31. Se recomienda la definición de la Directiva sobre envases al ser ligeramente más amplia. Esta definición corresponde con la forma en que se utiliza la definición de reciclado en el Convenio de Basilea para incluir las operaciones enumeradas en el anexo IV B.

“Recuperación”

32. Se infiere que en este examen se debe utilizar una definición de “Recuperación” que incluya las operaciones del anexo IV B del Convenio de Basilea. Así pues, la recuperación tiene un sentido más amplio que el reciclado, al incluir todas las operaciones de reciclado, así como la recuperación de energía.

33. Se señala que en la versión revisada (2008/98/CE) de la Directiva Europea sobre los residuos de la Unión Europea⁶ se definirán las instalaciones de incineración con una eficacia superior a un cierto umbral como operaciones de valorización (RI – Utilización principal como combustible u otro modo de producir energía), más que como en la actual definición de operaciones de eliminación (D10 – Incineración en tierra). El Convenio de Basilea incluye la incineración como D10 – Incineración en tierra – es decir, una operación de eliminación de desechos.

“Regeneración”

34. La regeneración no parece haberse definido oficialmente en los tratados legislativos utilizados habitualmente. Se define generalmente en el contexto de los emplazamientos contaminados⁷, más que para la gestión de desechos. La ISWA (International Solid Waste Association (ISWA) 1992) define afortunadamente la regeneración para la gestión de desechos como: *Proceso de recogida y separación de desechos para su reutilización.*

35. Esto contribuye a distinguir la regeneración como un proceso diferenciado del reciclado, por ejemplo: “las carcasas de computadoras se regeneraron en X y se enviaron a Y para su reciclado”. Esta definición es útil y se recomienda utilizarla.

“Reutilización directa”

36. La reutilización directa tampoco parece haberse definido oficialmente en los tratados legislativos utilizados habitualmente.

37. La reutilización puede indicar toda operación mediante la que los productos y los equipos o sus componentes se utilizan al final de su vida útil con los mismos fines para los que fueron originalmente concebidos. Ejemplo de ello sería un colchón utilizado en un hotel de alta categoría. La política de los propietarios puede ser sustituir el colchón

⁵ “Registro, evaluación, autorización y restricción de productos químicos”.

⁶ Alguna de cuyas partes ya están en vigor, pero deben ser trasladadas plenamente por los Estados Miembros antes del 12 de diciembre de 2010.

⁷ “Restoring land to the natural state after destruction associated with some economic activity (Recuperación de la tierra a su estado natural tras la destrucción debida a alguna actividad económica)” (Wyman 2007).

tras un período de tiempo relativamente corto – por ejemplo, entre tres y cinco años – que es muy inferior a la vida prevista en su diseño, de unos 10 años. El colchón puede venderse, directamente o a través de un agente, para su reutilización sin que haya una nueva fabricación o intervención, aparte de una posible limpieza.

38. Puede distinguirse de la “reutilización indirecta”, en la que interviene una cierta re-fabricación antes de volver a utilizar el artículo – ejemplo de ello sería un colchón doméstico que se ha utilizado durante un periodo mucho mayor y que se desmonta totalmente hasta dejar sólo la estructura y los muelles, para luego repararlo, reconstruirlo, lavar sus componentes, volver a montarlo y posiblemente recubrirlo con un nueva tela, antes de venderlo.

2 c): La estructura y el contenido del informe

39. El contenido y la numeración de las secciones de este resumen se ajustan a los apéndices en los que se basa:

Sección 1. Reseña analítica

Sección 2. Antecedentes y objetivos del informe técnico

- 2 a): Decisiones de la Conferencia de las Partes y del Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes y fundamentos del informe
- 2 b): Descripciones de los términos utilizados
- 2 c): La estructura y el contenido del informe
- 2 d): Metodología utilizada en la obtención de los datos y presentación de éstos
- 2 e): Producción, utilización y existencias de PentaBDE y OctaBDE
- 2 f): Niveles de PBDE en el medio ambiente y en los humanos
- 2 g): Dioxinas/Furanos bromados (PBDD/DF) y Dioxinas/Furanos bromados-clorados formados (PXDD/DF) de forma no intencional

Sección 3. Operaciones para reciclar y recuperar artículos que contengan COP-BDE y evaluación de sus posibles efectos en la salud y en el medio ambiente

- 3 a): Operaciones de reutilización y de reciclado secundario
- 3 b): Operaciones de reciclado terciario
- 3 c): Opciones al final de la vida útil
- 3 d): Examen y resumen de la información sobre la presencia de PBDE en artículos producidos a partir de materiales reciclados y riesgos para la salud derivados de la utilización de dichos artículos

Sección 4. Identificación de las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales para el reciclado de artículos que contengan PBDE

- 4 a): Métodos actuales para identificar los artículos y artículos reciclados que contienen PBDE
- 4 b): Separación de artículos con PBDE de otros componentes
- 4 c): Evaluación de las mejores técnicas disponibles para el reciclado de artículos que contengan PBDE considerando las exposiciones procedentes del reciclado y las opciones de eliminación
- 4 d): Identificación de la capacidad de los países en desarrollo y los países con economías en transición para aplicar las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales (BAT/BEP)
- 4 e): Enfoques reglamentarios y estrategias utilizadas en apoyo de la aplicación de BAT/BEP y el control de PBDE

Sección 5: Examen de la conveniencia medioambiental a largo plazo del reciclado de artículos con PBDE

- 5 a): Existencias de Penta y Octa BDE y efectos para los niveles de reciclado y los reciclados
- 5 b): Información sobre el volumen potencial del comercio de artículos reciclados con contenido de PBDE, incluyendo los que van de los países desarrollados a los países en desarrollo
- 5 c): Evaluación de los costos y beneficios de la retirada o el mantenimiento de la exención al reciclado de artículos que contengan PBDE

5 d): Efecto del mantenimiento y la retirada de la exención a las necesidades de los países en desarrollo y los países con economías en transición

5 e): Recomendaciones sobre la conveniencia ambiental a largo plazo del reciclado de artículos con PBDE

5 f): Recomendaciones para la eliminación del PBDE

Sección 6. Deficiencias de conocimientos y complejidades

6 a): Deficiencias de conocimientos

6 b): Formación no intencionada de COP–BDE a partir de la desbromación y deficiencias de conocimientos correspondientes

40. En los apéndices se detallan los temas y se incluyen amplias referencias a las fuentes y a la bibliografía que contiene las referencias completas recopiladas para el proyecto.

2 d): Metodología utilizada en la obtención de los datos y presentación de éstos

41. Actualmente existe una amplia literatura sobre los PBDE y se estima que la documentación aumenta con la publicación de entre cinco y diez nuevos documentos cada semana (Brooke 2009).

42. Por ello, la reducción del tipo de artículos empleados en la investigación para este informe constituyó una parte importante de este trabajo. Los consultores establecieron una amplia biblioteca de los textos examinados por pares y de la literatura gris en las primeras fases del proyecto, a partir de las referencias académicas normales y las bibliotecas en línea. En esta fase se utilizaron los índices PubMed y las referencias de Scopus, junto con las colecciones completas de los documentos de las Conferencias Internacionales sobre Piroretardantes Bromados de 2000, 2004, 2007 y 2010, y de las Conferencias Internacionales sobre Dioxinas (publicadas como “Compuestos organohalógenos”) para cada año a partir de 1990 hasta la fecha. Los términos de búsqueda incluyen combinaciones de los números CAS, los nombres y sinónimos del PentaBDE y del OctaBDE y las tecnologías de interés.

43. Los productores principales de literatura gris en relación con los PentaBDE y OctaBDE han sido los Estados Unidos y los organismos europeos, las ONG y los grupos de intereses especiales.

44. Se utilizó una combinación de bancos de datos de citas (Sente, Papers y EndNote) para la indización, junto con los programas de organización de datos “DevonThink Pro Office” para la búsqueda, clasificación y vinculación de documentos, contribuciones examinadas por expertos, sitios en la web y literatura gris.

45. Se establecieron también múltiples contactos con profesionales, expertos y científicos que trabajan en esta área.

2 e): Producción, utilización y existencias de PentaBDE y OctaBDE

46. El análisis por los autores de los datos recopilados durante este examen indica que la producción de todos los PBDE desde 1970 a 2005 osciló entre 1.300.000 y 1.500.000 toneladas, las cuales se desglosan de la siguiente manera:

Cuadro 1: Producción estimada total de las mezclas comerciales de PBDE entre 1970 y 2005 (obtenida por los autores a partir de (Schenker 2008, Li 2010)).

<i>Mezcla comercial</i>	<i>Toneladas</i>
<i>DecaBDE</i>	1.100.000 a 1.250.000
<i>OctaBDE</i>	102.700 a 118.500
<i>PentaBDE</i>	91.000 a 105.000

47. La escala de producción del PBDE en conjunto es por tanto muy similar a la de los PCB (Breivik 2002a, 2002b, 2007).

PentaBDE:

48. Se considera que la utilización mayor del PentaBDE (90–95%) es la correspondiente al tratamiento de la espuma de poliuretano y que cerca del 90% del mercado a mediados de los años noventa estaba en los Estados Unidos, situándose la mayoría del resto en Europa. El porcentaje de los Estados Unidos aumentó a cerca del 95% en el año 2000.

49. Contrapesando las pruebas disponibles, se observa que en el sector de muebles, se utiliza más PentaBDE, en Europa y los Estados Unidos, que en el del transporte. Se considera razonable una distribución aproximada de la

producción conocida del 36% en vehículos, del 60% en muebles y un 4% residual en otros artículos, distribución que por lo general se corresponde con datos analíticos de diferentes corrientes de desechos.

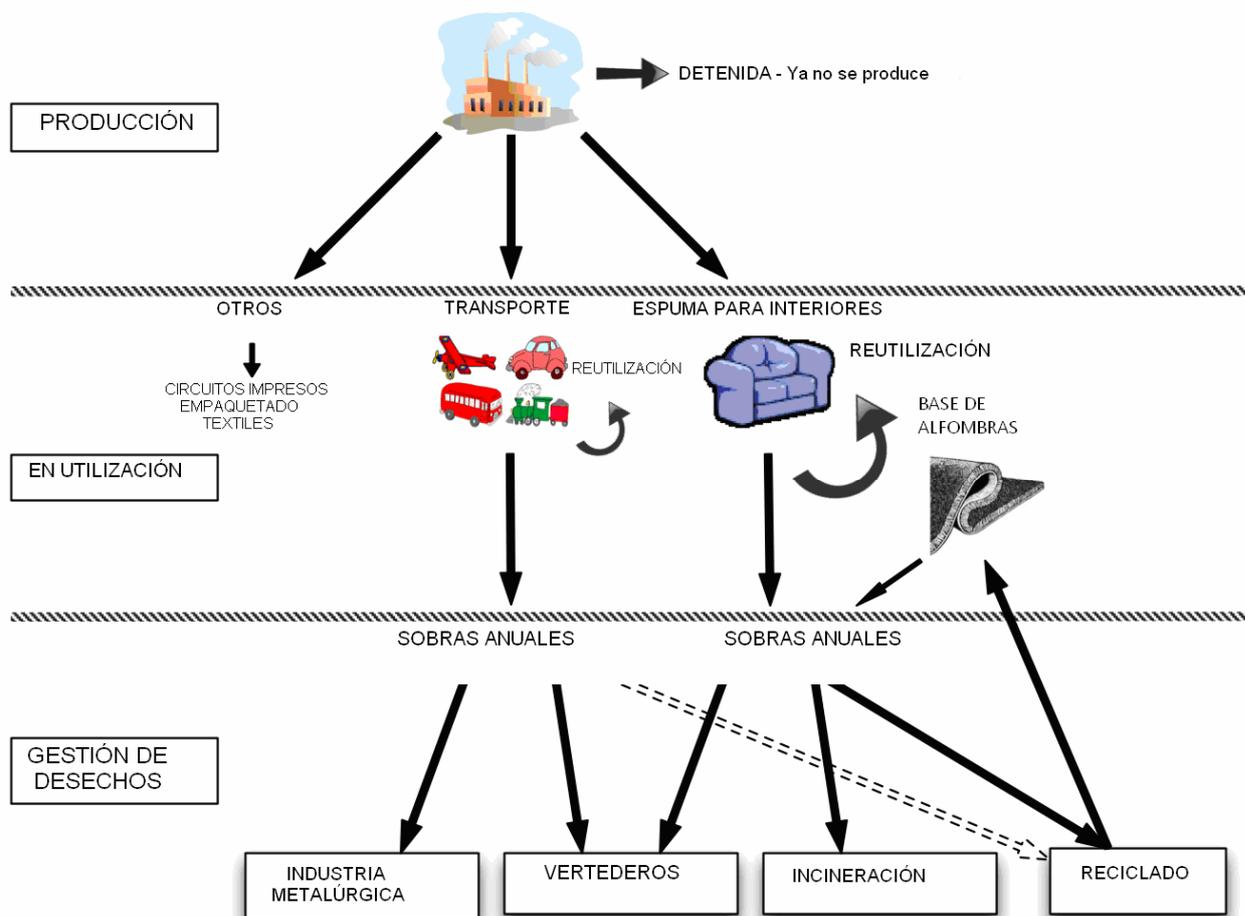


Figura 1: Diagrama esquemático del ciclo de vida del PentaBDE (adaptado de Alcock (Alcock 2003)).

50. Se estima que las “otras” utilizaciones corresponden al 5% o menos de la utilización total. No obstante, existe una incertidumbre significativa en relación con la utilización del PentaBDE en las tarjetas de circuito impreso (circuitos impresos), por lo que en este examen se aborda el tema con cierto detalle. El PentaBDE se utilizaba como resina al principio en algunas tarjetas, pero recientemente China parece haber producido el PentaBDE principalmente para la utilización en las tarjetas de circuito impreso. Es de señalar, por ejemplo, que del triBDE al pentaBDE eran los homólogos predominantes en los desechos de fragmentación de la industria electrónica china procedentes de las tarjetas de circuito impreso y de los plásticos, tras la recuperación de los metales (tal como informa Ma (Ma 2009)). Aunque los otros niveles de que se informa (únicamente en la Unión Europea) (Morf 2005, Schlummer 2007) son muy inferiores, algunos circuitos impresos tratados con PentaBDE se han exportado probablemente a otros países, incluyendo los Estados Unidos y Europa. Se ha pedido más información sobre el tema al Ministerio de Medioambiente de China, pero a la hora de concluir esta versión del informe no se había recibido respuesta alguna.

51. En el Perfil de Riesgo del Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes para el PentaBDE se notificaba una producción mundial de espuma de poliuretano de sólo 150.000 toneladas/año:

Cuadro 2: Producción y utilización mundiales de C-PentaBDE en la producción de espuma de poliuretano, y estimación de las liberaciones correspondientes en 2000 (espuma con un contenido del 10% al 18% de PentaBDE). (Convenio de Estocolmo 2006)

<i>Producción de espuma de poliuretano</i>	<i>Cantidad de PentaBDE</i>	<i>Liberación de PentaBDE en aguas residuales</i>	<i>Emisiones de PentaBDE al aire durante la producción</i>
150.000 toneladas/año	15.000–27.000 ton./año	9.000–16.200 kg/año	7.500–13.500 kg/año

52. La producción total de espuma, de 150.000 toneladas, es sin duda muy inferior a la producción mundial de espuma de poliuretano – 3,66 millones de toneladas (2,68 millones de toneladas de planchas). Se supone, por tanto, aunque el texto no lo dice, que la cifra correspondiente a la cantidad total de espuma de poliuretano que se ha tratado con PentaBDE⁸.

53. En el Perfil de Riesgo se habla de una tasa de dosificación del 10% al 18%, lo cual parece más bien elevada si se compara con la de la literatura. Environ, por ejemplo, indica que el promedio debe ser muy inferior – alrededor del 3% al 5% – para los colchones, cojines y bases de alfombras (ENVIRON 2003). La industria automotriz indicó también que una cifra más realista para la espuma de poliuretano en los vehículos sería el 4% (Risk & Policy Analysts Limited 2000).

54. Chemtura (Cambell 2010) confirmó que los niveles de c-PentaBDE utilizado en la espuma de poliuretano empleada en el tapizado de muebles, que se ajustaban a la norma de inflamabilidad de California TB 117, estaban determinados por la densidad de la espuma:

Cuadro 3: Utilización de PentaBDE en espuma de poliuretano (Cambell 2010)

<i>Densidad de la espuma</i>	<i>% de PentaBDE en el polímero (por peso)</i>
1,2 lb/p ³ o 19 kg/m ³	5,45%
1,5 lb/p ³ o 24 kg/m ³	4,30%
1,8 lb/p ³ o 29 kg/m ³	2,77%

55. Las consecuencias de que estas cargas sean muy inferiores a las que se habían supuesto anteriormente es que la cantidad total de espumas tratadas con PentaBDE es varias veces superior, que las exposiciones actuales del consumidor proceden de niveles muy inferiores de PentaBDE y que el potencial de recuperación del bromo es probablemente mucho menos realista. En consecuencia el cuadro del Perfil de Riesgo se ha revisado basándose en una carga media del 4%:

Cuadro 4: Evaluación revisada del tonelaje total de espuma de poliuretano tratada con PentaBDE

<i>Región</i>	<i>Producción de espuma de poliuretano tratada con PentaBDE t/a</i>	<i>Cantidad de PentaBDE t/a</i>
<i>EE.UU.</i>	175.000	7.000
<i>Europa</i>	25.000	1.000
<i>Total</i>	200.000	8.000

56. La vida de los principales artículos que contienen PentaBDE se estima en unos 10 años para los muebles y en cerca de 12 años para los vehículos. La consecuencia de ello es que, como en Europa se fabricó el máximo a mediados de los años noventa y casi cesó la producción hacia el 2000, la mayor parte de los artículos que contienen COP-BDE se han convertido probablemente en desecho y han sido tratados con los métodos de gestión existentes. Casi todos los materiales con PentaBDE han sido probablemente vertidos, incinerados o exportados. Las evidencias indican que en esta región en las corrientes de desechos sólo se encuentran bajas concentraciones.

⁸ No obstante, hay sin duda un error en el cuadro del Perfil de Riesgo, pues la producción de PentaBDE nunca alcanzó las 15.000 toneladas/año (y menos aún las 27.000 toneladas/año). La producción anual máxima ha sido siempre inferior a 10.000 toneladas y normalmente inferior a 5.000 toneladas.

OctaBDE

57. La evaluación indica que en su mayor parte el OctaBDE se destinaba a los plásticos ABS y posiblemente a algún poliestireno de alto impacto, utilizados en equipo electrónico. Los usos menores son variados y no están caracterizados con precisión, y serán en gran medida recogidos en las corrientes de desechos de circuitos impresos y desguaces.

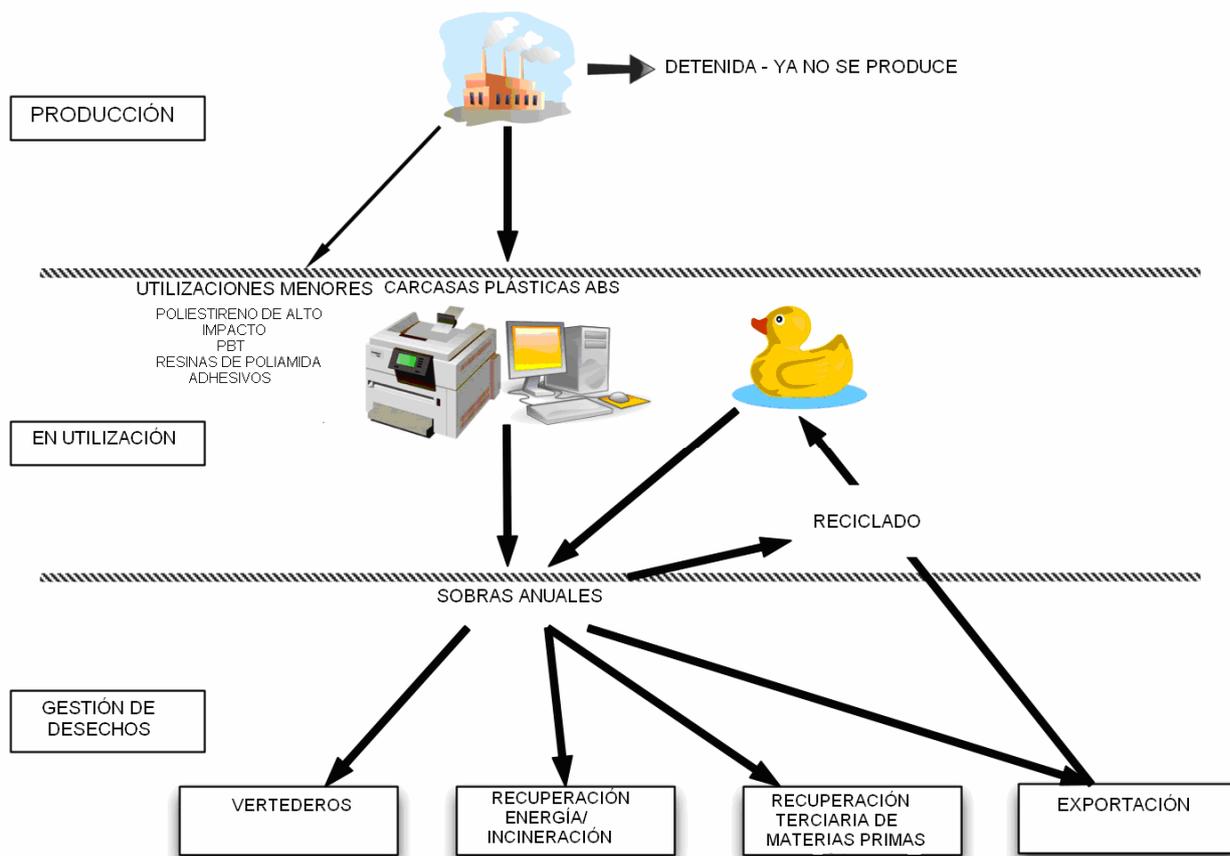


Figura 2: Diagrama esquemático del ciclo de vida del OctaBDE y su potencial de emisiones (las emisiones en el período de utilización se examinan en el texto, pero no se han incluido en el esquema por razones de claridad).

2 f): Niveles de PBDE en el medio ambiente y en los humanos

58. Actualmente están bastante bien determinados los niveles de exposición del hombre y del medio ambiente en los países desarrollados, siendo los niveles en América del Norte entre diez y cien veces superiores a los de la Unión Europea y otros países. Únicamente los trabajadores del sector de los desechos de electrónica con exposición intensa y la población circundante de los países en desarrollo y los países con economías en transición soportan cargas corporales similares a las de América del Norte. La literatura principal se resume en los apéndices 3 y 5c).

59. Los datos de tendencias indican que los niveles en el medio ambiente y en la leche humana han ido descendiendo en la Unión Europea desde aproximadamente el año 2000. Hay menos datos de tendencias en EE.UU., pero las indicaciones muestran que los niveles son estables o que posiblemente siguen aumentando.

60. Continúa habiendo una incertidumbre considerable en cuanto a las vías de exposición. La literatura indica una amplia gama de combinaciones de la exposición entre los alimentos y el polvo y la exposición en interiores – con estimaciones según las cuales hasta un 97% de la exposición corresponde a los alimentos (Fromme 2009) y otras según las cuales el polvo es el responsable de hasta el 90% de la exposición total (Lorber 2008). No obstante, estos informes aparentemente opuestos no son irreconciliables. Mientras que los niveles de contaminación por alimentos parecen ser básicamente similares, entre Europa y Estados Unidos las concentraciones del polvo varían sin duda en un orden de magnitud – o incluso más si se consideran los valores atípicos, como se examina más adelante. La carga de la prueba en los artículos publicados apunta a que la exposición al polvo y en interiores contribuye cada vez más a las dosis totales de BDE, a medida que aumenta la concentración de PBDE en el polvo.

61. No obstante, persisten algunas incertidumbres, pues incluso la exposición al polvo no parece ser suficiente para explicar la muy elevada exposición de los casos anómalos con valores extremadamente altos de exposición al PBDE (USEPA 2010).

2 g): Dioxinas/Furanos bromados (PBDD/DF) y Dioxinas/Furanos bromados-clorados formados (PXDD/DF) de forma no intencional

62. Se ha comprobado en ensayos cuantitativos (Mennear 1994, Behnisch 2003, Birnbaum 2003, Olsman 2007, Matsuda 2010) que las dioxinas y los furanos bromados presentan toxicidades similares, y en algunos casos superiores⁹, a las de sus equivalentes clorados en las células humanas y en los mamíferos. En los últimos veinte años se han acumulado pruebas convincentes de que los pirorretardantes bromados, y especialmente el PBDE, son una fuente importante de contaminación por dioxinas y furanos tri-bromados a octa-bromados. Hay una amplia literatura al respecto, tal como se examina en el apéndice 5. Los textos examinados por expertos y la literatura gris muestran claramente que en la fabricación/procesado, reciclado y eliminación de los productos que contienen PBDE o están contaminados por él, así como con los compuestos asociados, hay que tener en cuenta la generación, las emisiones y los efectos de PBDD/DF. Se ha informado de la contaminación por PBDD/DF en humanos (Choi 2003, Kotz 2005, Ericson Jogsten 2010) y en la biota (Ashizuka 2008, Fernandes 2008). Existen concentraciones apreciables para el promedio de la población en la leche humana (Kotz 2005), los alimentos (Rose 2010) y el polvo de las casas (Suzuki 2006, Takigami 2008, Franzblau 2009, Ma 2009, Suzuki 2010).

63. Los PBDD/DF están presentes como contaminantes en el PBDE de calidad comercial (y por tanto en todos los productos que contienen PBDE) y se forman además a través de todo el ciclo de vida del PBDE (apéndices 2 g), 3 b) y c)). Entre los procesos importantes en los que pueden formarse y liberarse los PBDD/DF están:

- a) mezcla del PBDE con polímeros (PBDD/DF en la producción y formación de PBDE);
- b) formación/liberación durante el acabado textil con PBDE;
- c) formación/liberación en artículos utilizados que contengan PBDE y procedentes de ellos;
- d) formación/liberación durante el reciclado de artículos plásticos que contengan PBDE;
- e) formación/liberación durante la combustión accidental de artículos que contengan PBDE; y
- f) formación/liberación durante la combustión de desechos que contengan PBDE (en instalaciones, en situaciones de incineración a cielo abierto y en simples operaciones de reciclado);

64. La generación total de PBDD/DF procedente de todos los tipos de PBDE es del orden de toneladas anuales (Zennegg 2009) y es por tanto de igual escala o incluso superior a las existencias totales de PCDD/DF.

⁹ Es notable en particular que la 2,3-Dibromo-7,8-dichlorodibenzo-p-dioxina y el 2,3,7,8-T₄BDD general hasta 2.5 veces la respuesta tóxica del 2,3,7,8-TCDD – que suele considerarse el producto químico de mayor toxicidad antropogénica.

3. Operaciones para reciclar y recuperar artículos que contengan COP–BDE y evaluación de sus posibles efectos en la salud y en el medio ambiente

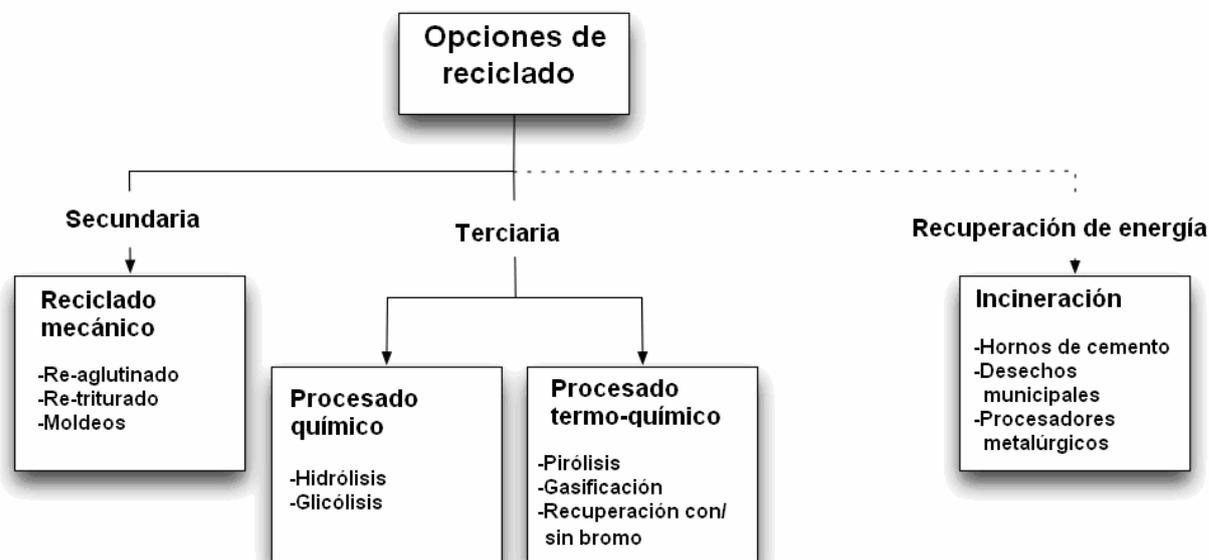


Figura 3: Opciones de reciclado para los polímeros que contienen pirorretardantes bromados y en particular para las espumas de poliuretano

3 a): Operaciones de reutilización y de reciclado secundario

3 a) I): Reutilización directa

65. La reutilización directa de los COP–BDE se da sobre todo en el caso de los muebles, colchones y automóviles. En este último caso, han de considerarse las ventas y exportaciones de automóviles de segunda mano y en menor medida de repuestos. La reutilización de otros materiales que contienen PBDE es menor (véase el apéndice 3).

3 a) II): Reciclado de materiales/reciclado secundario

Plástico

66. Los plásticos con PBDE/pirorretardantes bromados –(principalmente) procedentes de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos con frecuencia se reciclan para generar otros materiales plásticos mezclándolos con materiales polímeros vírgenes. Debido a la mezcla de los tipos de polímeros, los plásticos de aparatos eléctricos y electrónicos generalmente se reciclan y utilizan en productos cuyas aplicaciones no requieren materiales tan especiales. Una verificación de productos plásticos puso de manifiesto que incluso productos usados en aplicaciones delicadas, como los juguetes infantiles (Chen 2009, 2010a) además de los artículos del hogar (Chen 2010c) y las cintas de video (Hirai 2007a) están contaminados con PBDE y otros pirorretardantes bromados. No hay pruebas de que el flujo de plásticos recuperados de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos que contienen PBDE, esté adecuadamente controlado en las operaciones de reciclado.

Espuma de poliuretano

67. La espuma de poliuretano procedente de colchones, muebles, vehículos y posiblemente otras fuentes, se recicla. Su utilización principal es la producción de bases de alfombras para vivienda y oficinas (Eaves 2004). El reaglutinado también se usa en otras aplicaciones como los asientos de autobuses escolares (USEPA 1996) y las esterillas para gimnasia (Zia 2007).

Otros materiales

68. También se reciclan otros materiales que pueden contener COP–BDE. Entre ellos están los textiles, la espuma rígida de poliuretano y otros polímeros utilizados en la construcción. Probablemente la utilización total en estas

aplicaciones sea relativamente pequeña (<5.000 toneladas), y no ha sido posible cuantificar los niveles o la distribución de COP-BDE en ellas ni las cantidades recicladas.

3 b): Operaciones de reciclado terciario

69. El objetivo primordial del reciclado terciario es la regeneración de materias primas purificadas. En el reprocesamiento del producto químico a veces se despolimeriza el artículo y luego se regeneran y purifican los monómeros (u oligómeros) resultantes.

70. Los monómeros a continuación se pueden repolimerizar y el polímero regenerado o reconstituido puede utilizarse para nuevos artículos. El monómero, el polímero (o ambos) se puede mezclar con materiales vírgenes. En el proceso de regeneración pueden intervenir, además del lavado, diversas etapas de purificación del monómero/polímero, tales como destilación, cristalización y nuevas reacciones químicas (USFDA 2006). En algunos casos, el material despolimerizado se utiliza para recuperar energía, más que materiales. En dichas circunstancias, la despolimerización térmica es una forma de recuperación de energía más que de reciclado.

71. El reciclado de materias primas y la recuperación térmica de energía en los procesos térmicos incluyen:

- a) Pirólisis de los materiales que contienen PBDE/pirorretardantes bromados (en aceite o productos químicos);
- b) Recuperación de plásticos en la industria primaria del acero (en donde los plásticos actúan como agente reductor);
- c) Procesos de hidrólisis y glicólisis.

72. No se conoce bien la medida en que se practica el reciclado terciario, aspecto que es preciso investigar en mayor medida.

3 c): Opciones al final de la vida útil

73. Por lo que se refiere al tratamiento de los COP-BDE, la mayoría de los procesos metalúrgicos entran en la categoría de tratamiento al final de la vida útil, más que en la de operaciones de recuperación. Mientras que los metales se recuperan para el reciclado, el polímero al que se le han añadido los COP-BDE no se recupera, sino que se utiliza para la recuperación de energía. También puede haberse introducido en el proceso incidentalmente, por no haberse separado de los materiales con PBDE de los metales que se recuperan. Ejemplo de ello sería el de los automóviles en desuso que se compactan para su recuperación en la industria secundaria del acero sin retirar antes todos los polímeros que contienen PBDE. La presencia, y la recuperación, del metal en estos casos se debe a los procesos de mezcla, generalmente en el proceso de trituración o el compactado, utilizados durante el desguace, más que a cualquier utilización específica de los COP-BDE en componentes metálicos. Esta distribución es ligeramente más ambigua si se considera la recuperación de materiales y de energía en los hornos utilizados para decenas de miles de toneladas de tarjetas de circuito impreso que en ocasiones contienen PentaBDE en la resina, pues se suele añadir plástico con pirorretardantes bromados al proceso.

74. Las opciones para la recuperación de energía a partir de plásticos que contienen PBDE (o únicamente la recuperación de metales incidentalmente mezclados con plásticos que contienen BDE) son:

- a) Hornos de arco eléctrico para reciclado de chatarra férrea;
- b) Aluminio secundario;
- c) Recuperación de antimonio a partir de plásticos con PBDE/pirorretardantes bromados que contienen antimonio;
- d) Recuperación de energía a partir de desechos de gran poder calorífico con PBDE/pirorretardantes bromados en hornos de cemento;
- e) Recuperación de energía y, al menos teóricamente, recuperación de bromo a partir de materiales con PBDE/pirorretardantes bromados en incineradores.

75. Hay evidencias de liberaciones de PBDE y PBDD/DF de varias de estas operaciones – en particular, en las industrias metalúrgicas (Du 2009, Odabasi 2009, Du 2010, Wang 2010). Sigue faltando mucha información sobre todas estas tecnologías en relación con la totalidad de materiales con PBDE procesados y las correspondientes liberaciones de PBDE y PBDD/DF. Existen muy pocos datos sobre la posible contaminación de los trabajadores relacionada con estas liberaciones, tanto para las instalaciones con las mejores técnicas disponibles como para las de los países en desarrollo y los países con economías en transición, por lo que es necesario calcular las liberaciones y la exposición correspondiente en el trabajo en ambas.

76. Una elevada proporción de desechos con PBDE se ha depositado y sigue depositándose en vertederos y basureros. Durante los últimos ocho años se ha publicado una serie de estudios que revelan que de los vertederos se libera PBDE lixivados, agua subterránea y los suelos circundantes (Oliaei 2002, Osako 2004, Odusanya 2009, Danon-Schaffer 2010a, Danon-Schaffer 2010b, Oliaei 2010). Es necesario poner de manifiesto las opciones y límites de los vertidos de desechos con PBDE, teniendo en cuenta el destino a largo plazo de las liberaciones.

77. El que el vertedero sea el sumidero definitivo adecuado para los COP-BDE depende en gran medida del período temporal que se haya usado para la evaluación. Los períodos más largos incrementan también la incertidumbre de las transiciones de la corriente de desechos en el vertedero debidas a los procesos de desbromación anaeróbica (Danon-Schaffer 2010b). Así pues, los peligros de la mezcla de PBDE aumentan constantemente con el tiempo, mientras que los sistemas de vertederos diseñados, incluyendo los que incorporan membranas de revestimiento basal y de cobertura y sistemas de recogida de gases y lixivados, se degradarán inevitablemente y perderán su integridad estructural y su capacidad de contención de la contaminación (Buss 1995, Allen 2001, Simon 2004).

78. Al considerar la eliminación de los PCB en vertederos, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos expresó su inquietud de que “los grandes volúmenes de PCB ya existentes en emplazamientos terrestres de eliminación representan un peligro considerable para el futuro” (USEPA 1979). Los riesgos que plantea el PBDE parecen ser similares y probablemente serán también aplicables a estas inquietudes.

3 d): Examen y resumen de la información sobre la presencia de PBDE en artículos producidos a partir de materiales reciclados y riesgos para la salud derivados de la utilización de dichos artículos

3 d) I): Reutilización directa

79. La reutilización directa de artículos con PBDE se traduce en nuevas liberaciones similares a las de la primera utilización y prolonga la exposición humana. A medida que las cubiertas de protección se gastan y, por ejemplo, la espuma con PentaBDE queda expuesta, puede haber aumentos significativos de las liberaciones y exposiciones.

3 d) II): Reciclado de materiales/reciclado secundario

80. Hay serias inquietudes respecto a los artículos reciclados con contenido de COP-BDE, y en especial por lo que se refiere al PentaBDE en bases de alfombras y al octaBDE en los plásticos reciclados, especialmente los que se emplean en usos delicados, como los juguetes.

Reciclado de espuma de poliuretano

81. En América del Norte durante muchos años la espuma de poliuretano recuperada tras su utilización por el consumidor, así como los retales de producción se reciclaban para las bases de alfombras (aglutinado), tal como se ilustra en la figura 4. Esta vía de reciclado generalmente no se usa fuera de EE.UU. y Canadá¹⁰:

¹⁰ La respuesta del Canadá al cuestionario fue la única que confirmaba el reciclado probable de los COP-BDE. Se refiere a los dos fabricantes que “creen que su base de alfombras hecho con espuma aglutinada puede contener Penta y OctaBDE”. El documento canadiense añade que “no se espera más información hasta que se realicen los análisis de este producto”.

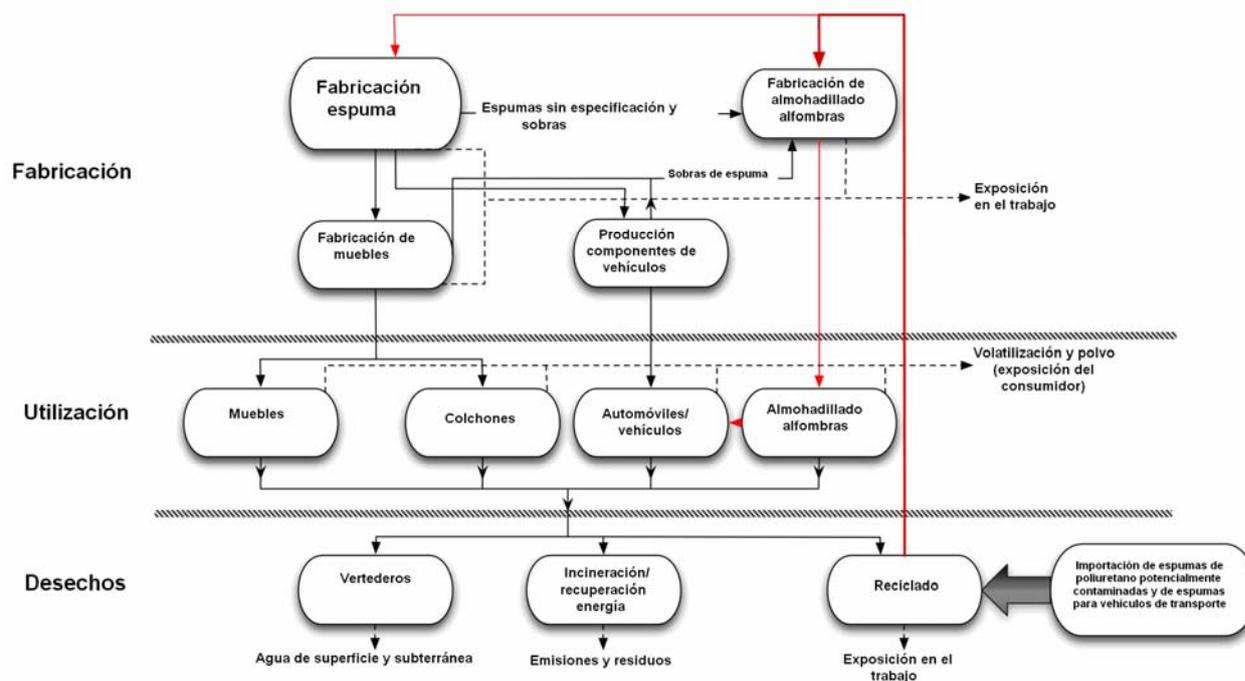


Figura 4: Flujo simplificado de materiales de espuma y vías de reciclado (en rojo) al almohadillado de alfombras (adaptación de (USEPA 2005)).

82. Dado que hace mucho que se usa espuma para el aglutinado, sorprende la falta de información sobre la magnitud de su utilización y el nivel de contaminación. La USEPA no pudo facilitar detalle alguno y los únicos datos encontrados sobre este particular indicaban que en 2002, la industria de aglutinado utilizó 376.000 toneladas de restos de espuma de poliuretano y que de ellas aproximadamente 23.000 toneladas procedían de desechos producidos por el consumidor final (Zia 2007). No hay indicaciones de que la cantidad de estos desechos contenían PentaBDE, pero si se supone, sin exagerar, que el total contenía PentaBDE con una carga máxima probable de alrededor del 5%, se estaría frente a 1.150 toneladas de PentaBDE recicladas para base de alfombras y posteriormente reintroducidas en los hogares y oficinas, donde se perpetúan la exposición y las liberaciones al medio ambiente que se producen cuando las bases se transforman en desecho.

83. La USEPA ha publicado una evaluación detallada sobre la nueva suspensión en el aire de partículas procedentes de alfombras, en relación con los plaguicidas, pero que también es pertinente en este caso (RTI Internacional 2007). Puede verse que al caminar sobre una alfombra de espesor medio vuelve a suspenderse casi el 2% de las partículas comprendidas entre 1 y 10 μm de las fibras de la alfombra. En condiciones más representativas de los juegos infantiles puede volver a suspenderse hasta un 40%. Las consecuencias de un aumento de la exposición de los bebés y los niños pequeños que juegan más próximos al suelo son obvias y también son congruentes con los niveles mucho más elevados de PBDE en los niños notificados, en comparación con los de los adultos (Fischer 2006, Toms 2009, Lunder 2010). Los niveles mucho más elevados de emisión de las alfombras más antiguas pueden contribuir a explicar, al menos en parte, las cargas corporales superiores que de los niños de familias con bajos ingresos (Zota 2010). Es probable que esas familias utilicen muebles y colchones más antiguos, adquiridos tras una restauración, así como alfombras más antiguas.

84. Hay una concienciación creciente respecto a la utilización de desechos contaminados con PBDE en el aglutinado (y algunos fabricantes anuncian su aglutinado con carteles que indican "Sin PBDE" o "sin desechos producidos por el consumidor final"). El reciclado de la espuma de poliuretano con PBDE se traduce en liberaciones constantes de éste y en la consiguiente exposición del medio ambiente y de los seres humanos.

Reciclado de plásticos con PBDE

85. Los conocimientos son aún mucho más limitados sobre el reciclado de productos plásticos tratados con OctaBDE y transformados en productos plásticos alternativos. No obstante, hay un número creciente de ejemplos en la literatura en los que queda claro que el PBDE se ha incluido en los plásticos reciclados para utilizaciones delicadas, como los juguetes. Según los autores del informe encargado por el Ministerio de Medio Ambiente de Nueva Zelandia (Geo & Hydro – K8 Ltd 2010), como parte del proceso de examen del Comité de Examen de los Contaminantes

Orgánicos Persistentes, “durante la fabricación de estos artículos o de los polímeros que se usan para fabricarlos, algunos polímeros reciclados se mezclaron con polímeros vírgenes”.

86. Los artículos que, se supone, incluían polímeros reciclados y piroretardantes bromados incluían la parte posterior de un aparato de TV–LCD; enchufes eléctricos chinos, y el asa de un reproductor de CD.

87. Chen y otros publicaron recientemente datos sobre la exposición de niños, junto con una evaluación de los riesgos sobre los piroretardantes bromados en los juguetes de niños, en el Sur China (Chen 2009, 2010a). La industria formuló una respuesta crítica (Banasik 2010) a la que Chen contestó (Chen 2010b). Chen observó que el PBDE era el piroretardante bromado predominante en los juguetes y representaba, en promedio, el 77,6%, 60,3%, 78,8%, y 45,1% de los piroretardantes bromados en los plásticos rígidos, espumas, caucho/plásticos blandos y peluches, respectivamente. Un juguete de plástico duro tenía una concentración total de PBDE (5.344.000 ng/g) que rebasaba el límite umbral de la Directiva de la UE sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas de 0,1%. Se concluyó que las exposiciones más elevadas se producían en niños de entre 3 y 18 meses que se llevaban los juguetes a la boca, con una exposición total de PBDE de 8,9 ng/kg peso corporal/día. Los niveles de exposición eran significativamente inferiores a la actual “dosis de referencia oral” establecida por la USEPA. No obstante, la USEPA tiene poca confianza en la dosis de referencia. Para los PentaBDE y OctaBDE la dosis de referencia se estableció en 1990 e investigaciones más recientes indican que se observan efectos en la salud en los niveles de referencia o niveles próximos a éstos (como se describe en el apéndice 5 c)). Chen llega, por tanto, a la conclusión de que las exposiciones “son especialmente preocupantes por la exposición relativamente más elevada observada en niños pequeños”.

4. Identificación de las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales para el reciclado de artículos que contengan PBDE

4 a): Métodos actuales para identificar los artículos y artículos reciclados que contienen PBDE

4 a) I): Análisis del PBDE en artículos y otras matrices

88. Las técnicas analíticas más avanzadas para el análisis del PBDE en los congéneres del PBDE que abordó el Convenio (tetraBDE a heptaBDE) son las técnicas de cromatografía junto con un espectrómetro de masas (Rieß 1998, Rieß 2000, Covaci 2003, Kemmlein 2005, International Electrotechnical Commission 2008). En principio, pueden también utilizarse otros detectores para la detección del PBDE, incluyendo el Detector de Captura de Electrones, y el detector de rayos ultravioletas o Detector de Ionización de Llama (Covaci 2003, Covaci 2007). No obstante, como los agentes ignífugos bromados pueden superponerse con los tiempos de retención en la cromatografía de gases (Vetter 2008), estos tres detectores conllevan un cierto nivel de incertidumbre y requieren experiencia en la interpretación de los cromatogramas. Se ha desarrollado una norma internacional, IEC 62321 Ed.1 (International Electrotechnical Commission, 2008) para productos electrotécnicos. En el anexo A de la IEC 62321 se describe la determinación de los PBDE (monoBDE a decaBDE) en polímeros por medio de cromatografía de gas y espectrómetro de masas – incluyendo la extracción, el análisis y la garantía de calidad.

89. Un método alternativo para determinar la presencia de PBDE/piroretardantes bromados en los plásticos sin extracción y limpieza es la pirólisis de plástico pulverizado, acoplada directamente con la detección por cromatografía de gases y espectrómetro de masas (Danzer 1997, Rieß 2000, Paul 2010). Este método se utiliza en una aplicación de renta comercial (Shimadzu 2010), y se lo considera sólido y confiable, tras la optimización de los parámetros y el establecimiento de huellas dactilares químicas de los distintos PBDE y piroretardantes bromados de calidad comercial (Paul 2010).

90. Un método de medición de PBDE a los efectos del Convenio de Estocolmo tendría que centrarse más en los TetraBDE a heptaBDE, y menos en los octaBDE a decaBDE. Las normas internacionales y nacionales desarrolladas actualmente se centran en el PBDE de los plásticos procedentes de los desechos de electrónicos y residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. La aplicación de los requisitos del Convenio de Estocolmo exige una gama más amplia de matrices para la que se requiere un muestreo, preparación de las muestras y protocolos de extracción adicionales.

91. En los países desarrollados se dispone ampliamente de análisis comerciales normalizados de cromatografía de gases/espectrometría de masas del PBDE en plásticos y otros materiales. Ello se debe en gran medida al aumento de la demanda en los últimos años generada por los requisitos de cumplimiento de la Directiva de la UE sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas y otras leyes nacionales. No obstante, el análisis comercial de cromatografía de gases/espectrometría de masas de los agentes ignífugos bromados es aún relativamente costoso. El precio en Europa para los análisis del PBDE es como mínimo unos 180 dólares EE.UU. por muestra.

Consideraciones para los países en desarrollo:

92. Las técnicas de cromatografía de gases/espectrometría de masas todavía no están disponibles en la mayoría de los países en desarrollo y países con economías en transición. La utilización de las técnicas de cromatografía de gases y detector de captura de electrones puede ser una opción en esos países. No obstante, la utilización de un detector de captura de electrones que confirme simplemente la presencia de un compuesto mediante tiempos de retención exige experiencia en la comprensión de las huellas cromatográficas, tal como se detalla en el apéndice 4 a). Por tanto, es evidente que para el establecimiento de una capacidad de análisis específico de PBDE será necesario una labor y recursos significativos orientados hacia la creación de capacidad en los países en desarrollo y países con economías en transición.

93. La experiencia con los análisis de los COP originales (incluso los plaguicidas COP pesticidas) también ha revelado que los laboratorios de los países en desarrollo suelen carecer incluso de las necesidades básicas, tales como las normas analíticas. Al desarrollar los análisis de nuevas clases de compuestos, tales como los PBDE, dichas normas son fundamentales para el establecimiento de las técnicas y posteriormente para la calibración y cuantificación, así como para el control de calidad y la garantía de calidad en los análisis de rutina.

94. La evidencia disponible indica que la mayoría de los países en desarrollo cuenta probablemente con existencias relativamente reducidas de desechos con contenido de COP-BDE. No obstante, es probable que existan algunos puntos críticos – especialmente relacionados con las importaciones de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos procedentes de los países industrializados, con fines de reciclado o reutilización. Para hacer un cálculo estimativo de las cantidades de materiales con COP-BDE en los países en desarrollo deberían efectuarse muestreos y análisis representativos de las corrientes principales de desechos y reciclado, encaminados a determinar el nivel de contaminación debida a volúmenes correspondientes de COP-BDE. Evidentemente, dichos muestreos deberían centrarse en las corrientes más probablemente afectadas, incluyendo los desechos de la electrónica y los residuos de trituradoras.

4 a) II): Supervisión del PBDE en artículos para la separación en flujos de reciclado y de desechos

95. El problema principal es la detección del PBDE para la separación de los artículos que contengan PBDE. Para ello, los métodos normalizados de cromatografía de gases/espectrometría de masas o los métodos de cromatografía de gases con otros detectores, y también los métodos de detección rápida (por ejemplo, la pirólisis y cromatografía de gases/espectrometría de masas) son demasiado lentos para aplicarlos en la práctica en plantas de reciclado o de tratamiento de desechos (véase el apéndice 4). Actualmente el único método práctico para la detección y separación de materiales con PBDE es la separación de todos los materiales que contengan pirorretardantes bromados mediante una detección en línea del contenido de bromo.

96. En la práctica se utilizan tres tecnologías para la detección de bromo (véase el apéndice 4):

- A) Análisis de espectro con chispa deslizante (SSS) (método manual);
- B) Fluorescencia de rayos X. (XRF) (método manual¹¹);
- C) Transmisión de rayos X. (XRT) (para plantas de separación automatizadas).

Cuadro 5: Comparación de los métodos manuales para la separación de plásticos con pirorretardantes bromados y sin él (adaptación de WRAP 2006).

Tipo:	Fluorescencia de rayos X	Análisis de espectro con chispa deslizante
Función primaria	Detectar y cuantificar aditivos	Detectar y cuantificar bromo y cloro
Método de funcionamiento	Los rayos X de baja potencia penetran ~10mm en la muestra, el detector mide los distintos máximos de energía a partir de la fluorescencia de una serie de elementos para dar la identificación y el % de concentración de aditivos	Las chispas de alta tensión en la superficie crean plasma de material vaporizado. Se analiza el espectro de luz para máximos conocidos de longitudes de onda de Br y Cl a fin de estimar el % de concentración.
Peso aprox.	1,7 kilos	0,75 kilos (cañón)
1. Precisión	Muy buena – niveles de ppm de los elementos	Suficiente – al 1% más próximo en la concentración de Br / Cl.

¹¹ Hay al menos un proveedor del método XRF configurado como repartidor automatizado –probablemente esto corresponda más a restos metálicos más homogéneos que a las aplicaciones de plásticos de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos o espumas de poliuretano. Véase <<http://www.innovx.com/en/products/qxt/overview>>

Tipo:	Fluorescencia de rayos X	Análisis de espectro con chispa deslizante
2. Repetitividad	Excelente	Buena –algo de ruido alrededor del nivel 0-1%
3. Fiabilidad	Muy buena	Muy buena
4. Velocidad	Relativamente lento – 15 a 30 segundos	Rápido – 1 segundo
Precio	Aprox. 40–50.000 dólares EE.UU.	Aprox. 6.000 dólares EE.UU.
Aptitud necesaria del operador	Operador técnico que interprete resultados	Operador de fábrica con capacitación básica

4 b): Separación de artículos con PBDE de otros componentes

4 b) I): Separación de artículos con PBDE de otros componentes

97. La detección en línea y separación de artículos con PBDE (plásticos, espumas, textiles, etc.) de otros materiales no es factible actualmente debido a la lentitud relativa de los métodos analíticos descritos anteriormente, a la que se unen las dificultades para automatizar un sistema que de cabida a la mezcla heterogénea de componentes que es necesario separar en la mayoría de los sistemas. El único enfoque actualmente viable es la separación de materiales que contengan cualquier agente ignífugo bromado del material tratado sin piroretardantes bromados¹², con los métodos de separación del bromo detallados en la sección 4 a), es decir, los fluorescencia de rayos X, análisis de espectro con chispa deslizante y transmisión de rayos X. La transmisión de rayos X se utiliza únicamente en sistemas automatizados y debido a su costo relativamente elevado (aprox. 400.000 euros) sólo se emplea en grandes plantas de separación de desechos de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Las fluorescencias de rayos X y los análisis de espectro con chispa deslizante son métodos manuales y no pueden instalarse en los sistemas automatizados que son adecuados para las matrices en las que se encuentran habitualmente los COP–BDE. Los tres enfoques se aplican hoy en día en algunas instalaciones operativas grandes, principalmente en Europa (véase el cuadro 6 *infra*). También se utiliza en algunos países de Europa, tales como Suecia, la separación manual basándose en la experiencia de los trabajadores. Pueden utilizarse las tecnologías de hundimiento y flotación para separar, al menos en cierta medida, los plásticos procedentes de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos con contenido de PBDE/piroretardantes bromados.

98. La separación de plásticos con PBDE/piroretardantes bromados ha de integrarse efectivamente con las tecnologías utilizadas para la separación de plásticos en el reciclado de materiales polímeros (véase el apéndice 4), pues éstas son el auténtico incentivo económico de una planta de reciclado de desechos residuos de aparatos eléctricos y electrónicos

99. Estas técnicas de separación se utilizan hoy en día principalmente para plásticos procedentes de desechos electrónicos. No obstante, dichas tecnologías parecen ser adecuadas para otros artículos con PBDE distribuido homogéneamente en el artículo (por ejemplo, la espuma de poliuretano en los colchones, el transporte o los muebles, o los textiles). No obstante, habrá que seguir ensayando estos métodos y posiblemente habrá que efectuar ajustes en la práctica para otras aplicaciones clave de los artículos que contienen PBDE. Ello plantea problemas económicos, pues la separación de otros artículos para el reciclado es menos interesante económicamente cuando se la comparación con la de los plásticos de especificación estricta utilizados en los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

100. Mientras que las tecnologías manuales (fluorescencia de rayos X, análisis de espectro con chispa deslizante) de separación presentan en los países desarrollados el inconveniente de ser costosas, debido a los salarios elevados, estas tecnologías podrían ser favorables para los países en desarrollo o los países con economías en transición donde el personal tiene sueldos inferiores. Puede ser aplicable en estos casos una combinación de tecnologías análisis de espectro con chispa deslizante y espectroscopia del infrarrojo cercano en un único dispositivo que sea capaz de detectar el bromo y también los plásticos, para separar éstos en fracciones de polímero limpio con un alto valor de mercado.

4 b) II): Eliminación del PBDE de los artículos que lo contienen

101. Se han desarrollado algunas tecnologías para separar los PBDE/piroretardantes bromados o el bromo de los materiales.

a) Proceso CreaSolv® para disolver el plástico y recuperar resinas de plástico y fracciones de piroretardantes bromados (escala piloto) (Schlummer 2010);

¹² Hay una serie de razones prácticas adicionales para separar los materiales con piroretardantes bromados de los que no lo contienen. Esas razones se enumeran en el apéndice 4.

- b) Pirólisis Haloclean de plásticos con contenido de pirorretardantes bromados y etapa de separación del bromo (escala piloto) (Hornung y Seifert 2008);
- c) Reciclado mecánico de tarjetas de circuito impreso, incluyendo la etapa de separación de los pirorretardantes bromados para la recuperación del bromo (escala de laboratorio) (Kolbe 2010);
- d) Incineración con recuperación del bromo (Tange 2004).

102. Todas estas tecnologías se han ensayado a una escala de proyecto piloto o de laboratorio. Algunas, incluyendo los procesos CreaSolv® parecen estar listas para su aplicación en la práctica. No obstante, es necesario realizar nuevas evaluaciones antes de poder formular una recomendación firme sobre las tecnologías. Toda evaluación debe también abordar el tema del nivel práctico de separación del BFR/bromo de los materiales con pirorretardantes bromados considerando el elevado precio actual del bromo (aprox. 2.500 dólares EE.UU./tonelada), así como los mercados futuros para el bromo y lo que éste probablemente contribuirá al rendimiento económico del proceso.

4 c): Evaluación de las mejores técnicas disponibles para el reciclado de artículos que contengan PBDE considerando las exposiciones procedentes del reciclado y las opciones de eliminación

103. Se estima que los flujos de material principales utilizados en las corrientes de reciclado de materiales con PBDE son los plásticos acrilonitrilo–butadieno–estireno procedentes de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, las espumas de poliuretano (colchones, muebles, transporte), los textiles y las tarjetas de circuito impreso.

4 c) I): Plásticos con PBDE

104. Los estudios recientes han demostrado que se han utilizado plásticos con PBDE en la fabricación de artículos en los que no es necesario el agente ignífugo, incluyendo juguetes infantiles, artículos del hogar y cintas de video (Hirai 2007a, Chen 2009, 2010a, Chen 2010c). Esto demuestra que los flujos de plásticos con PBDE/pirorretardantes bromados para el reciclado no están bien controlados y que estos plásticos se están mezclando con corrientes de plásticos sin agentes ignífugos en las operaciones de reciclado.

105. Desde una perspectiva de jerarquía de desechos y de evaluación del ciclo de vida, se recomienda firmemente el reciclado mecánico de los plásticos para nuevas utilidades. No obstante, cuando los plásticos están contaminados con COP peligrosos, se ha de prestar especial atención a cómo se sigue la jerarquía de desechos. En el apéndice 5 c) del informe puede verse que las actuales exposiciones a los COP–BDE presentan niveles con efectos graves para la salud, según se han medido en los estudios epidemiológicos. En estas circunstancias, evidentemente no es adecuado reciclar materiales con COP–BDE para su uso posterior en aplicaciones en las que no puedan controlarse las exposiciones y que puedan ser considerablemente más perjudiciales que la utilización a que estaban destinados originalmente (de una carcasa de impresora a un juguete que pueda morder un niño, por ejemplo). Además, dicho reciclado no es necesario porque se han desarrollado tecnologías para separar fracciones con PBDE y que están funcionando en la práctica. Actualmente, estas tecnologías parecen estar disponibles principalmente en Europa. No obstante, al menos una compañía internacional opera una planta en China. Por otra parte, hay sistemas manuales que no son costosos y que permiten clasificar y separar las corrientes de desechos (normalmente mucho más pequeñas) con BFR, incluso en los países con economías en transición o los países en desarrollo, tal como se describe más adelante.

106. Existen varias opciones para el tratamiento de fracciones separadas enriquecidas con PBDE/pirorretardantes bromados. Puede realizarse un nuevo reciclado de material tras una fase de separación para retirar los PBDE/pirorretardantes bromados mediante el proceso de Creasolv (véase el cuadro 6), por ejemplo. Para la fracción restante muy enriquecida con PBDE/pirorretardantes bromados puede reciclarse el bromo. Esta puede ser una opción interesante, dados los elevados precios actuales del bromo, dependiendo de la eficacia del proceso de recuperación.

107. Esta opción, que se considera competitiva con respecto a otras alternativas cuando se la aplica a escala moderada, satisface los objetivos de la jerarquía de desechos, en relación con la obtención de niveles elevados de recuperación de materiales, reduciendo al tiempo la exposición a los COP–BDE. Aunque parece ser la opción preferible en principio, no puede actualmente recomendarse inequívocamente, pues aún no se ha evaluado el rendimiento operativo a gran escala. No obstante, se ha efectuado y publicado (WRAP 2006) una evaluación amplia de ensayos piloto, incluyendo estimaciones de los costos.

108. Dependiendo del contenido de bromo, puede recuperarse térmicamente en las plantas de cemento o en la industria metalúrgica primaria la fracción rica en PBDE/pirorretardantes bromados. No obstante, considerando las deficiencias de conocimientos sobre las emisiones procedentes de estos dos tipos de instalaciones (véase el cuadro 6 y el apéndice 3), es necesario evaluar más a fondo ambos tipos de instalación antes de poder formular ninguna recomendación definitiva. Se han utilizado diversas tecnologías sin combustión para el tratamiento y la destrucción de otros COP, incluyendo los PCB líquidos (Organismo de Protección Ambiental Danés 2004, McDowall 2004,

Weber 2007, Zinoviev 2007). No obstante, los autores no están al tanto de ninguna operación comercial de estas tecnologías para el tratamiento de matrices de polímeros sólidos. Por tanto, actualmente, la única tecnología probada, que se está empleando a nivel comercial para el tratamiento de la fracción rica en PBDE/pirorretardantes bromados es la incineración con mejores técnicas disponibles (Convenio de Estocolmo 2007a). Dependiendo de la configuración de la planta, ello ofrece la posibilidad adicional de recuperación del bromo. La incineración con mejores técnicas disponibles se practica principalmente en los países industrializados, pero incluso en algunos de estos países (por ejemplo, Canadá, Australia, Irlanda) la incineración no es la mejor opción para el tratamiento de desechos debido a razones distintas socioeconómicas, entre las que se incluyen problemas de aceptabilidad pública, política gubernamental, costos elevados, cuestiones de jerarquía de desechos y pérdida de recursos, así como dificultades de gestión y eliminación de cenizas.

109. Se ha propuesto otra alternativa consistente en el reciclado de materias primas para producir combustible mediante tecnologías de pirólisis (Hornung 2003, Zia 2007). No obstante, una vez más, sólo se dispone de información sobre plantas piloto. En estos casos, los aceites resultantes requieren un tratamiento adicional para eliminar (o desbromar) los contaminantes resultantes. Se ha de tener especial cuidado en reducir la formación de los COP-BDE y PBDF mediante la desbromación del DecaBDE.

Cuadro 6: Tecnologías de separación de plásticos residuos de aparatos eléctricos y electrónicos empleados a escala industrial y a escala piloto y su potencial para la separación de plásticos con contenido de PBDE

Tecnologías de separación de plásticos procedentes de aparatos eléctricos y electrónicos empleadas a escala industrial operativa y su potencial para la separación de plásticos con contenido de PBDE:

Material residuos de aparatos eléctricos y electrónicos	Técnicas de separación	Plásticos separados	Calidad de los polímeros separados	Eliminación del PBDE (productos que cumplen con la Directiva de la UE sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas)	Etapas de desarrollo*	Referencia
Mezcla de plásticos de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (Austria, China)	No comunicada	A) Tipos de bajo contenido de BFR de ABS, HIPS y mezcla de ABS-HIPS B) Fracción de mezcla de plásticos	A) Buena (los clientes especifican) B) No para electrónica	Sí No ^(Deca no cumplió)	Escala industrial	MBA Polymer Patent
Pequeños equipos electrónicos, aparatos electrodomésticos (Suiza)	Incluye XRT	Polímeros sin BFR y PVC	Buena	Si	Escala industrial	(Gerig 2010)
Pequeños equipos electrónicos (Alemania)	Prensado → NIR → NIR → XRT	Tipos de bajo contenido de BFR de ABS y HIPS	No comunicada aún	Niveles reducidos de Br	Escala industrial y piloto	(Krämer 2010)
Plásticos RAEE (Reino Unido)	No comunicada	Tipos de bajo contenido de BFR de ABS y HIPS	Buena	Sí	Escala industrial	(Morton 2007)
Plásticos RAEE (Alemania)	No comunicada (incl. S/F y electrostática)	Tipos de bajo contenido de BFR de APP, ABS y HIPS	No comunicada	No comunicada	Escala industrial	(Schlummer 2010)
Carcasas de TV y de computadoras (Suecia)	Manual, no comunicada	Tipos de bajo contenido de BFR de ABS y HIPS	Buena	Sí	Escala industrial	(Retegan 2010)

Tecnologías de separación de plásticos procedentes de aparatos eléctricos y electrónicos empleados a escala piloto y su potencial para la separación de plásticos con contenido de PBDE:

Carcasas de TV y de pantallas (Alemania)	Desmantelado → S/F	Tipos de bajo contenido de BFR de ABS, HIPS y mezcla de ABS-HIPS	Buena	Sí	Escala piloto	(Schlummer 2006b)
--	--------------------	--	-------	----	---------------	-------------------

Pequeños equipos electrónicos (Austria)	Prensado → S/F → CreaSolv®	Tipos de bajo contenido de BFR de ABS, HIPS y mezcla de ABS-HIPS	Buena	Si	Escala piloto	(Schlummer 2006a)
Carcasas de TV (RU)	Desmantelado → Fracción rica en BFR → CreaSolv®	Tipos de bajo contenido de BFR de mezcla de ABS-HIPS	Buena	Si	Escala piloto	(WRAP 2006)
Carcasas de TV (Alemania)	Desmantelado → S/F (Fracción pesada rica en BFR) → CreaSolv®	Tipos de bajo contenido de BFR de mezcla de ABS-HIPS	Buena	Si	Escala piloto	(Schlummer 2010)
Carcasas de pantallas (Alemania)	Desmantelado → NIR → S/F	Tipos de bajo contenido de BFR de ABS y HIPS y PC/ABS	Buena	Si	Escala piloto	(Schlummer 2009)
Carcasas de TV y de pantallas (Alemania)	Desmantelado → SSL → S/F	Tipos de bajo contenido de BFR de ABS y HIPS	No ensayada aún	Si	Escala piloto	(Schlummer 2009)

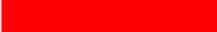
Cuadro 7: Evaluación de las distintas situaciones de tratamiento

<i>Situación (Material)</i>	<i>Aplicación en la práctica</i>	<i>Jerarquía de desechos</i>	<i>Rendimiento económico **</i>	<i>Eliminación/ destrucción de BFR</i>	<i>PBDD/DF</i>	<i>Exposición del trabajador</i>	<i>Exposición del consumidor</i>
<i>Aglutinado (Espumas PUF)</i>	Green	Green	Orange	Red	Yellow	Red	Red
<i>Retriturado (Polímeros)</i>	Green	Green	Orange	Red	Yellow	Red	Red
<i>Moldeado (Polímeros)</i>	Green	Green	Orange	Red	Orange	Red	Red
<i>Creasolv (Polímeros)</i>	Yellow	Green	Yellow	Green	Green	Yellow	Green
<i>Hidrólisis</i>	Orange	Yellow	Orange	Orange	Green	Yellow	Green
<i>Glicólisis</i>	Orange	Yellow	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Green
<i>Pirólisis para combustible/M.Prim.</i>	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Red	Orange	Yellow
<i>Pirólisis / Gasificación</i>	Green	Orange	Yellow	Yellow	Orange	Yellow	Green
<i>Alto horno (Polímeros)</i>	Green	Orange	Green	Green	Yellow	Yellow	Green
<i>Fundidores Cobre (tarjetas de circuito impreso)</i>	Green	Orange	Green	Green	Red	Orange	Green
<i>Fundidores Antimonio</i>	Green	Orange	Yellow	Green	Red	Orange	Green
<i>Arco eléctrico*</i>	Orange	Orange	Yellow	Green	Red	Orange	Green
<i>Aluminio secundario*</i>	Orange	Orange	Yellow	Green	Red	Orange	Green
<i>Hornos de cemento (Todos)</i>	Green	Orange	Yellow	Green	Yellow	Yellow	Green
<i>Incineración HW/MW (Todos)</i>	Green	Orange	Red	Green	Orange	Yellow	Green
<i>Vertederos (Todos)</i>	Green	Red	Yellow	Red	Orange	Orange	Orange
<i>Incineración a cielo abierto (Todos)**</i>	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red

* El material PBDE se introduce solamente con la fracción del metal y por tanto horno de arco electrónico y las industrias de aluminio secundario no constituyen realmente tecnologías de tratamiento.

**El rendimiento económico incluye consideraciones de costos externos.

Puntuaje:

-  Positivo – por ejemplo, bajas emisiones pocos /efectos en la salud y el medio ambiente
-  Incierto –probablemente OK
-  Incierto –posiblemente negativa
-  Negativo – emisiones elevadas/grandes efectos en la salud y en el medio ambiente

110. Una modalidad alternativa, en un estrato inferior en la en la jerarquía de desechos, es la recuperación de energía de toda la fracción de plásticos RAEE en la industria siderúrgica primaria. La siderurgia está presente en todas las regiones (aunque no necesariamente en todos los países) y si cuenta con la tecnología adecuada (más avanzada), puede ofrecer una opción de tratamiento en todo el mundo. Hirai (Hirai 2007b) estimó que ésta sería la alternativa más favorable desde una perspectiva de análisis del ciclo de vida, teniendo siempre en cuenta las limitaciones del contenido de bromo/halógeno como factor de limitación en la industria siderúrgica primaria. La industria siderúrgica japonesa acepta un contenido de halógeno de hasta el 0,5%¹³ (bromo o cloro). No obstante, tampoco está claro en qué medida el antimonio o el bromo presentes pueden tener efectos negativos en el rendimiento o en las emisiones del alto horno o por transferencia a través de los residuos de cenizas de la planta de sinterización. No se han evaluado o comunicado las emisiones de PBDD/DF por esta vía y se requiere más información antes de poder evaluar plenamente este enfoque.

4 c) II): Espuma de poliuretano con PBDE

111. En EE.UU. es muy común reciclar espuma de poliuretano para bases de alfombras. En un primer estudio se han puesto de manifiesto importantes niveles de exposición de los trabajadores y de los instaladores de alfombras. Se desconoce la amplitud de esta actividad de reciclado en otras regiones. Las espumas con PBDE podrían separarse utilizando equipo manual de escaneo de bromo (XRF o SSS) para su detección.

112. En cuanto a las espumas con PBDE no se ha desarrollado aún ninguna tecnología para la separación del PBDE/BFR a fin de reutilizar el polímero.

113. Como la espuma de poliuretano tiene un elevado valor calorífico, pueden aplicarse consideraciones similares a las de las opciones de recuperación de energía en los plásticos. No obstante, la diferencia principal es su gran volumen (baja densidad) que plantea graves problemas logísticos para el transporte, por lo que pueden únicamente tratarse a un nivel relativamente local. La baja densidad tampoco permite (probablemente) su utilización en altos hornos.

4 c) III): Textiles con PBDE

114. No se tienen datos precisos de la magnitud del reciclado de textiles con contenido de PBDE, pero puede suponerse que es pequeña para los materiales compuestos, tales como los que se utilizan en el transporte. También puede llegar a haber cierto reciclado de otros textiles con PBDE. Estos textiles podrán separarse y tratarse térmicamente aplicando las mismas consideraciones mencionadas en el apartado II) anterior.

4 c) IV): Tarjetas de circuito impreso/circuitos impresos (PWB) con PBDE

115. El reciclado del material de estas tarjetas por medios mecánicos funciona aún únicamente a escala de laboratorio, por lo que no puede seguir considerándose aquí el reciclado de materiales de tarjetas de circuito impreso.

116. La vía actual principal de reciclado son los fundidores de cobre, en los que se recuperan el cobre y los metales preciosos y se utilizan los plásticos y resinas como agente reductor. Los fundidores que procesan las tarjetas de circuito impreso necesitan un quemador adicional para la destrucción de los COP de formación no intencional y otras emisiones del horno. Actualmente no se dispone de datos sobre niveles de emisión PBDE, PBDD/DF y PXDD/DF de los cinco a diez fundidores integrados con mejores técnicas disponibles que hay en todo el mundo y se requiere más información antes de poder evaluar plenamente este enfoque.

4 d): Identificación de la capacidad de los países en desarrollo y los países con economías en transición para aplicar las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales (BAT/BEP)

4 d) I): Reciclado de materiales en el caso de artículos con PBDE

117. Actualmente, los plásticos en los países en desarrollo y en los países con economías en transición se reciclan sin que se haya determinado el contenido de PBDE o de bromo. Además, los plásticos con PBDE/BFR procedentes del reciclado de materiales entran en corrientes de plásticos para usos delicados (véase lo mencionado anteriormente y el anexo 4 a). Tal como se describió anteriormente y en el anexo 4, en los países desarrollados se utilizan diversas tecnologías (anexo 4 f).

¹³ En Europa se informa de la aceptación por la industria siderúrgica de un contenido de cloro de hasta 1,5% (Bremen/Alemania) (Tukker 2002) y 2% (Linz/Austria) (Comisión Europea 2009).

Reciclado de plásticos incluyendo la detección de PBDE/pirorretardantes bromados***Separación manual de plásticos con PBDE/pirorretardantes bromados***

118. La separación manual de materiales con PBDE sin ayuda instrumental puede, hasta cierto punto, ser una opción. No obstante, considerando la complejidad de los miles de equipos electrónicos distintos (tipos diferentes, fabricantes diferentes y series distintas para un mismo tipo y un mismo fabricante) y la incertidumbre de que los fabricantes hayan utilizado un tipo de pirorretardantes bromados, la separación manual supone un reto importante. En cierta medida, hay signos que muestran que el plástico contiene materiales con pirorretardantes bromados. No obstante, no queda claro cuántos de los plásticos no marcados contienen PBDE/pirorretardantes bromados.

Separación por medios de selección instrumental de PBD/pirorretardantes bromados

119. También para los países en desarrollo y los países con economías en transición únicamente, la selección y la separación de contenido de bromo puede ser práctica, en particular porque el nivel de salarios es inferior para la separación manual. En este caso, podrían aplicarse las técnicas de transmisión de rayos X y análisis de espectro con chispa deslizando. Teniendo en cuenta el precio y la simplicidad de funcionamiento, la tecnología análisis de espectro con chispa deslizando parece más favorable para los países en desarrollo y los países con economías en transición. Existe equipo de análisis de espectro con chispa deslizando manual, y combinado con un espectrómetro de infrarrojo cercano (NIR) para la identificación del tipo de plástico (el costo es de unos 25.000 dólares de los EE.UU.), que puede utilizarse para producir fracciones de polímero limpias con un cierto valor de mercado. Hay que seguir evaluando las diversas opciones.

Reciclado de plásticos para utilizaciones que no sean delicadas sin determinar el contenido de PBDE/pirorretardantes bromados

120. Puede haber otras aplicaciones en que las concentraciones de PBDE/pirorretardantes bromados sean muy reducidas o destinadas a utilizaciones que no constituyan una amenaza inmediata para las personas y el medio ambiente. Lo importante al reciclar estos plásticos con PBDE/pirorretardantes bromados para utilizaciones menos delicadas es tener en cuenta la eliminación al final de la vida útil, incluyendo los riesgos de la incineración a cielo abierto, la necesidad de una gestión ambientalmente racional y otras obligaciones derivadas del artículo 6 del Convenio de Estocolmo. Esto conlleva un reto para los países en desarrollo y los países con economías en transición si se considera su limitada capacidad de gestión de los desechos, de reglamentación y de análisis. También presenta riesgos a largo plazo de contaminación en utilizaciones delicadas en todo reciclado futuro.

Recuperación de materiales en el caso de espumas de poliuretano con PBDE

121. Los países en desarrollo o los países con economías en transición que mantengan una intensa relación comercial con los Estados Unidos o los países que reciben mercancías como ayuda de dicho país, tal vez reciban artículos tales como automóviles, vehículos comerciales, colchones, muebles, textiles, etc. que contengan niveles significativos de COP-BDE. Las opciones de detección mencionadas para los plásticos pueden aplicarse a la separación de artículos con COP-BDE o contaminados con COP-BDE y a los artículos reciclados. La experiencia en los Estados Unidos revela una elevada exposición a los PBDE en el lugar de trabajo por lo que se refiere al reciclado de las espumas de poliuretano (Stapleton 2008). Así pues, deben continuar evaluándose las opciones y limitaciones del reciclado de las espumas de poliuretano en las distintas regiones.

4 d) II): Recuperación de materiales y recuperación de energía a partir de materiales con PBDE en las industrias metalúrgicas

122. Tal como se mencionó anteriormente, los estudios recientes efectuados en China, Taiwan y Turquía informan de liberaciones de PBDE y PBDD/DF de las industrias metalúrgicas (fundidores de cobre, hornos de arco eléctrico, plantas de sinterizado, industria secundaria del aluminio) y revelan que hay materiales con PBDE/BFR que entran también en estas instalaciones (Du 2009, Odabasi 2009, Du 2010, Wang 2010). Muchos países en desarrollo y países con economías en transición cuentan con algunas de estas instalaciones y, por tanto, posiblemente generen liberaciones.

123. Actualmente no está claro si las industrias metalúrgicas de los países en desarrollo son adecuadas para tratar desechos que contengan PBDE, dado que sus niveles tecnológicos son inferiores a los de los países industrializados. Lo que es más importante, hay amplias deficiencias de conocimientos a este respecto en los países en desarrollo (véase el apéndice 3 y el apéndice 4 d)).

124. Como continúa habiendo considerables deficiencias de conocimientos sobre las distintas industrias metalúrgicas en los países en desarrollo (fundidores de cobre, hornos de arco eléctrico, aluminio secundario, fundidores de

antimonio) no pueden formularse en este momento recomendaciones en cuanto a esas tecnologías para los países en desarrollo y los países con economías en transición.

4 d) III): Reciclado de materias primas y recuperación térmica de energía en procesos térmicos

Recuperación de energía (y recuperación del bromo) a partir de materiales con PBDE pirorretardantes bromados en incineradores

125. Para el tratamiento de los materiales con PBDE deben utilizarse únicamente incineradores con las mejores técnicas disponibles. Los incineradores de desechos municipales están limitados a niveles reducidos de bromo por razones reglamentarias, de corrosión y económicas. Ahora bien, la construcción de incineradores con mejores técnicas disponibles en los países en desarrollo y en los países con economías en transición es dudosa, considerando el coste elevado del tratamiento de desechos (normalmente muy superior a 100 dólares EE.UU./tonelada) (Banco Mundial 2005, Brunner 2007). Por tanto, no es probable que la incineración general municipal de desechos sea una opción viable para el tratamiento de desechos con PBDE en los países en desarrollo, ni ahora ni en el futuro.

126. Actualmente, tampoco hay una capacidad especializada de incineración de desechos en la mayoría de los países en desarrollo. Las propuestas para desarrollar una capacidad de tratamiento especializada de desechos en dichos países, ya sea por incineración o con otras tecnologías no térmicas, resultan inevitablemente muy onerosas. Debería considerarse la posibilidad de poner en práctica las obligaciones de responsabilidad ampliada de los fabricantes y de que los interesados directos financien proyectos (fabricantes, importadores, vendedores y usuarios) pues es poco probable que la población local esté en condiciones de pagar los elevados costos.

Recuperación de energía a partir de desechos con PBDE/BFR en hornos de cemento

127. Los hornos de cemento se utilizan cada vez más en las estructuras de gestión de desechos, también en los países en desarrollo y países con economías en transición, para la recuperación de energía y de materiales (Holcim 2006). Estas instalaciones se han venido utilizando y se emplean actualmente para la destrucción de aceites contaminados con PCB y se ha informado (Karstensen 2006) de la realización de algunos ensayos piloto para la destrucción de plaguicidas en los países en desarrollo. Como no se ha publicado ningún estudio sobre la destrucción de desechos con contenidos de PBDE/BFR, supervisando las liberaciones de PBDE y PBDD/PBDF, incluso en los países desarrollados (véase el apéndice 3c), no pueden actualmente formularse recomendaciones definitivas, incluso para hornos con mejores técnicas disponible secos. No obstante, de la experiencia con grandes hornos secos sin precalentadores ni precalcinadores y de hornos húmedos, se sabe de la formación y la liberación potenciales de PCDD/DF, en particular, cuando se introduce en dichos hornos combustible o materias primas (alternativos) ricos en cloro, y estos dos tipos de hornos no pueden utilizarse para la recuperación de materiales con PBDE. Para la gestión de desechos deben considerarse únicamente hornos de cemento con mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales con precalentadores y precalcinadores de etapas múltiples. Antes de considerar la eliminación rutinaria de todo desecho COP-BDE, debe efectuarse siempre una quema de prueba adecuadamente configurada, y determinar la eficacia de la destrucción, con un análisis de todas las emisiones procedentes del proceso, incluidas las derivadas de los productos y de la chimenea de derivación, y también un muestreo de PBDD/DF.

Pirólisis y gasificación de polímeros y artículos con PBDE/BFR

128. No puede actualmente formularse una recomendación sobre la utilización de pirólisis o gasificación de materiales con PBDE para los países en desarrollo o los países con economías en transición, debido a la falta de experiencias documentadas a gran escala, incluso en los países industrializados (véase el apéndice 3 b).

4 e): Enfoques reglamentarios y estrategias utilizadas en apoyo de la aplicación de BAT/BEP y el control de PBDE

129. En el artículo 6 2) c) del Convenio de Estocolmo se pide a la Conferencia de las Partes que coopere estrechamente con los órganos pertinentes del Convenio de Basilea para definir el término bajo contenido de al que se refiere el artículo 6 1) d) ii) del Convenio de Estocolmo. El Convenio de Basilea ofrece un marco reglamentario internacional que ya aborda la gestión a nivel mundial de los desechos procedentes de aparatos eléctricos y electrónicos y constituye, en cualquier caso, un conjunto de consideraciones clave para este flujo de PBDE. Los flujos de PBDE debería estar sujetos a los requisitos del Convenio de Estocolmo (artículos 2, 3 y 6) y a las disposiciones del Convenio de Basilea una vez establecido el 'bajo contenido de COP' para el PBDE. Esto supondrá probablemente una actualización de las directrices técnicas generales o la preparación de nuevas directrices reglamentarias por el Convenio de Basilea.

130. En los procesos del Convenio de Estocolmo se abordan las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales (BAT/BEP) para los desechos de COP. Las actuales consideraciones en cuanto a BAT/BEP para el control de los COP no intencionales ya abordan algunos temas relativos a los PBDE en algunas instalaciones (por ejemplo, la gestión de desechos, las cualidades de los hornos, las tecnologías de tratamiento de los gases de combustión). No obstante, es probable que algunas secciones necesiten una actualización, a fin de hacer frente a temas específicos para el tratamiento de los PBDE (por ejemplo, la postcombustión en los fundidores de cobre sujetos a especificaciones, la recuperación de residuos de las máquinas desmenuzadoras de automóviles, los temas relacionados con PBDD/DF, etc.). Si se actualizan las orientaciones sobre BAT/BEP para tener en cuenta los PBDE (y otros nuevos COP), la sección dedicada a la gestión de desechos podría entonces abordar aspectos cruciales de las corrientes de desechos que revisten importancia para la gestión de los artículos con PBDE. Podrían añadirse explícitamente nuevas secciones para tecnologías a las orientaciones sobre BAT/BEP (por ejemplo, el reciclado de materias primas para la producción de combustibles).

131. La directiva europea sobre residuos procedentes de aparatos eléctricos y electrónicos abarca los COP-BDE y DecaBDE en este tipo de desechos e incluye objetivos de reciclado. Otras regiones podrían considerar un enfoque similar que incorpore los requisitos del Convenio de Estocolmo. La aplicación respecto a los PBDE sin duda plantea un desafío cuando se considera la escala de las exportaciones recientes de desechos de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

132. Podría considerarse como parte de este proceso el establecimiento de límites adecuados de las emisiones y del bajo contenido de COP para los PBDE y PBDD/DF.

133. También deberían elaborarse orientaciones y recomendaciones para la función de vertedero sostenible¹⁴, considerando la perspectiva a largo plazo de los contaminantes y las medidas de ingeniería y gestión.

134. China ha reforzado ya la reglamentación sobre importaciones de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos y fracciones de polímeros, pero se enfrenta a problemas importantes en relación con la reglamentación efectiva del sector no estructurado y el hecho de que este sector menoscaba las normas más estrictas que se desea imponer. Los proyectos piloto oficiales no han conseguido generalmente recoger suficientes desechos electrónicos, principalmente porque los recicladores extraoficiales pagan a los consumidores por sus desechos electrónicos y los proyectos pilotos no lo hacen (Yu 2010). Se requieren sin duda cambios en los incentivos económicos para complementar de la nueva reglamentación.

5: Examen de la conveniencia medioambiental a largo plazo del reciclado de artículos con PBDE

5 a): Existencias de Penta y Octa BDE y efectos para los niveles de reciclado y los reciclados¹⁵

135. Al menos el 85% del PentaBDE se utilizó en América del Norte – continente que también tuvo lugar la mayoría del reciclado de productos que contienen PentaBDE. La mayoría del PentaBDE restante se utilizó en Europa, aunque una insuficiencia de conocimientos significativa en cuanto a su producción y utilización en China.

136. En Europa, los efectos combinados de los volúmenes relativamente más pequeños de los artículos que utilizan PentaBDE, junto con los plazos de eliminación anteriores y la falta de reciclado y una vida útil del producto relativamente corta, hacen que el máximo de PentaBDE que se entregó para desechos en la UE debe haberse producido en el período 2005–2007. Actualmente en Europa únicamente niveles relativamente reducidos de PentaBDE residual debería encontrarse en los desechos destinados a su eliminación en la UE. Evidentemente, habrá ejemplos de automóviles y muebles más antiguos que continuarán utilizándose durante mucho más tiempo que la esperanza de vida media de dichos artículos. Estos artículos pueden estar exponiendo a sus usuarios a niveles especialmente elevados de PentaBDE si, por ejemplo, las cubiertas protectoras originales están gastadas y la espuma queda a la vista – particularmente en casos en los que se expone a los niños. Por ejemplo, los niños suelen jugar con almohadones de espuma y están expuestos a nubes de polvo fino que probablemente tengan un gran contenido de pirorretardantes.

137. Por tanto, parece probable que en el caso de Europa el del 80% al 95% de las existencias de PentaBDE hayan sido actualmente vertidas o incineradas, con lo cual entre 750 y 3.000 toneladas se han exportado (principalmente a

¹⁴ Sostenible como un sumidero final de los depósitos debería considerar una perspectiva temporal de 10.000 años (Brunner 2004).

¹⁵ Los autores son conscientes de que el término “reciclados” no es universalmente conocido. No obstante, es un término conveniente para “los productos resultantes del reciclado”. El Waste Resources Action Programme del Gobierno del Reino Unido ofrece una definición útil: “material reciclado que se utilizará para formar nuevos productos. Este material probablemente habrá experimentado algún tipo de tratamiento, por ejemplo, las pelotitas de plástico, producidas a partir de botellas de plástico recogidas, para reutilizarlas como nuevo producto.” <http://aggregain.wrap.org.uk/terminology/recyclate.html>.

Estados Unidos para ser reaglutinadas), junto con cantidades menores dejadas en utilidades de larga vida, tales como el aislamiento con espuma rígida, algunos sistemas de transporte público y una cantidad cada vez menor de automóviles antiguos.

138. En América del Norte, los pocos datos disponibles indican que la mayoría del PentaBDE se ha utilizado en productos con una vida útil relativamente corta – principalmente muebles y colchones con una vida útil de unos 10 años. Algunos han, por tanto, llegado actualmente al final de su vida útil, pero una proporción significativa de la espuma se ha recuperado y reciclado para usarse en bases de alfombras. Environ indica que “*las bases de alfombras probablemente contienen entre el 3% y el 5% de retardadores de llama similares a los de las espumas de poliuretano para almohadillas*” (ENVIRON 2003). Las muestras de polvo procedentes de automóviles en Estados Unidos mostraron que los seis niveles más elevados de BDE-47 y BDE-99 se daban en automóviles fabricados en 2004 o años posteriores y que los tres niveles más elevados se daban en automóviles fabricados en Estados Unidos (Lagalante 2009). Esto parece ser probablemente una consecuencia de la utilización de reaglutinado con PentaBDE en nuevos automóviles.

139. Hay algunos motivos para el optimismo en la eliminación definitiva de la utilización del PentaBDE en los muebles en Estados Unidos, como reflejo de la experiencia en Europa. Heather Stapleton tomó muestras de una gama de muebles con contenido de espuma para establecer qué pirorretardantes que había utilizado como sustitución del PentaBDE (Stapleton 2009). Encontró TDCPP y TPP en más del 96% de las muestras de polvo en concentraciones similares, y en algunos casos superiores, a las del PBDE. Esto indica que su utilización como sustitutos del PBDE puede haberse iniciado varios años antes del muestreo. Sólo una muestra de espuma de los 26 muebles distintos adquiridos entre 2003 y 2009 contenía PentaBDE (0,5%). Esta muestra se recogió de un futón que fue (probablemente) comprado antes de 2004. El nivel relativamente reducido de PentaBDE hallado en ese futón era inferior a la carga que se aplicaría como pirorretardante. Esto indica que la presencia de PentaBDE puede haberse debido a que el acolchado del futón estaba hecho con espuma con contenido de PentaBDE reciclado.

140. América del Norte comenzó a utilizar computadoras mucho antes que el resto del mundo, y la utilización de computadoras personales en Estados Unidos aumentó rápidamente en el periodo de utilización de OctaBDE – aunque la utilización en computadoras, se habrá sustituido en gran medida por otros pirorretardantes bromados y, cada vez más, pirorretardantes no halogenados durante este periodo, lo cual debe haber tenido un efecto significativo en las existencias actuales y remanentes. Cabe notar que únicamente Japón, Australia, Nueva Zelanda y Europa occidental, en donde la penetración aumentó a un ritmo similar a partir del periodo 1985–2005, fueron consumidores importantes de OctaBDE durante el periodo de máxima utilización de esa sustancia, entre 1985 y principios de 2000. Como consecuencia de ello, puede preverse, en consonancia con la información conocida sobre producción y utilización, que las existencias principales de OctaBDE habrán probablemente estado en América del Norte, con existencias muy inferiores en Europa y Japón, y con una utilización intencional relativamente pequeña de OctaBDE en el resto del mundo. Más recientemente, las exportaciones procedentes de Estados Unidos han ido haciendo disminuir las existencias, tal como se describe en la sección 5 b).

141. Los datos de demanda del mercado de la empresa BSEF (véase el apéndice 2) indican que en 2003, la demanda de mercado de OctaBDE estaba dividida de la siguiente manera: algo menos del 40% en América y Asia, cerca del 16% en Europa y menos del 5% en el resto del mundo. Cabe prever razonablemente que la mayor parte de la utilización de OctaBDE en Asia se exportó a otros países (particularmente, dados los índices limitados de utilización en esa época en otras regiones), a América y a Europa en carcasas de equipo de computadoras y de oficina.

142. Se estima que la situación del OctaBDE es similar a la del PentaBDE en Europa, en que la mayoría de las existencias ha llegado al final de su vida útil. Estos desechos se han tratado en la infraestructura de gestión de desechos actual y, en el caso de los plásticos ABS, la mayoría se ha enviado a vertederos – aunque ha habido exportaciones considerables para recuperación en sistemas de reciclado básicos, y a menudo muy contaminantes. A partir de un número limitado de estudios, parece que los niveles de OctaBDE en desechos mezclados de aparatos eléctricos y electrónicos en la UE están por debajo o cerca del límite de la Directiva de la UE sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas de 0,1% y que las fracciones con alto contenido de BFR tras los pasos de separación parecen ser superiores al nivel de la Directiva de la UE sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas.

143. Los agentes ignífugos tetrabromobisfenol A (‘TBBPA’) y 1,2-bis(tribromofenoxy)-etano (TBPE) se utilizaron recientemente como sustitución del OctaBDE como agentes ignífugos para el ABS a lo largo de la década del 90 (Schlummer 2007).

144. La máxima incertidumbre reside con mucho en las existencias en Estados Unidos de OctaBDE – en particular los equipos eléctricos antiguos que frecuentemente se almacenan durante varios años antes de su eliminación o exportación.

5 b): Información sobre el volumen potencial del comercio de artículos reciclados con contenido de PBDE, incluyendo los que van de los países desarrollados a los países en desarrollo

145. No hay duda de que el comercio mundial de productos (reciclados o nuevos) y de desechos puede haberse traducido en un movimiento rápido y generalizado de PBDE (Hale 2006). Por ejemplo, históricamente se estima que más del 70% del PentaBDE importado en Europa se incorporó como retardador de llamas en artículos manufacturados (Risk & Policy Analysts Limited 2000).

146. La tendencia actual se dirige en la actualidad claramente en sentido opuesto, yendo las exportaciones de Europa, el Japón, el Canadá, Australia y los Estados Unidos principalmente hacia China, la India, el Sudeste Asiático y África.

147. Más del 70% de los plásticos recuperados que se comercializan a nivel mundial se utilizaron en China, pasando la mayoría del tráfico por Hong Kong. El comercio de plásticos desechados abarca una gama de distintos polímeros, aplicaciones y calidades de material –desde chatarras posteriores a la producción y existencias no utilizadas, pasando por plásticos secundarios procesados y semiterminados, hasta materiales no procesados posteriores a su uso por el consumidor. Los Estados Unidos y el Japón son los principales exportadores de plásticos a China y en cada caso esto incluye una elevada proporción de plásticos procedentes de desechos de aparatos eléctricos y electrónicos con contenido de PBDE.

148. Dadas las dificultades analíticas particulares y la falta de capacidad (y de motivación) para el análisis en los países en desarrollo que tratan los reciclados, es poco probable que los COP–BDE se hayan controlado de forma especialmente eficaz en los reciclados de la mayoría de los países en desarrollo o con economías en transición. Hay muy poco o ningún control real de los productos que se han fabricado o se están fabricando utilizando polímeros contaminados con COP–BDE. Es muy probable que hayan sido utilizados, al menos ocasionalmente, para aplicaciones con un potencial mucho mayor de exposición que las aplicaciones originales. Esto puede incluir, sin duda, tuberías de agua, juguetes y envoltorios de alimentos/materiales de contacto (platos, tazas y vajillas) de ABS. Desafortunadamente, no se ha podido ofrecer una mejor indicación de las cantidades porque no se pudo obtener información alguna de las autoridades de China – o los principales exportadores a China –, sobre los niveles de COP–BDE en los desechos y los polímeros que se han exportado.

5 c): Evaluación de los costos y beneficios de la retirada o el mantenimiento de la exención al reciclado de artículos que contengan PBDE

149. El Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes, al preparar la inclusión de los COP–BDE, consideró los temas de toxicología con cierto detalle y dejó claro que “*no corresponde al Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes establecer un nivel reglamentario, para cuya construcción sería menester un conjunto de datos más amplio*” (Convenio de Estocolmo 2007b). Los enormes volúmenes de datos toxicológicos detallados necesarios para establecer dichos niveles rebasan el alcance de este examen, ya de por sí muy amplio. En su lugar, se han examinado los niveles establecidos por las autoridades de reglamentación y las evaluaciones de los riesgos que figuran en los artículos publicados (teniendo, así, en cuenta los retardos temporales inevitables entre la información de los acontecimientos en las publicaciones científicas y la aplicación de los controles reglamentarios), y se ha efectuado una evaluación de los niveles que se han establecido en relación con la consideración de los riesgos actuales y futuros. Se abordan las principales vías de reciclado para los artículos que más se reciclan (espuma de poliuretano, desechos eléctricos y electrónicos, tarjetas de circuitos impreso).

150. Entre los grupos considerados como de mayor riesgo si se exponen a los COP–BDE como consecuencia del reciclado están:

- a) Trabajadores de las operaciones de desechos electrónicos de baja tecnología;
- b) Habitantes de las zonas de los países en desarrollo y los países con economías en transición en donde se efectúan operaciones intensivas con desechos electrónicos de baja tecnología;
- c) Trabajadores de la fabricación/reciclado/instalación de productos de espuma (expuestos al PentaBDE);
- d) Niños pequeños y bebés – especialmente los de los países o localidades en los que las cargas corporales ya son elevadas. En estas situaciones, es probable que los productos reciclados se añadan a los existentes con elevados niveles de exposición;
- e) Trabajadores de las fundiciones que procesan tarjetas de circuito impreso (posiblemente expuestos al PBDE procedente de las tarjetas de circuito impreso, al OctaBDE procedente de los plásticos de RAEE, y a las correspondientes liberaciones de PBDD/DF);
- f) Mujeres en edad de procrear y mujeres embarazadas, en relación con los efectos sobre el desarrollo neuronal del feto.

151. Los mejores datos para una evaluación sólida proceden de un estudio en donde se examina una cohorte relacionada con un gran grupo pertinente vulnerable a las exposiciones procedentes de artículos reciclados con contenido de PBDE, en relación con las evidencias epidemiológicas recientes obtenidas por Herbstman y otros (Herbstman 2010).

152. Se efectúa, pues, una evaluación para este grupo basándose en los resultados más sensibles de la literatura actual. Se considera que es un enfoque válido en vista de que, si un grupo general de una población más amplia está expuesto a niveles perjudiciales, se deduce que los que están más expuestos debido a la exposición en el trabajo, probablemente sufran efectos más intensos. Por tanto, toda evaluación financiera que se base en un grupo general será muy conservadora, en comparación con los daños causados a los sectores más expuestos. Para otras situaciones de exposición, la base de conocimientos disponibles es, en cualquier caso, demasiado reducida como para efectuar una evaluación razonable de los costos.

153. Las exposiciones probables asociadas al reciclado de los COP-BDE, al menos en el caso más desfavorable, son similares a las de los niveles ya comunicados procedentes de las utilidades existentes. No obstante, el tamaño de la población afectada se reducirá con el tiempo, a medida que las existencias de los COP-BDE pasen de ser productos para terminar en los sumideros.

154. La utilización de las dosis de referencia de la USEPA, establecidas en 1990, ofrece una perspectiva por lo general tranquilizadora de las actuales exposiciones – aunque las dosis de referencia se refieren a lactantes y a algunos niños pequeños, basándose en hipótesis de ingestión elevada de polvo, así como a ciertos casos atípicos de gran exposición entre adultos. No obstante, es más prudente, en particular dado el nivel reducido de confianza que la USEPA tiene en estas dosis de referencia, tener en cuenta los estudios e investigaciones de epidemiología más recientes aparecidos en los últimos veinte años. Esto indica que los efectos a escala de población en los seres humanos se ajustan a la investigación que se viene realizando desde hace tiempo en relación con los efectos en el desarrollo neuronal a partir de experimentos con animales.

155. Las exposiciones actuales rebasan el nivel sin efectos adversos observados (NOAEL) obtenido por el Instituto Nacional para la Salud Pública y el Medio Ambiente de los Países Bajos (RIVM) incluso en Europa – y de forma muy significativa en los Estados Unidos, lo que indica que hay que reducir las exposiciones actuales. En el apéndice 5 se examinan los costos aproximados de los daños en la salud asociados a las exposiciones a los COP-BDE en el reciclado de espumas, al ser ésta la situación de exposición de la que se cuenta con los mejores datos, aunque éstos siguen siendo limitados. Las hipótesis más prudentes indican que los daños en la salud, sólo en California, rebasan los 55.000 millones de dólares EE.UU. Los actuales niveles de reciclado para bases de alfombras, basados en los flujos obtenidos por Zia (Zia 2007) pueden ser los causantes de daños valuados aproximadamente en 6.000 millones de dólares EE.UU./año, suponiendo un reciclado total de 1.150 toneladas de PentaBDE. Incluso suponiendo que sólo el 10% de la espuma reciclada contiene PentaBDE, los costos al año serían entre 40 y 120 veces superiores al valor del mercado perdido, si hubiese que poner fin al reciclado de espumas con COP-BDE.

156. El efecto en la industria sería de hecho muy inferior a los costos de todas las espumas obtenidas después de su uso por el consumidor y utilizadas para bases de alfombras. Un enfoque de costo reducido para que la industria de reciclado de espumas de poliuretano evite la contaminación de sus productos por los COP-BDE sería la de seleccionar y separar las espumas contaminadas utilizando los métodos de selección manuales examinados anteriormente y en el apéndice 3.

157. No obstante, en los países en desarrollo y los países con economías en transición, el reciclado de RAEE (práctica predominante de reciclado de plásticos RAEE) que contaminan las corrientes de plásticos para usos delicados (juguetes infantiles o artículos del hogar) y dan lugar a emplazamientos de alta contaminación por PBDE y PBDD/DF, no puede justificarse desde el punto de vista de las consideraciones económicas. La evaluación de los costos asociados a los emplazamientos contaminados y su descontaminación tendrá que incluir otros contaminantes, tales como los metales pesados procedentes de los RAEE, lo cual excede el alcance de este estudio. No obstante, la contaminación por los PBDE, PBDD/DF y PXDD/DF en el suelo y en la atmósfera, y las exposiciones correspondientes y niveles de PBDE en la leche humana (los PBDD/DF y PXDD/DF no se midieron) demuestran que los PBDE son contaminantes pertinentes en esos emplazamientos.

158. Para la evaluación del tratamiento de las tarjetas de circuito impreso en los sistemas de fundición es necesario contar con datos sobre contaminación por PBDE y PBDD/DF en los trabajadores y las liberaciones de PBDE y PBDD/DF en el medio ambiente y los daños correspondientes, así como la exposición humana. Dichos datos serán específicos de cada planta. Tal como se ha señalado anteriormente, es necesario definir en primer lugar los requisitos en cuanto a las mejores técnicas disponibles para estas instalaciones, tras evaluar los niveles de liberación.

Apéndice 5 d): Efecto del mantenimiento y la retirada de la exención a las necesidades de los países en desarrollo y los países con economías en transición

159. Es necesario considerar las necesidades particulares de los países en desarrollo y los países con economías en transición, en el caso de que la opción de reciclado sea:

- a) Retirada – se retira la exención al reciclado de artículos con PBDE; y,
- b) Mantenido – se mantiene la exención al reciclado.

Opción de exención del reciclado retirada, es decir, no se permite el reciclado de artículos con COP–BDE:

160. Teniendo en cuenta la información recogida sobre el inventario de PBDE, parece probable que por lo referente a los países en desarrollo, los flujos de importación de materiales para el reciclado resultarían únicamente afectados en pequeña medida. La mayoría de los países en desarrollo y con economías en transición no cuentan con grandes existencias de COP–BDE en sus propios países. Si se retira la opción de reciclado, las partes se verán obligadas a cumplir las disposiciones de los artículos 3 y 6 que rigen la producción, utilización, importación y exportación de los COP y de los desechos con COP, incluyendo productos y artículos. Las Partes se verán obligadas a eliminar los desechos con COP–BDE (incluyendo productos y artículos), de forma que el contenido de COP de los desechos se destruya o se transforme irreversiblemente sin que vuelva a presentar características de COP, o a utilizar otros métodos si no es ésta la opción preferida desde un punto de vista ambiental o si el contenido de COP de los desechos es reducido. La exportación de materiales con COP–BDE sólo se autorizaría para una eliminación ambientalmente racional.

Aspectos positivos:

- a) Se reduce la exposición humana y medioambiental a los COP–BDE procedentes de artículos reciclados;
- b) Se reduce la posibilidad de exportar COP–BDE a los países que no cuentan con la infraestructura para el tratamiento de estos tipos de desechos;
- c) Se protegen los mercados de reciclado ante los riesgos de fuertes reacciones del consumidor a la contaminación de artículos reciclados por los COP. La garantía de que los materiales reciclados no estén contaminados por los COP es extremadamente importante para el desarrollo y el mantenimiento de mercados de materiales reciclados;
- d) Parte de labor de selección orientada hacia los PBDE en los flujos de reciclado y de materiales (RAEE, plásticos de RAEE, espuma de poliuretano en colchones y muebles) dará por resultado a una gestión más sostenible de dichos flujos;
- e) La supervisión de la presencia de los PBDE en los bienes de consumo y la selección y retirada definitiva de los artículos de consumo contaminados que se utilizan en la vida cotidiana, tales como los muebles y colchones con PBDE, es una herramienta importante de concienciación que puede traducirse en una mucho mejor protección del consumidor. La información y la puesta de manifiesto de que los materiales utilizados en la vida cotidiana pueden contener COP peligrosos puede resultar uno de los mejores instrumentos para concienciar al público y a los políticos y para educar a los consumidores acerca de las repercusiones de sus elecciones a la hora de comprar, tal como se describe en el artículo 10. Ello puede contribuir al desarrollo de un consumo más sostenible. También puede utilizarse para concienciar a los fabricantes y exportadores con el fin de que cuiden más el contenido de los productos químicos presentes en los artículos de consumo, lo que dará lugar a una producción más sostenible por lo requisitos correspondientes de los fabricantes e importadores a la cadena de suministro;
- f) El examen crítico de los PBDE en los materiales puede contribuir a fomentar las ventajas de los programas de ampliación de la responsabilidad del fabricante y a alentar a los países a que adopten medidas jurídicas en este sentido. Estos programas dan lugar a un aumento de la protección de los consumidores y a una producción más sostenible que también beneficia a la industria;
- g) El aumento de las restricciones en cuanto a la retirada definitiva de los PBDE debe estimular la innovación e incitar a las industrias pertinentes (industria química, industria de polímeros, industria electrónica) a considerar en el futuro con más detalle las evaluaciones del ciclo de vida completo al seleccionar las alternativas en cuanto a agentes ignífugos.

Aspectos negativos:

- a) Se necesitan recursos y capacidad técnica para efectuar un inventario y evaluaciones de los COP–BDE en los desechos;

- b) Persisten algunas incertidumbres en cuanto al reciclado de fracciones enteras de plástico de RAEE, por lo que habrá más material que probablemente requiera clasificación y eliminación;
- c) Se necesitan recursos y capacidad técnica para la gestión racional desde un punto de vista del medio ambiente de los COP-BDE que garantice que el contenido de COP de los desechos se destruye o se transforma irreversiblemente;
- d) Si un país ha recibido espuma de poliuretano producida en los Estados Unidos, habrá que examinar dichos materiales para detectar la presencia de PBDE y probablemente retirarlos. Esto se traducirá, no obstante, en una menor exposición de los trabajadores y del público.

Opción de reciclado mantenida –se permite el reciclado de artículos con COP-BDE:

Aspectos positivos:

- a) Todo sigue igual, con pequeñas modificaciones de las reglamentaciones;
- b) Se necesitará un menor examen de selección con algunos materiales que puedan contener COP-BDE. No obstante, seguirán siendo necesarios los exámenes de detección para algunos mercados y, de forma creciente, para los grandes clientes con riesgos (principales vendedores, etc.) que actuarán unilateralmente para evitar los productos contaminados con COP-BDE.

Aspectos negativos:

- a) Mayor riesgo de que los materiales y artículos contaminados con COP-BDE se exporten de los países desarrollados a los países en desarrollo o a los países con economías en transición en los que la regeneración y el reciclado pueden tener efectos graves en la salud y el medio ambiente;
- b) Las posibles reacciones fuertes de los consumidores a la contaminación de artículos delicados, tales como juguetes, con COP puede afectar gravemente a los mercados de todos los productos reciclados, con grandes efectos perjudiciales en la credibilidad futura de los materiales reciclados. Esto, a su vez, puede hacer aumentar la demanda de productos vírgenes y dañar gravemente la economía del reciclado;
- c) Mayor exposición a materiales o artículos con PBDE producidos en el país o importados, lo que acarrea una evidente degradación de la salud y del medio ambiente;
- d) Menos incentivos para la búsqueda de materiales con PBDE en el país para su eliminación, lo que probablemente se traduzca en una mayor generación de PBDD/DF por una gestión inadecuada de los desechos y la incineración a cielo abierto;
- e) Menos incentivos al desarrollo de sistemas de supervisión y posiblemente a la investigación de los flujos de PBDE y de materiales de agentes ignífugos bromados en general en los países;
- f) El reciclado de los COP sienta un precedente que puede resultar interesante en los casos futuros de COP propuestos. Los países en desarrollo y los países con economías en transición son invariablemente los receptores de grandes cantidades de materiales contaminados procedentes de los países industrializados, pero no cuentan con ninguna capacidad, o muy poca, siquiera para analizar y mucho menos tratar estos productos químicos cuando pasan a ser desechos. La protección futura de los países en desarrollo y los países con economías en transición se reduciría si se permite el reciclado de los futuros COP o si se socava la credibilidad del Convenio de Estocolmo al no proteger la salud humana y el medio ambiente.

5 e): Recomendaciones sobre la conveniencia ambiental a largo plazo del reciclado de artículos con PBDE

161. La Secretaría recibió una sola respuesta de las Partes y observadores, proveniente del Canadá, confirmando el probable reciclado de PBDE. Se refería a dos fabricantes que “creen que las bases de alfombras hechas con espumas reaglutinadas pueden contener Penta- y OctaBDE”. El documento del Canadá añadía que “no se facilitará más información hasta que pueda efectuarse un análisis de este producto”. Aunque no hubo respuesta de los Estados Unidos, se sabe también que hay fabricantes de reaglutinado que utilizan espuma que contienen PentaBDE.

162. Aunque las Partes y los observadores no lo identificaron, otras corrientes de desechos que según se cree incluirán probablemente materiales reciclados con PBDE son el reciclado de plásticos ABS y otros polímeros, procedentes principalmente de carcasas de computadores y equipos de oficina.

163. También se reciclan metales a partir de las tarjetas de circuito impreso, pero en este caso los COP-BDE quedarán destruidos en gran medida si se utilizan fundiciones con mejores técnicas disponibles. No obstante, es

necesario elaborar normas sobre mejores técnicas disponibles para estas instalaciones y hay que continuar evaluando las liberaciones de PBDE y PBDD/DF.

164. Ni las Partes ni los observadores han dado ninguna indicación sobre la escala de las operaciones probables de reciclado o sobre el valor económico de dichas operaciones. Las estimaciones del presente examen indican que el valor de los artículos reciclados con PBDE es muy reducido – especialmente si se compara con la escala de los daños en la salud y el medio ambiente. Se señala que:

- a) El reciclado de plásticos y polímeros es generalmente deseable, pero se ha comprobado que no se ha prestado ninguna atención, o muy poca, a los riesgos asociados con la contaminación de los reciclados – incluso en los países que tienen restricciones, tales como los de Europa. Esto se refleja en la escasez de la información que facilitan las Partes a la Secretaría;
- b) Por tanto, la necesidad de eliminar los tóxicos, incluido el PBDE, resulta cada vez más importante y necesaria, en vista de la falta de un control eficaz de la contaminación producida por las corrientes de reciclado de los desechos plásticos – está claro que incluso los usos delicados tales como los juguetes infantiles, están siendo contaminadas por PBDE;
- c) La separación es posible, no siendo especialmente onerosa, y puede ponerse en práctica rápidamente y con relativa facilidad;
- d) Es necesario retirar definitivamente el PBDE de las espumas de poliuretano, a fin de proteger al consumidor y a los trabajadores. Las espumas puede examinarse y separarse con tecnologías de detección del bromo y luego se puede reciclar la espuma que no contengan BFR,
- e) La recuperación de metales a partir de las tarjetas de circuito impreso en los hornos de fundición es sin duda útil desde una perspectiva de reciclado de materiales, pero es necesario continuar evaluando las liberaciones secundarias de PBDE y PBDD/DF – incluso para las plantas actualmente consideradas representativas de las mejores técnicas disponibles. Estas instalaciones procesan actualmente decenas de miles de toneladas de desechos con PBDE y otros precursores de PBDD/DF. Es necesario definir en las orientaciones sobre mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales del Convenio de Estocolmo normas sobre dichas mejores técnicas disponibles, tales como los requisitos de las configuraciones después de la combustión y los dispositivos de control de la contaminación del aire;
- f) Es necesario continuar evaluando otras tecnologías de recuperación térmica (otras industrias metalúrgicas secundarias, hornos de cemento, tecnologías de reciclado de materias primas) utilizadas para el reciclado y la recuperación o la destrucción, y hay que definir en las orientaciones del Convenio de Estocolmo sobre BAT/BEP las condiciones de funcionamiento para el tratamiento de materiales con PBDE.

165. Hay un riesgo importante para la credibilidad a largo plazo del reciclado, si los consumidores asocian los productos reciclados a la contaminación por COP. Esto puede tener un efecto profundamente dañino en las industrias de reciclado, no sólo de polímeros, sino, por asociación con las repercusiones de la poca reglamentación y el control de calidad deficiente, de otros materiales. Esto a su vez puede tener un efecto importante en la demanda de materiales vírgenes en un momento en el que es crucial la promoción del reciclado – y no sólo como instrumento para reducir los efectos del cambio climático. Nicholas Stern (Stern 2009) escribió:

166. “El reciclado ofrece ya una contribución importante para la reducción de las emisiones. Sin duda, la magnitud de esa contribución se desconoce tanto que podría describirse como uno de los “secretos mejor guardados” en la energía y el cambio climático. Las nuevas tecnologías para la separación de los distintos desechos pueden también tener una gran repercusión”.

167. El reciclado de artículos con PBDE (cuando los artículos no han sido primeramente tratados y retirado el PBDE) debe detenerse lo antes posible. De no ser así, se producirán grandes cantidades de PBDE que se dispersarán en matrices de las que no es técnicamente y económicamente viable la recuperación. Los temas en juego incluyen la capacidad del Convenio de Estocolmo para lograr su objetivo principal y la credibilidad entre los consumidores del reciclado arriesgando recursos vitales en un momento en el que la conservación es crucial.

168. Por último, debe señalarse que las concentraciones de COP–BDE en los artículos de primer uso se encuentra en niveles en los que su identificación, al menos sobre la base del contenido de bromo, es simple empleando técnicas relativamente baratas. Si las concentraciones de COP–BDE se diluyen por el reciclado, su identificación posterior para su recogida y tratamiento se hace mucho más difícil, la identificación de las corrientes de desechos que posiblemente resulten contaminadas se hace más problemática – y habrá que tratar volúmenes mucho más importantes de material. Por tanto, en la práctica si se permite el reciclado de artículos con COP–BDE, es probable que la recuperación futura de estos COP sea mucho más difícil e incluso imposible. En estas circunstancias, sería inevitable la contaminación generalizada del ser humano y del medio ambiente.

5 f): Recomendaciones para la eliminación del PBDE

169. Los COP–BDE deben eliminarse como se describe en los artículos 3 y 6 para evitar una nueva contaminación de los flujos de reciclado de material y de los productos procedentes del reciclado, y a fin de reducir al mínimo toda nueva contaminación de los seres humanos y del medio ambiente.

5 f I): Artículos con PBDE destinados al reciclado

170. La mayor parte de las existencias de PBDE se encuentra en artículos de los países desarrollados. Por las modalidades actuales de gestión de desechos hay una gran probabilidad de exportación de una amplia proporción de estas existencias a los países en desarrollo y a los países con economías en transición para su reciclado.

PBDE en los RAEE

171. Una gran proporción de los RAEE con PBDE se envía a los países en desarrollo o a los países con economías en transición para el reciclado o la reutilización. Esto suele provocar la contaminación de los trabajadores y del medio ambiente a causa de los métodos primitivos de reciclado utilizados (véanse los apéndices 3 c) y 5 c)). Para solucionar este problema se están llevando a cabo actualmente una serie de iniciativas internacionales, que incluyen programas del Convenio de Basilea. Esto es también una esfera prioritaria de Enfoque Estratégico para la Gestión Internacional de Productos Químicos (SAICM). Había que armonizar las futuras actividades del Convenio de Basilea y de SAICM con las actividades en curso del Convenio de Estocolmo para garantizar una gestión ambientalmente racional de esta corriente de desechos.

PBDE en plásticos procedentes del reciclado de RAEE

172. Las tecnologías de separación de plásticos con BFR funcionan a escala comercial. Tras la separación de materiales con y sin BFR, la fracción que contiene BFR puede destruirse o puede retirarse el PBDE/BFR del polímero como en los procesos Creasolv. Ello permite reciclar la fracción de resina limpia y recuperar la fracción con un alto contenido de bromo.

173. Si la fracción del plástico con PBDE/BFR se destruirá o recuperará térmicamente, esto debe realizarse en instalaciones adecuadas, asegurándose de que el proceso de destrucción no libere PBDE o forme y libere de PBDD/DF.

174. En diversas regiones se prevé que el contenido de COP–BDE sea muy reducido, pero esto exige confirmación con algunos inventarios y estudios de evaluación

Espuma de poliuretano con PBDE

175. Puede utilizarse equipo manual sencillo para detectar el contenido en bromo de las espumas de poliuretano recuperadas tras su utilización por el consumidor y utilizadas en los sistemas de reciclado para bases de alfombras y aplicaciones similares, especialmente en América del Norte. Ello permite una clasificación fácil de las espumas de poliuretano con bromo y la eliminación de los COP–BDE en las espumas recicladas. Con el fin de evitar las liberaciones a largo plazo, las espumas de poliuretano que se haya determinado que están contaminadas, no deben eliminarse en vertederos. Deben utilizarse instalaciones con las mejores técnicas disponibles para la destrucción o el tratamiento térmico, teniendo cuidado en que el proceso de destrucción no libere PBDE o forme y libere PBDD/DF.

Tarjetas de circuito impreso

176. Las tarjetas de circuito impreso deben tratarse únicamente en hornos de fundición BAT y con un quemador adicional. Cabe notar que los análisis de las deficiencias indican que los detalles de la especificación del quemador adicional (temperatura y tiempo de residencia), así como las emisiones de PBDD/DF requieren nuevas investigaciones y evaluación.

177. Los enfoques alternativos de reciclado que utilizan el reciclado mecánico y la separación del plástico y el bromo se han desarrollado a escala de laboratorio. La demanda de esas tecnologías va en aumento y debe continuar el desarrollo con proyectos piloto o a gran escala e integrarse con los tratamientos en los hornos de fusión¹⁶.

¹⁶ Los metales preciosos se recuperarán en última instancia en los hornos de fundición. Por tanto, este proceso no entra en competencia con los hornos de fundición, sino que es una fase de pre–tratamiento que ofrece la posibilidad de aumentar la recuperación y reducir las emisiones.

5 f) II): Artículos con PBDE destinados al tratamiento de desechos

178. Incluso en los países industrializados, una gran proporción de los artículos con PBDE se eliminan normalmente en los vertederos. Esta práctica, como se ha señalado anteriormente, no es sostenible cuando las liberaciones se evalúan desde una perspectiva de largo plazo.

Residuos de desguace de automóviles (ASR)

179. Además de PBDE, los residuos del desguace de automóviles contienen otros productos químicos tóxicos y elementos, incluidos metales pesados y PCB que requieren tratamiento adecuado (Convenio de Estocolmo).

PBDE en el aislamiento de la construcción

180. Algunos países (por ejemplo, Suiza, Alemania, pero posiblemente otros) han utilizado PBDE en espumas de poliuretano rígido y otros materiales, para aplicaciones de larga duración en la construcción. Teniendo en cuenta que se está considerando la inclusión del HBCD como COP, esta fracción de desechos puede adquirir importancia creciente para la gestión de los COP. Por tanto, es importante considerar los beneficios colaterales del tratamiento de los desechos de la construcción.

5 f) III): Artículos con PBDE actualmente utilizados

181. Se considera que la vía principal de exposición humana es la exposición en interiores. Posiblemente o lo más probable es que proceda de espumas de poliuretano en viejos muebles, colchones, bases de alfombras, textiles (cortinas, etc.), etc. Por tanto, debe evaluarse si sería juicioso fomentar la retirada definitiva de muebles con PBDE.

5 f) (V): Artículos con PBDE para reutilización

182. Algunos artículos con PBDE posiblemente se reutilizan. Se incluyen aquí, por ejemplo, los coches de segunda mano, equipos electrónicos y muebles. Esto parece en particular de interés para el mercado de los Estados Unidos y para las exportaciones de artículos procedentes de los Estados Unidos destinados a la reutilización (vehículos, muebles que contienen espumas de poliuretano, electrónica). Debería considerarse si se podría hacer un examen de los automóviles o la electrónica destinados a la exportación y, si no contienen PBDE, emitir la certificación adecuada que permita dicha exportación.

6. Deficiencias de conocimientos y complejidades**6 a): Deficiencias de conocimientos**

183. En el apéndice 6 se enumera y detalla una lista de deficiencias de conocimientos. Entre las deficiencias encontradas durante el examen y descritas en el apéndice, se incluyen:

- a) Deficiencias relativas a la producción, utilización y flujo de sustancias en los materiales;
- b) Datos de producción de PentaBDE y OctaBDE;
- c) Datos sobre la aplicación de PentaBDE y OctaBDE;
- d) Flujos de reciclado y al fin de la vida útil de materiales con PBDE;
- e) adecuación de los actuales valores de dosis de referencia para la exposición oral crónica (comparable a la ADI);
- f) Aún no se han abordado algunos aspectos clave relativos a la salud, incluyendo la toxicidad genética y los ensayos con dosis pertinentes para las exposiciones humanas;
- g) Exposición en el trabajo y niveles para los trabajadores con los tratamientos con las mejores técnicas disponibles y sin ellas (esquemas de reciclado de materiales, industrias metalúrgicas, reciclado de materias primas);
- h) A menudo aparecen casos muy atípicos en los estudios de exposición, y aún no se han establecido las fuentes de contaminación en humanos con niveles extremos de PBDE. Este es un tema urgente, considerando los niveles de contaminación que podrían, en su conjunto, afectar a cientos de miles de personas, incluyendo niños y bebés sensibles;
- i) Hidroxi y Metoxi PBDE (para la salud, magnitud de la formación);
- j) Análisis y detección de PBDE y bromo en artículos;

- k) Tecnologías de separación y clasificación;
- l) Calidad de la separación previa manual con y sin detectores instrumentales;
- m) Tecnología para la separación automática de plásticos con PBDE/BFR;
- n) La magnitud del reciclado terciario en la práctica no está clara y requiere nuevas investigaciones;
- o) Plantas metalúrgicas (eficacia de la destrucción, liberación de PBDE y PBDD/DF);
- p) Incineración (liberaciones procedentes de incineradores sin las mejores técnicas disponibles, corrosión por elevado contenido de bromo, gestión de material de la criba);
- q) Hornos de cemento (procesado de desechos con PBDE, puntos de alimentación para las fracciones de desechos con PBDE, eficacia de la destrucción, liberaciones de PBDE y PBDD/DF, acumulación de bromo en el horno);
- r) Recuperación térmica y tecnologías de reciclado de materias primas;
- s) Extensión y destino en la pirólisis y la gasificación de materiales con PBDE o que posiblemente contienen PBDE para el reciclado de materias primas (y la destrucción de desechos);
- t) La aplicabilidad de las tecnologías de extracción del bromo y su asequibilidad y posibilidades prácticas exigen nuevas evaluaciones;
- u) PBDD/DF y PXDD/DF;
- v) Liberación total de la conversión de PBDD/DF en el ciclo de vida del PBDE;
- w) Proporción respectiva del PBDD/DF en el medio ambiente, los alimentos y los humanos a partir de los COP–BDE, DecaBDE, otros piroretardantes bromados y otros procesos;
- x) Origen de los elevados niveles de PBDF en el polvo de los hogares japoneses;
- y) Fuentes de la gran proporción de PBDD/DF en los alimentos, en el Reino Unido (30%);
- z) Tendencias temporales del PBDD/DF;
- aa) Pertinencia de la desbromación del DecaBDE (véase más adelante la sección especializada);
- bb) Destino a largo plazo del PBDE en los vertederos;
- cc) Cambio climático (efecto en la desbromación, aumento de la sequía e incendios de mayor escala, lixiviado procedente de vertederos).

184. Las deficiencias de conocimiento que posiblemente podrían abordarse por la comunidad científica se comunicaron en cuatro reuniones científicas importantes. Se han presentado y aceptado documentos de conferencia en la Quinta Conferencia Internacional sobre Piroretardantes Bromados (Kyoto, Japón); la Conferencia sobre COP del Reino Unido (Birmingham, Reino Unido); la reunión de la SETAC de Asia y el Pacífico (Guangzhou, China) y la Dioxin 2010. En el anexo 1 figuran los resúmenes de los documentos.

6 b): Formación no intencionada de COP–BDE a partir de la desbromación y deficiencias de conocimientos correspondientes

185. El destino final del DecaBDE y la escala de la desbromación a COP–BDE es una de las incertidumbres y deficiencias de conocimientos más importantes encontradas durante este estudio.

186. En el apéndice 6 b) figura una sección importante sobre los aspectos científicos relativos a la desbromación. Éste fue un tema que examinó el Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes durante el proceso de revisión de los COP–BDE – particularmente en un examen preparado por el catedrático Ian Rae en 2008 (Convenio de Estocolmo 2008) en donde concluyó que: *“continuarán apareciendo sin duda nuevos resultados en la literatura examinada por los pares, que deberán ser evaluados por el Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes a medida que vayan apareciendo”*.

187. La evaluación de mayo de 2010 efectuada por la USEPA (USEPA 2010) de la exposición al PBDE dice: *“a evidencia sugiere que los BDE 209 pueden degradarse por la luz ultravioleta (es decir, la fotólisis) y formar BDE menos bromados y ésta puede ser una vía importante de degradación en el medio ambiente”*.

188. El Organismo del Medio Ambiente del Reino Unido ha publicado recientemente una actualización de los informes de evaluación de los riesgos para el éter de decabromodifenilo (DecaBDE) producido con arreglo al Reglamento (Unión Europea) sobre evaluación y control de las sustancias existentes (Brooke 2009) que confirma que

“*hay evidencias palpables de laboratorio y de datos sobre el terreno de que el metabolismo del decaBDE al nonaBDEs, octaBDEs y probablemente heptaBDEs se produce en una serie de especies*” (Brooke 2009).

189. La sección concluye que: “La persistencia del decaBDE es tal que la formación de incluso pequeñas cantidades de sustancias peligrosas en términos porcentuales es indeseable, pues las cantidades reales pueden hacerse significativas a lo largo de períodos prolongados. Mientras que la evidencia más sólida apunta a la formación de congéneres de nona- a octaBDE, hay ahora pruebas más recientes de que pueden formarse hexa- e incluso pentaBDE (que claramente tienen propiedades PBT/vPvB) (por ejemplo, el estudio de Tokarz y otros, (2008) y el hallazgo de BDE-126 en la conclusión i) del programa de monitoreo)” (Brooke 2009).

190. El modelado de Schenker (Schenker 2008) indicó que incluso en 2005 el DecaBDE de calidad comercial parecía aportar una contribución mucho mayor a las concentraciones atmosféricas de los heptaBDE y hexaBDE que el PentaBDE de calidad comercial y una contribución similar al OctaBDE comercial (Schenker 2008) (véase el apéndice 6). Como la producción se detuvo en 2004, la contribución de los PentaBDE y OctaBDE a los COP-BDE ha ido disminuyendo y se deduce que la contribución del DecaBDE seguirá aumentando en el futuro. Por tanto – aunque los autores aceptan que hay incertidumbres asociadas a sus cálculos – no sería lógico tratar de gestionar los COP-BDE sin considerar adecuadamente la contribución al COP-BDE procedente de la desbromación del DecaBDE.

191. La desbromación es un mecanismo importante para la degradación última del PBDE. Los puntos clave son las vías y las tasas de degradación para los congéneres menos bromados que constituyen las mezclas comerciales de PentaBDE y OctaBDE, sopesándolas con los efectos de la desbromación de los PBDE más bromados (octaBDE, nonaBDE y decaBDE). Se informa que los NonaBDE y decaBDE contribuyen casi con el 70% de la composición de algunas mezclas de c-OctaBDE tales como el Bromkal 79-8DE. Las existencias mucho mayores de los PBDE muy bromados proceden del DecaBDE de calidad comercial, del que se ha producido bastante más de 1 millón de toneladas, como se ha señalado anteriormente (Cuadro 1).

192. Por tanto, en el apéndice 6 b) se considera la posible contribución a los COP-BDE de esta reserva mucho mayor de los PBDE más bromados, haciendo hincapié en el DecaBDE. Como la producción y utilización del DecaBDE continúan en gran parte del mundo, los problemas conexos que se acumulan para el futuro continúan aumentando.

193. Las conclusiones de las publicaciones científicas a lo largo del decenio anterior (que se resumen en el apéndice 6 b)), junto con la información y observaciones obtenidas en las reuniones científicas a las que se ha asistido como parte de este trabajo, confirman que hay cada vez más pruebas de que la desbromación del DecaBDE constituye una vía importante. La opinión de consenso general de la comunidad científica más general ya no es en cuanto a “*si*” se produce una desbromación que tiene importancia desde el punto de vista medioambiental, sino “*a qué velocidad*” se produce y cuáles son los detalles más específicos de los trayectos de los metabolitos y la desbromación en diferentes circunstancias.

194. Además, en los procesos térmicos propuestos o utilizados para el reciclado de materias primas (pirólisis, gasificación) o utilizados para tratamientos al final de la vida útil, los PBDE muy bromados se desbroman sin duda hacia PBDE menos bromados, incluyendo los COP. La pirólisis del DecaBDE con poliestireno de alto impacto a 500°C, por ejemplo, generó principalmente BDE mono a pentabromado (Hall 2008). El estudio muestra que en condiciones de pirólisis tiene lugar una desbromación significativa del DecaBDE a un PBDE menos bromado. En todos los procesos de pirólisis y gasificación ha de considerarse y evaluarse el destino de la desbromación del DecaBDE a COP-BDE para el reciclado de materias primas de PBDE.

195. Hay una serie de deficiencias de conocimientos respecto a la desbromación del DecaBDE (y también del OctaBDE):

- a) Detalles en cuanto a la escala de desbromación en los distintos medios (por ejemplo, en los vertederos, sedimentos, suelos, atmósfera, biota);
- b) La dimensión de la desbromación y la formación correspondiente de los COP-BDE ;
- c) La formación de otros productos de degradación (PBDD/DF, hidroxil-PBDE, metoxiBDE, otros productos de degradación);
- d) Las condiciones en las que puede lograrse una desbromación completa (en procesos técnicos y en entornos naturales).

Referencias:

- Alcock, R.E., Sweetman, A.J., Prevedouros, K., Jones, K.C., (2003). Understanding levels and trends of BDE-47 in the UK and North America: an assessment of principal reservoirs and source inputs. *Environment International* 29(6): 691–698
- Allen, A., (2001). Containment landfills: the myth of sustainability. *Engineering Geology* 60(1–4): 3–19
- Ashizuka, Y., Nakagawa, R., Hori, T., Yasutake, D., Tobiishi, K., Sasaki, K., (2008). Determination of brominated flame retardants and brominated dioxins in fish collected from three regions of Japan. *Molecular Nutrition & Food Research* 52(2): 273–283
- Banasik, M., Hardy, M., Harbison, R., Stedeford, T., (2010). Comment on “Brominated Flame Retardants in Children's Toys: Concentration, Composition, and Children's Exposure and Risk Assessment”. *Environ Sci Technol* 44(3): 1152–1153
- Behnisch, P.A., Hosoe, K., Sakai, S.-i., (2003). Brominated dioxin-like compounds: in vitro assessment in comparison to classical dioxin-like compounds and other polyaromatic compounds. *Environment International* 29(6): 861–877
- Birnbaum, L.S., Staskal, D.F., Diliberto, J.J., (2003). Health effects of polybrominated dibenzo-p-dioxins (PBDDs) and dibenzofurans (PBDFs). *Environ Int* 29(6): 855–860
- Breivik, K., Sweetman, A., Pacyna, J.M., Jones, K.C., (2002a). Towards a global historical emission inventory for selected PCB congeners — a mass balance approach: 1. Global production and consumption. *The Science of The Total Environment* 290(1–3): 181–198
- Breivik, K., Sweetman, A., Pacyna, J.M., Jones, K.C., (2002b). Towards a global historical emission inventory for selected PCB congeners — a mass balance approach: 2. Emissions. *The Science of The Total Environment* 290(1–3): 199–224
- Breivik, K., Sweetman, A., Pacyna, J.M., Jones, K.C., (2007). Towards a global historical emission inventory for selected PCB congeners — A mass balance approach: 3. An update. *Science of The Total Environment* 377(2–3): 296–307
- British Standards Institute, (2004). BS 13965-2:2004 Characterization of waste — Terminology — Part 2: Management related terms and definitions.
- Brooke, D.N., Burns, J., Crookes, M.J., Dungey, S.M. (2009). Environmental risk evaluation report: Decabromodiphenyl ether (CAS no. 1163–19–5) SCHO0909BQYZ-E-P September 2009, Environment Agency: 290.
- Brunner, P., Rechberger, H. (2004). Practical handbook of material flow analysis.
- Brunner, P.H., Fellner, J., (2007). Setting priorities for waste management strategies in developing countries. *Waste Management Research* 25(3): 234–240
- Buss, S.E., Butler, A.P., Sollars, C.J., Perry, R., Johnston, P.M., (1995). Mechanisms of Leakage through Synthetic Landfill Liner Materials. *Water and Environment Journal* 9(4): 353–359
- Cambell, R. Chemtura (2010). Loading levels for PentaBDE in flexible foam 7th July 2010. A. Watson.
- Chen, S.-J., Ma, Y.-J., Wang, J., Chen, D., Luo, X.-J., Mai, B.-X., (2009). Brominated Flame Retardants in Children's Toys: Concentration, Composition, and Children's Exposure and Risk Assessment. *Environ Sci Technol* 43(11): 4200–4206
- Chen, S.-J., Ma, Y.-J., Wang, J., Chen, D., Luo, X.-J., Mai, B.-X., (2010a). Brominated Flame Retardants in Children's Toys: Concentration, Composition, and Children's Exposure and Risk Assessment errata. *Environ Sci Technol* 44(3): 1156–1156
- Chen, S.-J., Ma, Y.-J., Wang, J., Chen, D., Luo, X.-J., Mai, B.-X., (2010b). Response to “Comment on 'Brominated Flame Retardants in Children's Toys: Concentration, Composition, and Children's Exposure and Risk Assessment’”. *Environ Sci Technol* 44(3): 1154–1155
- Chen, S.-J., Ma, Y.-J., Wang, J., Tian, M., Luo, X.-J., Chen, D., Mai, B.-X., (2010c). Measurement and human exposure assessment of brominated flame retardants in household products from South China. *Journal of Hazardous Materials* 176(1–3): 979–984
- Choi, J.W., Fujimaki, T.S., Kitamura, K., Hashimoto, S., Ito, H., Suzuki, N., Sakai, S., Morita, M., (2003). Polybrominated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans, and diphenyl ethers in Japanese human adipose tissue. *Environ Sci Technol* 37(5): 817–821

- Covaci, A., Voorspoels, S., de Boer, J., (2003). Determination of brominated flame retardants, with emphasis on polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in environmental and human samples—a review. *Environ Int* 29(6): 735–756
- Covaci, A., Voorspoels, S., Ramos, L., Neels, H., Blust, R., (2007). Recent developments in the analysis of brominated flame retardants and brominated natural compounds. *Journal of Chromatography A* 1153: 145–171
- Danish Environmental Protection Agency, D. (2004). Detailed Review of Selected Non-Incineration and Incineration POPs Elimination Technologies for the CEE Region Final October 2004.
- Danon-Schaffer, M.N. (2010a). Polybrominated Diphenyl Ethers in Landfills from Electronic Waste February 2010. Vancouver, Faculty of Graduate Studies (Chemical and Biological Engineering) University of British Columbia. PhD: 394.
- Danon-Schaffer, M.N., Mahecha-Botero, A., (2010b). Influence of chemical degradation kinetic parameters on the total debromination of PBDEs in a landfill system. *Organohalogen Compounds Submitted*
- Danzer, B., Riess, M., Thoma, H., Vierle, O., van Eldik, R., (1997). Pyrolysis of Plastics Containing Brominated Flame Retardants. *Organohalogen Compounds* 31: 108–113
- Du, B., LI LL, LIU, S., XU, P., TIAN, H., LIU, A., ZHENG, M., (2009). Evaluation of PBDD/Fs and PCDD/Fs emissions from metallurgical processes : A case study for fly ash sample from the EAF facility. *Organohalogen Compounds* 71
- Du, B., Zheng, M., Huang, Y., Liu, A., Tian, H., Li, L., Li, N., Ba, T., Li, Y., Dong, S., Liu, W., Su, G., (2010). Mixed Polybrominated/chlorinated Dibenzo-p-dioxins and Dibenzofurans in Stack Gas Emissions from Industrial Thermal Processes. *Environ Sci Technol*
- Eaves, D. (2004). *Handbook of Polymer Foams*, Smithers Rapra Technology.
- ENVIRON (2003). Voluntary children's chemical evaluation program pilot. Tier I assessment of the potential health risks to children associated with exposure to the commercial pentabromodiphenyl ether product. CAS No. 32534–81–9.
- Ericson Jogsten, I., Hagberg, J., Lindström, G., Bavel, B.v., (2010). Analysis of POPs in human samples reveal a contribution of brominated dioxin of up to 15% of the total dioxin TEQ. *Chemosphere* 78(2): 113–120
- Comisión Europea (2009). Draft Reference Document on Best Available Techniques for the Production of Iron and Steel. Draft July 2009.
- Parlamento Europeo y Consejo, (1994). Directiva 94/62/Ce del Parlamento europeo y del Consejo de 20 de diciembre de 1994 relativa a los envases y residuos de envases, modificada por el Reglamento (CE) No 1882/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo de 29 de septiembre de 2003, la Directiva 2004/12/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de febrero de 2004 y la Directiva 2005/20/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 9 de marzo de 2005
- Parlamento Europeo y Consejo (2006). Reglamento (CE) n° 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de diciembre de 2006, relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH), por el que se crea la Agencia Europea de Sustancias y Preparados Químicos, se modifica la Directiva 1999/45/CE y se derogan el Reglamento (CEE) n° 793/93 del Consejo y el Reglamento (CE) n° 1488/94 de la Comisión así como la Directiva 76/769/CEE del Consejo y las Directivas 91/155/CEE, 93/67/CEE, 93/105/CE y 2000/21/CE de la Comisión, DO L 396, 30.12.2006, págs. 1 a 853, Enmendada por: I) Corrección de errores del Reglamento (CE) n° 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de diciembre de 2006, relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH), por el que se crea la Agencia Europea de Sustancias y Preparados Químicos, se modifica la Directiva 1999/45/CE y se derogan el Reglamento (CEE) n° 793/93 del Consejo y el Reglamento (CE) n° 1488/94 de la Comisión así como la Directiva 76/769/CEE del Consejo y las Directivas 91/155/CEE, 93/67/CEE, 93/105/CE y 2000/21/CE de la Comisión ([DO L 396 de 30.12.2006](#)) DO L 136, 29.5.2007, págs 3 a 281: II) Corrección de errores del Reglamento (CE) n° 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de diciembre de 2006, relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH), por el que se crea la Agencia Europea de Sustancias y Preparados Químicos, se modifica la Directiva 1999/45/CE y se derogan el Reglamento (CEE) n° 793/93 del Consejo y el Reglamento (CE) n° 1488/94 de la Comisión así como la Directiva 76/769/CEE del Consejo y las Directivas 91/155/CEE, 93/67/CEE, 93/105/CE y 2000/21/CE de la Comisión ([DO L 396 de 30.12.2006](#), pág.1) (Versión corregida en el [DO L 136 de 29.5.2007](#), pág.3) DO L 141, 31.5.2008, págs. 22–22: III) Corrección de errores del Reglamento (CE) n° 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de diciembre de 2006, relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH), por el que se crea la

Agencia Europea de Sustancias y Preparados Químicos, se modifica la Directiva 1999/45/CE y se derogan el Reglamento (CEE) nº 793/93 del Consejo y el Reglamento (CE) nº 1488/94 de la Comisión así como la Directiva 76/769/CEE del Consejo y las Directivas 91/155/CEE, 93/67/CEE, 93/105/CE y 2000/21/CE de la Comisión ([DO L 396 de 30.12.2006](#), pág.1; corregida en el [DO L 136 de 29.5.2007](#), pág.3) DO L 36, 5.2.2009, pág. 84, , Diario Oficial de la Unión Europea 30.12.2006, L 396, págs. 1 a 853.

Fernandes, A.,Dicks, P.,Mortimer, D.,Gem, M.,Smith, F.,Driffield, M.,White, S. Rose, M., (2008). Brominated and chlorinated dioxins, PCBs and brominated flame retardants in Scottish shellfish: Methodology, occurrence and human dietary exposure. *Molecular Nutrition & Food Research* 52(2): 238–249

Fischer, D.,Hooper, K.,Athanasiadou, M.,Athanassiadis, I. Bergman, Å., (2006). Children Show Highest Levels of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in a California Family of Four — A Case Study. *Environmental Health Perspectives*

Franzblau, A.,Demond, A.,Towey, T.,Adriaens, P.,Chang, S.C.,Luksemburg, W.,Maier, M.,Garabrant, D.,Gillespie, B.,Lepkowski, J.,Chang, C.W.,Chen, Q. Hong, B., (2009). Residences with anomalous soil concentrations of dioxin-like compounds in two communities in Michigan, USA: a case study. *Chemosphere* 74(3): 395–403

Fromme, H.,Körner, W.,Shahin, N.,Wanner, A.,Albrecht, M.,Boehmer, S.,Parlar, H.,Mayer, R.,Liebl, B. Bolte, G., (2009). Human exposure to polybrominated diphenyl ethers (PBDE), as evidenced by data from a duplicate diet study, indoor air, house dust, and biomonitoring in Germany. *Environment International* 35(8): 1125–1135

Geo & Hydro – K8 Ltd (2010). Investigation of brominated flame retardants present in articles being used, recycled and disposed of in New Zealand Contract ref no. 13119 BFR–art6 22 June 2010 version 1.05, Produced for the New Zealand Ministry for the Environment.

Gerig, U. (2010). RUAG 15th Jun 2010. R. Weber.

Hale, R.C.,La Guardia, M.J.,Harvey, E.,Gaylor, M.O. Mainor, T.M., (2006). Brominated flame retardant concentrations and trends in abiotic media. *Chemosphere*

Hall, W. Williams, P., (2008). Quantification of polybrominated diphenyl ethers in oil produced by pyrolysis of flame retarded plastic. *Journal of the Energy Institute* 81(3): 158–163

Herbstman, J.B.,Sjödin, A.,Kurzon, M.,Lederman, S.A.,Jones, R.S.,Rauh, V.,Needham, L.L.,Tang, D.,Niedzwiecki, M.,Wang, R.Y. Perera, F., (2010). Prenatal exposure to PBDEs and neurodevelopment. *Environ Health Perspect* 118(5): 712–719

Hirai, Y. Sakai, S.–i. (2007a). Brominated Flame Retardants in Recycled Plastic Products. BFR2007: 4th International Symposium on Brominated Flame Retardants.

Hirai, Y.,Sato, S. Sakai, S., (2007b). Life cycle assessments on recycling of TV cabinet back covers containing brominated flame retardants. *Organohalogen Compounds* 69: 920–923

Holcim GTZ (2006). Guidelines on Co–processing Waste Materials in Cement Production – The GTZ–Holcim Public Private Partnership.

Hornung, A.,Balabanovich, A.,Donner, S. Seifert, H., (2003). Detoxification of brominated pyrolysis oils. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 70(2): 723–733

International Electrotechnical Commission (2008). International Standard IEC 62321 Electrotechnical products – Determination of levels of six regulated substances (lead, mercury, cadmium, hexavalent chromium, polybrominated biphenyls, polybrominated diphenyl ethers). Edition 1.0 2008–12 (also adopted as EN 62321:2009), IEC Technical committee TC 111.

International Solid Waste Association (ISWA) (1992). 1,000 Terms in Solid Waste Management. Copenhagen Denmark.

Karstensen, K.H.,Kinh, N.K.,Thang, L.B.,Viet, P.H.,Tuan, N.D.,Toi, D.T.,Hung, N.H.,Quan, T.M.,Hanh, L.D. Thang, D.H., (2006). Environmentally sound destruction of obsolete pesticides in developing countries using cement kilns. *Environmental Science & Policy* 9(6): 577–586

Kemlein, S.,Bergmann, M. Jann, O. (2005). Standard measurement method for the determination of polybrominated flame retardants (pentabromo diphenylether, octabromo diphenylether) in products Nr. 31/2005 UBAFBNr 000839/e. Förderkennzeichen 202 67 300, Umweltbundesamt.

Kolbe, P. (2010). Innovative Ansätze im Leiterplattenrecycling in “Recycling und Rohstoffe – Band 3 Karl J. Editors Thome–Kozmiensky/Daniel Goldmann Neuruppin : TK Verlag ISBN 978 3 935317 50 4; .

- Kotz, A., Malisch, R., Kypke, K., Oehme, M., (2005). PBDE, PBDD/F and mixed chlorinated–brominated PXDD/F in pooled human milk samples from different countries. *Organohalogen Compounds – Volume 67* (2005) 67
- Krämer, P., Walter, G., Flamme, S., Mans, C. (2010). *Aufbereitung von Elektroaltgeräten – Möglichkeiten und Grenzen moderner Sortiersysteme zur Anreicherung hochwertiger Kunststofffraktionen*. Berlin 2010, Müll und Abfall: 127.
- Lagalante, A.F., Oswald, T.D., Calvosa, F.C., (2009). Polybrominated diphenyl ether (PBDE) levels in dust from previously owned automobiles at United States dealerships. *Environment International* 35(3): 539–544
- Li, Y.-F., Ma, J., Tian, C., Jia, H., Yang, M., Li, D. (2010). Global Gridded Emission Inventories of Pentabrominated Diphenyl Ether (PeBDE). *European Geosciences Union (EGU) General Assembly 02 – 07 May 2010*. Vienna, Austria,.
- Lorber, M., (2008). Exposure of Americans to polybrominated diphenyl ethers. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 18(1): 2–19
- Lunder, S., Hovander, L., Athanassiadis, I., Bergman, Å., (2010). Significantly Higher Polybrominated Diphenyl Ether Levels in Young U.S. Children than in Their Mothers. *Environ Sci Technol* 44(13): 5256–5262
- Ma, J., Addink, R., Yun, S., Cheng, J., Wang, W., Kannan, K., (2009). Polybrominated Dibenzo–p–dioxins/Dibenzofurans and Polybrominated Diphenyl Ethers in Soil, Vegetation, Workshop–Floor Dust, and Electronic Shredder Residue from an Electronic Waste Recycling Facility and in Soils from a Chemical Industrial Complex in Eastern China. *Environ Sci Technol* 43(19): 7350–7356
- Matsuda, M., Okimoto, M., Takechi, Y., Nakamura, M., Handa, H., Kawano, M., Nose, K., Ebihara, K., Morita, M. (2010). Estimation of PBDD/DF Toxicity Equivalency Factors from Ah receptor binding affinity and clearance rate in rat. *Fifth International Symposium on Brominated Flame Retardants*. BFR2010, April 7–9. 2010 Kyoto/Japan.
- McDowall, R., Boyle, C., Graham, B. (2004). *Review Of Emerging, Innovative Technologies For The Destruction And Decontamination Of Pops And The Identification Of Promising Technologies For Use In Developing Countries Final – GF/8000–02–02–2205*, The Scientific and Technical Advisory Panel of the GEF United Nations Environment Programme Balkans Unit.
- Menear, J.H., Lee, C.C., (1994). Polybrominated dibenzo–p–dioxins and dibenzofurans: literature review and health assessment. *Environ Health Perspect* 102 Suppl 1: 265–274
- Morf, L.S., Tremp, J., Gloor, R., Huber, Y., Stengele, M., Zennegg, M., (2005). Brominated Flame Retardants in Waste Electrical and Electronic Equipment: Substance Flows in a Recycling Plant. *Environ. Sci. Technol.* 39(22): 8691–8699
- Morton, R. (2007). *Commercial scale processing options for separation brominated retardants from WEEE polymers – a major practical investigation*. Eco–X May 9th –11th 2007, Vienna.
- Odabasi, M., Bayram, A., Elbir, T., Seyfioglu, R., Dumanoglu, Y., Bozlaker, A., Demircioglu, H., Altioek, H., Yatkin, S., Cetin, B., (2009). Electric Arc Furnaces for Steel–Making: Hot Spots for Persistent Organic Pollutants. *Environ Sci Technol*
- Oduşanya, D.O., Okonkwo, J.O., Botha, B., (2009). Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in leachates from selected landfill sites in South Africa. *Waste Management* 29(1): 96–102
- Oliaei, F., King, P., Phillips, L., (2002). Occurrence and concentrations of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in Minnesota environment. *Organohalogen Compounds* 58(185–188)
- Oliaei, F., Weber, R., Watson, A., (2010). PBDE contamination in Minnesota Landfills, waste water treatment plants and sediments as PBDE sources and reservoirs *Organohalogen Compounds* In Press
- Olsman, H., Engwall, M., Kammann, U., Klempt, M., Otte, J., Bavel, B., Hollert, H., (2007). Relative differences in aryl hydrocarbon receptor–mediated response for 18 polybrominated and mixed halogenated dibenzo–p–dioxins and –furans in cell lines from four different species. *Environ Toxicol Chem* 26(11): 2448–2454
- Osako, M., Kim, Y.-J., Sakai, S.-i., (2004). Leaching of brominated flame retardants in leachate from landfills in Japan. *Chemosphere* 57(10): 1571–1579
- Paul, S. (2010). *Analysis/Separation technologies for PBDE/BFR*. R. Weber.
- Retegan, T., Felix, J., Schyllander, M. (2010). *Recycling of WEEE Plastics Containing Brominated Flame Retardants – a Swedish perspective Report to the Swedish Environmental Protection Agency April, 2010*.

- Rieß, M., Ernst, T., Popp, R., Müller, B., Thoma, H., Vierle, O., Wolf, M., van Eldik, R., (2000). Analysis of flame retarded polymers and recycling materials. *Chemosphere* 40(9–11): 937–941
- Rieß, M., Ernst, T., Popp, R., Schuberth, T., Thoma, H., Vierle, O., Ehrenstein, G.W., van Eldik, R., (1998). Analysis of flame retarded polymers and recycling materials. *Organohalogen Compounds* 35: 443–446
- Risk & Policy Analysts Limited, f.D. (2000). Risk Reduction Strategy and Analysis of Advantages and Drawbacks for Pentabromodiphenyl Ether Stage 4 Report Prepared for the UK Department of the Environment, Transport and the Regions Contract. No: CDEP 1/41/17 Mach 2000.
- Rose, M.D., Fernandes, A.R. (2010). Are BFRs responsible for brominated dioxins and furans (PBDD/Fs) in food? BFR2010. Kyoto.
- RTI International (2007). Resuspension and Tracking of Particulate Matter From Carpet Due to Human Activity EPA/600/R-07/131, United States Environmental Protection Agency.
- Schenker, U., Soltermann, F., Scheringer, M., Hungerbühler, K., (2008). Modeling the Environmental Fate of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs): The Importance of Photolysis for the Formation of Lighter PBDEs. *Environ Sci Technol* 42(24): 9244–9249
- Schlummer, M. (2009). Perspektiven für die Verwertung von Kunststoffen aus EAG. 8. Elektro(nik)–Altgeräte–Tag, 3.12.21009, bvse, Düsseldorf.
- Schlummer, M. (2010). Personal communication on results of the running German SpectroDense Project financed by INNONET. .
- Schlummer, M., Gruber, L., Maurer, A., Wolz, G., van Eldik, R., (2007). Characterisation of polymer fractions from waste electrical and electronic equipment (WEEE) and implications for waste management. *Chemosphere* 67(9): 1866–1876
- Schlummer, M., Maurer, A., (2006a). Recycling of styrene polymers from shredded screen housings containing brominated flame retardants. *Journal of Applied Polymer Science* 102(2): 1262–1273
- Schlummer, M., Maurer, A., Leitner, T., Spruzina, W., (2006b). Report: Recycling of flame-retarded plastics from waste electric and electronic equipment (WEEE). *Waste Management Research* 24(6): 573–583
- Shimadzu (2010). Pyrolysis GC/MS of Brominated Flame retardants
<http://www2.shimadzu.com/applications/gcms/Applications/GCMS_PBDE_07C_070_en.pdf>.
- Simon, F.–G., Müller, W., (2004). Standard and alternative landfill capping design in Germany. *Environmental Science & Policy* 7(4): 277–290
- Stapleton, H.M., Klosterhaus, S., Eagle, S., Fuh, J., Meeker, J.D., Blum, A., Webster, T.F., (2009). Detection of Organophosphate Flame Retardants in Furniture Foam and U.S. House Dust. *Environ Sci Technol* 43(19): 7490–7495
- Stapleton, H.M., Sjödin, A., Jones, R.S., Niehuser, S., Zhang, Y., Patterson, D.G., (2008). Serum Levels of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in Foam Recyclers and Carpet Installers Working in the United States. *Environ Sci Technol* 42(9): 3453–3458
- Stern, N. (2009). *Blueprint for a Safer Planet*, The Bodley Head.
- Stockholm Convention (2006). Convenio de Estocolmo (2007b) Perfil de riesgos del éter de pentabromodifenilo de calidad comercial. anexo E (UNEP/POPS/POPRC.3/17/Add.1). Perfil de riesgos del éter de pentabromodifenilocomercial (UNEP/POPS/POPRC.3/17/Add.1)
- Convenio de Estocolmo (2006). Perfil de riesgos sobre el éter de pentabromodifenilo de calidad comercial, Anexo E (UNEP/POPS/POPRC:2/17/Add.1). Perfil de riesgos sobre el éter de pentabromodifenilo de calidad comercial (UNEP/POPS/POPRC:2/17/Add.1).
- Convenio de Estocolmo (2007a). Directrices sobre mejores técnicas disponibles y proyecto de orientación sobre mejores prácticas ambientales en relación con el artículo 5 y el anexo C del Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes – aprobadas en la tercera reunión de la Conferencia de las Partes, mayo de 2007. Ginebra (Suiza)
- Convenio de Estocolmo (2007b). Perfil de riesgos del éter de octabromodifenilo comercial (UNEP/POPS/POPRC.3/20/Add.6).
- Convenio de Estocolmo (2008). Desbromación reductiva de los compuestos aromáticos bromados, por Sr. Ian D. Rae (Australia), presidente del grupo de trabajo entre períodos de sesiones sobre el éter de pentabromodifenilo, presentado

al Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes, cuarta reunión, Ginebra, 13 al 17 de octubre de 2008, UNEP/POPS/POPRC.4/INF/12 (15 de julio de 2008)..

Suzuki, G., Nose, K., Takigami, H., Takahashi, S., Sakai, S.-I., (2006). PBDEs and PBDD/Fs in house and office dust from Japan. *Organohalogen Compounds* 68

Suzuki, G., Someya, M., Takahashi, S., Takigami, H., Sakai, S., Tanabe, S. (2010). Dioxin-like compounds in Japanese indoor dusts: Brominated dibenzofurans strongly contribute to dioxin-like activity evaluated by In Vitro bioassay. *Proceedings of the 5th International Symposium on Brominated Flame Retardants*. April 7–9 2010, Kyoto Japan.

Takigami, H., Suzuki, G., Hirai, Y., Sakai, S.-i., (2008). Transfer of brominated flame retardants from components into dust inside television cabinets. *Chemosphere* 73(2): 161–169

Tange, L., Drohmann, D., (2004). Environmental issues related to end-of-life options of plastics containing brominated flame retardants. *Fire and Materials* 28(5): 403–410

Toms, L.-M.L., Sjödin, A., Harden, F., Hobson, P., Jones, R., Edenfield, E., Mueller, J.F., (2009). Serum polybrominated diphenyl ether (PBDE) levels are higher in children (2–5 years of age) than in infants and adults. *Environ Health Perspect* 117(9): 1461–1465

Tukker, A. (2002). *Plastics Waste – Feedstock Recycling, Chemical Recycling and Incineration* Smithers Rapra.

USEPA (1979). *Polychlorinated Biphenyls 1929–1979 Final Report*, US Environmental Protection Agency: 94.

USEPA (1996). *Hazardous Air Pollutant Emissions from the Production of Flexible Polyurethane Foam — Basis and Purpose Document for Proposed Standards EPA-453/R-96-008a*.

USEPA (2005). *Furniture Flame Retardancy Partnership: Environmental Profiles of Chemical Flame-Retardant Alternatives for Low-Density Polyurethane Foam volume 1*.

USEPA (2010). *An exposure assessment of polybrominated diphenyl ethers EPA/600/R-08/086F*. Washington, DC, United States Environmental Protection Agency.

USFDA (2006). *Guidance for Industry: Use of Recycled Plastics in Food Packaging: Chemistry Considerations August 2006*, U.S. Department of Health and Human Services Food and Drug Administration Center for Food Safety and Applied Nutrition (CFSAN).

Vetter, W., Rosenfelder, N., (2008). Gas chromatography retention data of environmentally relevant polybrominated compounds. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 392(3): 489–504

Wang, L.-C., Wang, Y.-F., Hsi, H.-C., Chang-Chien, G.-P., (2010). Characterizing the Emissions of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) and Polybrominated Dibenzo-p-dioxins and Dibenzofurans (PBDD/Fs) from Metallurgical Processes. *Environ Sci Technol* 44(4): 1240–1246

Weber, R., (2007). Relevance of PCDD/PCDF formation for the evaluation of POPs destruction technologies – Review on current status and assessment gaps. *Chemosphere* 67(9): S109–S117

World Bank (2005). *Waste Management in China: Issues and Recommendations*. East Asia Infrastructure Department, Urban Development Working Paper No. 9. May 2005.

WRAP (2006). *Develop a process to separate brominated flame retardants from WEEE polymers Final Report Project code: PLA-037 November 2006*. Banbury, Waste Resources Action Program

Wyman, B.C., Stevenson, L.H. (2007). *The Facts on File Dictionary of Environmental Science Facts on File*.

Yu, J., Williams, E., Ju, M., Shao, C., (2010). Managing e-waste in China: Policies, pilot projects and alternative approaches. *Resources, Conservation and Recycling* 54(11): 991–999

Zennegg, M., Yu, X., Wong, M.H., Weber, R., (2009). Fingerprints of chlorinated, brominated and mixed halogenated dioxins at two e-waste recycling sites in Guiyu/China. *Organohalogen Compounds* 71

Zia, K.M., Bhatti, H.N., Ahmad Bhatti, I., (2007). Methods for polyurethane and polyurethane composites, recycling and recovery: A review. *Reactive and Functional Polymers* 67(8): 675–692

Zinoviev, S., UNIDO, Fornasiero, P., Lodolo, A., Miertus, S. (2007). *Non-combustion Technologies for POPs Destruction Review and Evaluation*. Trieste, UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION INTERNATIONAL CENTRE FOR SCIENCE AND HIGH TECHNOLOGY.

Zota, A., Adamkiewicz, G., Morello-Frosch, R., (2010). Are PBDEs an environmental equity concern? Exposure disparities by socioeconomic status. *Environmental Science & Technology*

