

**Actualización de las directrices técnicas generales para el manejo  
ambientalmente racional de desechos consistentes en contaminantes orgánicos  
persistentes, que los contengan o estén contaminados con ellos (COP)**

K0760116 300407 190607

Para economizar recursos, sólo se ha impreso un número limitado de ejemplares del presente documento. Se ruega a los delegados que lleven sus propios ejemplares a las reuniones y eviten solicitar otros.

# Índice

	Página
I. Introducción .....	7
A.    Ámbito .....	7
B.    Generalidades sobre los COP .....	8
II. Disposiciones pertinentes de los convenios de Basilea y Estocolmo .....	8
A.    Convenio de Basilea .....	8
1.    Disposiciones generales .....	8
2.    Disposiciones relativas a los COP .....	9
a)    PCB, PCT y PBB .....	10
b)    Plaguicidas que son COP, con inclusión de aldrina, clordano, DDT, dieldrina, endrina, HCB, heptacloro, mirex y toxafeno .....	10
c)    PCDD y PCDF .....	11
B.    Convenio de Estocolmo .....	12
1.    Disposiciones generales .....	12
2.    Disposiciones relativas a los desechos .....	12
III. Elementos sujetos al Convenio de Estocolmo que deben abordarse en cooperación con el Convenio de Basilea .....	14
A.    Bajo contenido de COP .....	14
B.    Niveles de destrucción y transformación irreversible .....	15
C.    Métodos que constituyen una eliminación ambientalmente racional .....	15
IV. Orientaciones sobre el manejo ambientalmente racional (GAR) .....	16
A.    Consideraciones generales .....	16
1.    Convenio de Basilea .....	16
2.    Convenio de Estocolmo .....	17
3.    Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos .....	17
B.    Marco legislativo y reglamentario .....	17
1.    Fechas para la eliminación de la producción y el uso de los COP .....	18
2.    Requisitos relativos a los movimientos transfronterizos .....	18
3.    Especificaciones para contenedores, equipo, contenedores para graneles y lugares de almacenamientos que contengan COP .....	19
4.    Salud y seguridad .....	19
5.    Especificación de métodos analíticos y de muestreo aceptables para los COP .....	19
6.    Requisitos para las instalaciones de tratamiento y eliminación de desechos peligrosos .....	20
7.    Requisitos generales para la participación del público .....	20
8.    Lugares contaminados .....	20
9.    Otros controles legislativos .....	20
C.    Prevención y reducción al mínimo de desechos .....	20

D.	Determinación e inventarios .....	21
1.	Determinación .....	21
2.	Inventarios .....	22
E.	Muestreo, análisis y vigilancia .....	24
1.	Muestreo .....	24
2.	Análisis .....	25
3.	Vigilancia .....	26
F.	Manipulación, recolección, embalaje, etiquetado, transporte y almacenamiento ..	26
1.	Manipulación .....	27
2.	Recolección .....	27
3.	Embalaje .....	28
4.	Etiquetado .....	29
5.	Transporte .....	29
6.	Almacenamiento .....	29
G.	Eliminación ambientalmente racional .....	31
1.	Tratamiento previo .....	31
a)	Adsorción y absorción .....	31
b)	Desecación .....	31
c)	Separación mecánica .....	31
d)	Mezcla .....	31
e)	Separación de aceite y agua .....	32
f)	Ajuste del pH .....	32
g)	Reducción del tamaño .....	32
h)	Lavado con disolventes .....	32
i)	Desorción térmica .....	32
2.	Métodos de destrucción y transformación irreversible .....	32
a)	Reducción por metal alcalino .....	33
b)	Descomposición catalizada por bases (DCB) .....	34
c)	Hidrodecloración catalítica (HDC) .....	36
d)	Coincineración en horno de cemento .....	37
e)	Reducción química en fase gaseosa (RQFG) .....	39
f)	Incineración de desechos peligrosos .....	41
g)	Reacción de decloración fotoquímica (DFQ) y reacción de decloración catalítica (DC) .....	42
h)	Arco de plasma .....	43
i)	Método del terc-butoxido de potasio .....	45
j)	Oxidación en agua supercrítica (OASC) y oxidación en agua subcrítica .....	46
3.	Otros métodos de eliminación cuando ni la destrucción ni la transformación irreversible no representan la opción ambientalmente preferible .....	50
a)	Vertederos especialmente diseñados .....	51

b)	Almacenamiento permanente en minas y formaciones subterráneas ..	52
4.	Otros métodos de eliminación cuando el contenido de COP es bajo .....	52
H.	Saneamiento de los emplazamientos contaminados .....	52
1.	Determinación de los emplazamientos contaminados.....	52
2.	Saneamiento ambientalmente racional .....	53
I.	Salud y seguridad .....	53
1.	Situaciones de mayor riesgo .....	53
2.	Situaciones de menor riesgo .....	54
J.	Respuesta en casos de emergencia .....	55
K.	Participación del público .....	56
Anexos		
I.	Instrumentos internacionales .....	57
II.	Ejemplos de legislaciones nacionales pertinentes .....	58
III.	Métodos analíticos seleccionados para COP .....	62
IV.	Economía de los métodos de destrucción y transformación irreversible .....	65
V.	Bibliografía .....	67

## Abreviaturas y siglas

AIP	alcohol isopropílico
AOAC	Asociación de Químicos Analíticos Oficiales
ASTM	Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales
CEPE	Comisión Económica para Europa
COP	contaminantes orgánicos persistentes
CSIRO	Commonwealth Scientific Industrial Research Organization Australia
DC	decoloración catalítica
DCB	descomposición catalizada por bases
DDT	1,1,1-tricloro-2,2-bis (4-clorofenil)etano (diclorodifeniltricloroetano)
DFQ	decoloración fotoquímica
ED	eficiencia de destrucción
EDE	eficiencia destrucción-eliminación
EPA	Agencia para la Protección del Medio Ambiente (Estados Unidos de América)
EQT	equivalente de toxicidad
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FMAM	Fondo para el Medio Ambiente Mundial
HCB	hexaclorobenceno
HCI	cloruro de hidrógeno
HDC	hidrodecoloración catalítica
IATA	Asociación del Transporte Aéreo Internacional
ISO	Organización Internacional de Normalización
MNF	metales no ferrosos
MPA	mejores prácticas ambientales
MTD	mejores técnicas disponibles
NaOH	hidróxido de sodio
OACI	Organización de Aviación Civil Internacional
OASC	oxidación en agua supercrítica
OCDE	Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos
OMI	Organización Marítima Internacional
PBB	bifenil polibromado
PCB	bifenil policlorado
PCDD	dibenzo-p-dioxinas policloradas
PCDF	dibenzofuranos policlorados
PCN	naftaleno policlorado
PCT	terfenil policlorado
Pd/C	paladio sobre carbono
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PTRL	procesador de reducción térmica por lotes
RQFG	reducción química en fase gaseosa
SPDL	sistema de precalentador de desechos líquidos
t-BuOK	terc-butoxido de potasio

## Unidades de medida

°C	grados centígrados
mg/kg	miligramo(s) por kilogramo. Corresponde en masa a partes por millón (ppm)
µg	microgramo
µg/kg	microgramo(s) por kilogramo. Corresponde en masa a partes por mil millones (ppb)
ng/kg	nanogramo(s) por kilogramo. Corresponde en masa a partes por billón (ppt)
Mg	megagramo (1.000 kg o 1 tonelada)
Kg	kilogramo
Mg	miligramo
Ng	nanogramo
Nm <sup>3</sup>	metro cúbico normal; se refiere a gas seco, 101,3 kPa y 273,15 K
k J/g	kilojulio por gramo
kW	kilovatio
kWh	kilovatio – hora
MJ	megajulio
Millón	10 <sup>6</sup>
mil millones	10 <sup>9</sup>
Billón	10 <sup>12</sup>
Ppm	partes por millón
Ppb	partes por mil millones
Ppt	partes por billón

# I. Introducción

## A. Ámbito

1. Estas directrices técnicas generales ofrecen orientación para el manejo ambientalmente racional de los desechos consistentes en contaminantes orgánicos persistentes (COP), que los contengan o estén contaminados con ellos, de conformidad con las decisiones IV/17, V/26, VI/23, VII/13 y I/16 de la Conferencia de las Partes en el Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación, I/4, II/10, III/8, IV/11 y V/12 del Grupo de Trabajo de composición abierta del Convenio de Basilea, con la resolución 5 de la Conferencia de Plenipotenciarios para el Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes, con las decisiones INC-6/5 e INC-7/6 del Comité Intergubernamental de Negociación de un instrumento internacional jurídicamente vinculante para la aplicación de medidas internacionales respecto de ciertos contaminantes orgánicos persistentes y con las decisiones SC-1/21 y SC-2/6 de la Conferencia de las Partes en el Convenio de Estocolmo.

2. Se han elaborado, o se elaborarán, directrices técnicas específicas sobre cada una de las categorías de desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos que figuran a continuación:

a) Bifenilos policlorados (PCB); estas directrices técnicas incluyen también los terfenilos policlorados (PCT) y los bifenilos polibromados (PBB) que son objeto del Convenio de Basilea pero que no son COP objeto del Convenio de Estocolmo;

b) Plaguicidas que son COP, aldrina, clordano, dieldrina, endrina, heptacloro, hexaclorobenceno (HCB), mírex y toxafeno y HCB como producto químico industrial<sup>1</sup>;

c) 1,1,1-Tricloro-2,2-bis(4-clorofenil)etano (DDT);

d) Dibenzo-p-dioxinas policloradas (PCDD) y dibenzofuranos policlorados (PCDF), así como PCB, y HCB producidos de forma no intencional.

3. Las orientaciones que figuran en este documento tienen por finalidad proporcionar una orientación general independiente, así como lo que podría denominarse una orientación de carácter “totalmente general” para que se utilicen conjuntamente con las directrices técnicas específicas.

4. A esos fines, estas directrices técnicas generales proporcionan:

a) Orientaciones generales sobre el manejo de desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos; y

b) Un marco para abordar las cuestiones a que se hace referencia en el párrafo 2 del artículo 6 del Convenio de Estocolmo (véase la subsección 2 de la sección B del capítulo II de las presentes directrices, sobre disposiciones del Convenio de Estocolmo relativas a los desechos).

5. Las consideraciones relativas a la eliminación ambientalmente racional de los desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos expuestas en estas directrices incluyen el tratamiento previo dada su posible importancia para determinar el método de eliminación. Las directrices proporcionan también orientación sobre la reducción o la eliminación de liberaciones en el medio ambiente procedentes de los procesos de eliminación y tratamiento de desechos.

6. Cabe señalar que la orientación sobre las mejores técnicas disponibles (MTD) y las mejores prácticas ambientales (MPA) en la medida en que son aplicables a la prevención o la minimización de la formación y liberación no intencional de COP de fuentes antropógenas enumeradas en el anexo C del Convenio de Estocolmo, figura en el citado Convenio y cabe señalar también que existe un proyecto de directrices sobre mejores técnicas disponibles y orientación provisional sobre mejores prácticas ambientales en relación con el artículo 5 y el anexo C del Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes. El Grupo de expertos en mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales del Convenio de Estocolmo dio forma final a esas directrices en noviembre de 2006. Se prevé que la conferencia de las Partes en el Convenio de Estocolmo aprobará una versión definitiva de las directrices en su tercera reunión, que se celebrará a mediados de 2007.

---

<sup>1</sup> El HCB se ha incluido en la lista tres veces para reflejar su triple condición de producto químico industrial, plaguicida (fungicida) y COP producido de forma no intencional.

## **B. Generalidades sobre los COP<sup>2</sup>**

7. La mayor parte de las cantidades de COP son de origen antropógeno. Ciertas cantidades de algunos COP, como por ejemplo los enumerados en el anexo C del Convenio de Estocolmo, se producen también en procesos naturales.
8. Las características de los COP (toxicidad, persistencia y bioacumulación), su potencial de transporte a larga distancia y su presencia en todos los ecosistemas del mundo y en los seres humanos fueron el móvil para la creación del Convenio de Estocolmo. Asimismo, como se señala en la subsección 2 de la sección A del capítulo II *infra*, los desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos están incluidos como desechos en los anexos I y VIII del Convenio de Basilea.
9. El tratamiento o la eliminación incorrectos de desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos pueden dar origen a liberaciones de COP. Además, algunas tecnologías de eliminación pueden propiciar la formación y liberación no intencional de COP.

## **II. Disposiciones pertinentes de los convenios de Basilea y Estocolmo**

10. Además de los convenios de Basilea y Estocolmo existen otros instrumentos internacionales relativos a los COP. En el anexo I figura una lista de esos instrumentos.

### **A. Convenio de Basilea**

#### **1. Disposiciones generales**

11. El Convenio de Basilea, que entró en vigor el 5 de mayo de 1992, estipula que cualquier movimiento transfronterizo de desechos (exportación, importación o tránsito) se permite únicamente cuando el propio movimiento y la eliminación de los desechos peligrosos u otros desechos de que se trate se hace de forma ambientalmente racional.
12. En el párrafo 1 del artículo 2 (“Definiciones”) del Convenio de Basilea se indica que “por desechos se entienden las 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”. En el párrafo de ese artículo 4 se indica que por “eliminación se entiende cualquiera de las operaciones especificadas en el anexo IV” del Convenio. En el párrafo 8 se indica que por manejo ambientalmente racional de los desechos peligrosos o de otros desechos se entiende “la adopción de todas las medidas posibles para garantizar que los desechos peligrosos y otros desechos se manejen de manera que queden protegidos el medio ambiente y la salud humana contra los efectos nocivos que puedan derivarse de tales desechos”.
13. En el párrafo 1 del artículo 4 (“Obligaciones generales”) se establece el procedimiento mediante el que las Partes al ejercer su derecho de prohibir la importación de desechos peligrosos u otros desechos para su eliminación comunicarán a las otras Partes de su decisión. En el apartado a) del párrafo 1 se indica que: “las Partes que ejerzan su derecho a prohibir la importación de desechos peligrosos y otros desechos para su eliminación, comunicarán a las demás Partes de su decisión de conformidad con el artículo 13.” En el apartado b) del párrafo 1 se indica que: “las Partes prohibirán o no permitirán la exportación de desechos peligrosos u otros desechos a las Partes que hayan prohibido la importación de esos desechos, cuando dicha prohibición se les haya comunicado de conformidad con el apartado a)”.
14. Los apartados a) a d) del párrafo 2 del artículo 4 contienen disposiciones fundamentales del Convenio de Basilea relativas a la manejo ambientalmente racional, la reducción al mínimo de desechos y prácticas de eliminación de desechos que mitigan los efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente:  

“Cada Parte tomará las medidas apropiadas para:

  - a) Reducir al mínimo la generación de desechos peligrosos y de otros tipos de desechos en ella, teniendo en cuenta los aspectos sociales, tecnológicos y económicos;

---

<sup>2</sup> Existe información adicional sobre las características de los COP procedente de varias fuentes como la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, el Programa de Acción Mundial para la protección del medio marino frente a las actividades realizadas en tierra y el Programa internacional de seguridad de las sustancias químicas de la Organización Mundial de la Salud (1995) (véase el anexo V, Bibliografía del presente documento).



b) Establecer instalaciones adecuadas de eliminación para el manejo ambientalmente racional de los desechos peligrosos y otros desechos, cualquiera que sea el lugar donde se efectúa su eliminación que, en la medida de lo posible, estará situado dentro de ella.

c) Velar por que las personas que participan en el manejo de los desechos peligrosos y otros desechos dentro de ella adopten las medidas necesarias para impedir que ese manejo dé lugar a una contaminación y, en caso de que se produzca ésta, para reducir al mínimo sus consecuencias sobre la salud humana y el medio ambiente;

d) Velar por que el movimiento transfronterizo de los desechos peligrosos y otros desechos se reduzca al mínimo compatible con un manejo ambientalmente racional y eficiente de esos desechos, y que se lleve a cabo de forma que protejan la salud humana y el medio ambiente de los efectos nocivos que puedan derivarse de ese movimiento.”

## 2. Disposiciones relativas a los COP

15. En el artículo 1 (“Alcance del Convenio”) se definen los tipos de desechos sujetos al Convenio de Basilea. El apartado a) de ese artículo se expone un proceso de dos etapas para determinar si un “desecho” es un “desecho peligroso” sujeto al Convenio: en primer lugar, un desecho debe pertenecer a cualquiera de las categorías enumeradas en el anexo I del Convenio (“Categorías de desechos que hay que controlar”) y, en segundo lugar, el desecho debe poseer al menos una de las características descritas en el anexo III del Convenio (“Lista de características peligrosas”).

16. Entre los tipos de desechos descritos en el anexo I que pueden consistir en COP o que puedan contenerlos o estar contaminados con ellos cabe citar:

- Y2 Desechos resultantes de la producción y preparación de productos farmacéuticos
- Y3 Desechos de medicamentos y productos farmacéuticos
- Y4 Desechos resultantes de la producción, la preparación y la utilización de biocidas y productos fitofarmacéuticos
- Y5 Desechos resultantes de la fabricación, preparación y utilización de productos químicos para la preservación de la madera
- Y6 Desechos resultantes de la producción, la preparación y la utilización de disolventes orgánicos
- Y7 Desechos que contengan cianuros, resultantes del tratamiento térmico las operaciones de temple
- Y8 Desechos de aceites minerales no aptos para el uso a que estaban destinados
- Y9 Mezclas y emulsiones de desechos de aceite y agua o de hidrocarburos y agua
- Y10 Sustancias y artículos de desecho que contengan o estén contaminados por bifenilos policlorados (PCB), terfenilos policlorados (PCT) o bifenilos polibromados (PBB)
- Y11 Residuos alquitranados resultantes de la refinación, destilación o cualquier otro tratamiento pirolítico
- Y12 Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de tintas, colorantes, pigmentos, pinturas, lacas o barnices
- Y13 Desechos resultantes de la producción y utilización de resinas, látex, plastificantes, colas y adhesivos
- Y14 Sustancias químicas de desecho, no identificadas o nuevas, resultantes de la investigación y el desarrollo o de las actividades de enseñanza y cuyos efectos en el ser humano o el medio ambiente no se conozcan
- Y16 Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de productos químicos y materiales para fines fotográficos
- Y17 Desechos resultantes del tratamiento de superficie de metales y plásticos
- Y18 Residuos resultantes de las operaciones de eliminación de desechos industriales
- Y39 Fenoles; compuestos fenólicos con inclusión de clorofenoles
- Y40 Éteres

- Y41 Solventes orgánicos halogenados
- Y42 Disolventes orgánicos, con exclusión de disolventes halogenados
- Y43 Cualquier sustancia del grupo de los dibenzofuranos policlorados
- Y44 Cualquier sustancia del grupo de las dibenzoparadioxinas policloradas
- Y45 Compuestos organohalogenados, que no sean las sustancias mencionadas en el presente anexo (por ejemplo, Y39, Y41, Y42, Y43, Y44).

17. Los PCDD y los PCDF, por ejemplo, pueden producirse de forma no intencional durante la producción de clorofenoles que se hayan utilizado para la preservación de la madera, pinturas y colas, así como durante la fabricación de otros productos químicos y plaguicidas. Los PCDD y PCDF pueden encontrarse también en escorias y cenizas volantes producidas durante operaciones de eliminación de desechos industriales. Varios de los plaguicidas que son COP se han utilizado o se están utilizando como biocidas. Los PCB han tenido un uso generalizado en el pasado en aditivos para pinturas, adhesivos y plásticos. Los HCB se han utilizado como un producto intermedio o un aditivo en diversos procesos de fabricación, incluida la producción de caucho sintético, pirotecnia y municiones, tintes y pentaclorofenol. Además, se sabe que tanto los PCB como los HCB se forman mediante los mismos procesos que dan lugar a los PCDD y los PCDF.

18. Se supone que los desechos enumerados en el anexo I poseen una o más de las características peligrosas descritas en el anexo III, que pueden incluir la H11 “Sustancias tóxicas (con efectos retardados o crónicos)”; la H12 “Ecotóxicos”; y la H6.1 “Tóxicos (venenos) agudos” a menos que, por medio de “ensayos nacionales” pueda probarse que no poseen esas características. Los ensayos nacionales pueden ser útiles para determinar una característica peligrosa concreta enumerada en el anexo III hasta el momento en que se defina plenamente la característica peligrosa. Actualmente se están elaborando, en el contexto del Convenio de Basilea, los documentos de orientación correspondientes a cada característica peligrosa enumerada en el anexo III.

19. En la lista A del anexo VIII del Convenio se describen desechos que “están caracterizados como peligrosos de conformidad con el apartado a) del párrafo 1 del artículo 1 del presente Convenio” aunque “su inclusión en el anexo VIII no obsta para que se use el anexo III característica de peligro) para demostrar que un desecho no es peligroso” (párrafo b) del anexo I). La Lista B del anexo IX incluye desechos que no están sujetos a lo dispuesto en el apartado a) del párrafo 1 del artículo 1 del presente Convenio, a menos que contengan materiales incluidos en el anexo I en una cantidad tal que les confiera una de las características del anexo III. En particular, las características de los desechos incluidos en el anexo VIII que figuran a continuación se aplican los COP:

a) PCB, PCT y PBB

A 1180 Montajes eléctricos y electrónicos de desecho o restos de éstos<sup>3</sup> que contengan componentes como acumuladores y otras baterías incluidos en la lista A, interruptores de mercurio, vidrios de tubos de rayos catódicos y otros vidrios activados y capacitadores de PCB, o contaminados con constituyentes del anexo I (por ejemplo, cadmio, mercurio, plomo, bifenilo policlorado) en tal grado que posean alguna de las características del anexo III (véase la entrada correspondiente en la lista B, B1110)<sup>4</sup>

A3180 Desechos, sustancias y artículos que contienen, consisten o están contaminados con bifenilo policlorado (PCB), terfenilo policlorado (PCT), naftaleno policlorado (PCN) o bifenilo polibromado (PBB), o cualquier otro compuesto polibromado análogo, con una concentración de igual o superior a 50 mg/kg<sup>5</sup>

b) Plaguicidas que son COP, con inclusión de aldrina, clordano, DDT, dieldrina, endrina, HCB, heptacloro, mirex y toxafeno;

A4030 Desechos resultantes de la producción, la preparación y la utilización de biocidas y productos fitofarmacéuticos, con inclusión de desechos de plaguicidas y herbicidas que

---

<sup>3</sup>. En esta categoría no se incluyen restos de montajes de generación de energía eléctrica.

<sup>4</sup> El nivel de concentración de los PCB de 50 mg/kg o más.

<sup>5</sup>. Se considera que el nivel de 50 mg/kg es un nivel práctico internacional para todos los desechos. Sin embargo, muchos países han establecido en sus normas niveles más bajos (por ejemplo, 20 mg/kg) para determinados desechos.

no respondan a las especificaciones, caducados<sup>6</sup>, o no aptos para el uso previsto originalmente

c) PCDD y PCDF

A4110 Desechos que contienen, consisten o están contaminados con algunos de los productos siguientes:

- Cualquier sustancia del grupo de los dibenzofuranos policlorados
- Cualquier sustancia del grupo de las dibenzodioxinas policloradas

20. La Lista A del anexo VIII incluye varios desechos o categorías de desechos que tienen el potencial de contener COP o estar contaminados con ellos, a saber:

A1090 Cenizas de la incineración de cables de cobre recubiertos

A1100 Polvos y residuos de los sistemas de depuración de gases de las fundiciones de cobre

A2040 Yeso de desecho procedente de procesos de la industria química, si contiene constituyentes del anexo I en tal grado que presenten una característica peligrosa del anexo III (véase la entrada correspondiente en la lista B B2080)

A2060 Cenizas volantes de centrales eléctricas de carbón que contengan sustancias del anexo I en concentraciones tales que presenten características del anexo III (véase la entrada correspondiente en la lista B B2050)

A3020 Aceites minerales de desecho no aptos para el uso al que estaban destinados

A3040 Desechos de líquidos térmicos (transferencia de calor)

A3050 Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de resinas, látex, plastificantes o colas/adhesivos excepto los desechos especificados en la lista B (véase el apartado correspondiente en la lista B B4020)

A3070 Desechos de fenoles, compuestos fenólicos, incluido el clorofenol en forma de líquido o de fango

A3090 Desechos de cuero en forma de polvo, cenizas, fangos y harinas que contengan compuestos de plomo hexavalente o biocidas (véase el apartado correspondiente en la lista B B3100)

A3100 Raeduras y otros desechos del cuero o de cuero regenerado que no sirvan para la fabricación de artículos de cuero, que contengan compuestos de cromo hexavalente o biocidas (véase el apartado correspondiente en la lista B B3090)

A3110 Desechos del curtido de pieles que contengan compuestos de cromo hexavalente o biocidas o sustancias infecciosas (véase el apartado correspondiente en la lista B B3110)

A3120 Pelusas - fragmentos ligeros resultantes del desmenuzamiento

A3150 Desechos de disolventes orgánicos halogenados

A3160 Desechos resultantes de residuos no acuosos de destilación halogenados o no halogenados derivados de operaciones de recuperación de disolventes orgánicos

A4010 Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de productos farmacéuticos, pero con exclusión de los desechos especificados en la lista B

A4020 Desechos clínicos y afines; es decir desechos resultantes de prácticas médicas, de enfermería, dentales, veterinarias o actividades similares, y desechos generados en hospitales u otras instalaciones durante actividades de investigación o el tratamiento de pacientes, o de proyectos de investigación

A4040 Desechos resultantes de la fabricación, preparación y utilización de productos químicos<sup>7</sup> para la preservación de la madera

---

<sup>6</sup> Caducados significa no utilizados durante el período recomendado por el fabricante.

<sup>7</sup> Esta categoría no incluye la madera tratada con preservantes químicos.

- A4070 Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de tintas, colorantes, pigmentos, pinturas, lacas o barnices, con exclusión de los desechos especificados en la lista B (véase el apartado correspondiente de la lista B B4010)
- A4100 Desechos resultantes de la utilización de dispositivos de control de la contaminación industrial para la depuración de los gases industriales, pero con exclusión de los desechos especificados en la lista B
- A4130 Envases y contenedores de desechos que contienen sustancias incluidas en el anexo I, en concentraciones suficientes como para mostrar las características peligrosas del anexo III
- A4140 Desechos consistentes o que contienen productos químicos que no responden a las especificaciones o caducados<sup>8</sup> correspondientes a las categorías del anexo I, y que muestran las características peligrosas del anexo III
- A4150 Sustancias químicas de desecho, no identificadas o nuevas, resultantes de la investigación y el desarrollo o de las actividades de enseñanza y cuyos efectos en el ser humano o el medio ambiente no se conozcan
- A4160 Carbono activado consumido no incluido en la lista B (véase el correspondiente apartado de la lista B B2060)

21. Como se expone en el apartado b) del párrafo 1 del artículo 1, “Los desechos no incluidos en el apartado a), pero definidos o considerados peligrosos por la legislación interna de la Parte que sea Estado de exportación, de importación o de tránsito” están también sujetos al Convenio de Basilea.

## **B. Convenio de Estocolmo**

### **1. Disposiciones generales**

22. El objetivo del Convenio de Estocolmo, que entró en vigor el 17 de mayo de 2004, se expone en el artículo 1 (“Objetivo”): “Teniendo presente el enfoque de precaución consagrado en el principio 15 de la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, el objetivo del presente Convenio es proteger la salud humana y el medio ambiente frente a los contaminantes orgánicos persistentes”.

23. En el Convenio de Estocolmo se establece una diferencia entre dos categorías de COP:

- a) COP producidos intencionalmente, cuya producción y utilización deberán ser:
  - i) Eliminadas de conformidad con las disposiciones del anexo A; o
  - ii) Restringidas conforme a las disposiciones del anexo B;

b) COP producidos de forma no intencional, respecto de los cuales se estipula que las Partes deberán adoptar las medidas descritas para reducir las liberaciones totales derivadas de fuentes antropógenas, con la meta de seguir reduciéndolas al mínimo y, en los casos en que sea viable, eliminarlas definitivamente.

24. El párrafo 1 del artículo 7 (“Planes de aplicación”) del Convenio estipula que cada Parte:

- “a) Elaborará un plan para el cumplimiento de sus obligaciones emanadas del presente Convenio y se esforzará en aplicarlo;
- b) Transmitirá su plan de aplicación a la Conferencia de las Partes dentro de un plazo de dos años a partir de la fecha en que el presente Convenio entre en vigor para dicha Parte; y
- c) Revisará y actualizará, según corresponda, su plan de aplicación a intervalos periódicos y de la manera que determine una decisión de la Conferencia de las Partes.”

### **2. Disposiciones relativas a los desechos**

25. El artículo 6 (“Medidas para reducir o eliminar las liberaciones derivadas de existencias y desechos”) establece las disposiciones relativas a los desechos como sigue:

- “1. Con el fin de garantizar que las existencias que consistan en productos químicos incluidos en el anexo A o el anexo B, o que contengan esos productos químicos, así como los

---

<sup>8</sup> “Caducados” significa no utilizados durante el período recomendado por el fabricante.

desechos, incluidos los productos y artículos cuando se conviertan en desechos, que consistan en un producto químico incluido en el anexo A, B o C o que contengan dicho producto químico o estén contaminadas con él, se gestionen de manera que se proteja la salud humana y el medio ambiente, cada Parte:

- a) Elaborará estrategias apropiadas para determinar:
  - i) Las existencias que consistan en productos químicos incluidos en el anexo A o el anexo B, o que contengan esos productos químicos; y
  - ii) Los productos y artículos en uso, así como los desechos, que consistan en un producto químico incluido en el anexo A, B, o C, que contengan dicho producto químico o estén contaminados con él.
- b) Determinará, en la medida de lo posible, las existencias que consistan en productos químicos incluidos en el anexo A o el anexo B, o que contengan esos productos químicos, sobre la base de las estrategias a que se hace referencia en el apartado a);
- c) Gestionará, cuando proceda, las existencias de manera segura, eficiente y ambientalmente racional. Las existencias de productos químicos incluidos en el anexo A o el anexo B, cuando ya no se permita utilizarlas en virtud de una exención específica estipulada en el anexo A o una exención específica o finalidad aceptable estipulada en el anexo B, a excepción de las existencias cuya exportación esté autorizada de conformidad con el párrafo 2 del artículo 3, se considerarán desechos y se gestionarán de acuerdo con el apartado d);
- d) Adoptará las medidas adecuadas para que esos desechos, incluidos los productos y artículos, cuando se conviertan en desechos:
  - i) Se gestionen, recojan, transporten y almacenen de manera ambientalmente racional;
  - ii) Se eliminen de un modo tal que el contenido del contaminante orgánico persistente se destruya o se transforme en forma irreversible de manera que no presenten las características de contaminante orgánico persistente o, de no ser así, se eliminen en forma ambientalmente racional cuando la destrucción o la transformación irreversible no represente la opción preferible desde el punto de vista del medio ambiente o su contenido de contaminante orgánico persistente sea bajo, teniendo en cuenta las reglas, normas, y directrices internacionales, incluidas las que puedan elaborarse de acuerdo con el párrafo 2, y los regímenes mundiales y regionales pertinentes que rigen el manejo de los desechos peligrosos;
  - iii) No 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; y
  - iv) No sean transportados a través de las fronteras internacionales sin tener en cuenta las reglas, normas y directrices internacionales;
- e) Se esforzará por elaborar estrategias adecuadas para identificar los sitios contaminados con productos químicos incluidos en el anexo A, B o C; y en caso de que se realice el saneamiento de esos sitios, ello deberá efectuarse de manera ambientalmente racional.

2. La Conferencia de las Partes, cooperará estrechamente con los órganos pertinentes del Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación, para, entre otras cosas:

- a) Fijar niveles de destrucción y transformación irreversible necesarios para garantizar que no se exhiban las características de contaminantes orgánicos persistentes especificadas en el párrafo 1 del anexo D;
- b) Determinar los métodos que constituyan la eliminación ambientalmente racional a que se hace referencia anteriormente; y
- c) Adoptar medidas para establecer, cuando proceda, los niveles de concentración de los productos químicos incluidos en los anexos A, B y C para definir el bajo

contenido de contaminante orgánico persistente a que se hace referencia en el inciso ii) del apartado d) del párrafo 1”.

26. En el inciso i) del apartado a) del párrafo 2 del artículo 3, relativo a las importaciones, se estipula que: “Cada Parte adoptará medidas para velar por que un producto químico incluido en el anexo A o en el anexo B, se importe únicamente para fines de su eliminación ambientalmente racional con arreglo a las disposiciones del apartado d) del párrafo 1 del artículo 6”. Análogamente, en el inciso i) del apartado b) del párrafo 2, del artículo 3, se estipula que: “Cada Parte adoptará medidas para velar por que un producto químico incluido en el anexo A, respecto del cual está en vigor una exención específica para la producción o utilización, o un producto químico incluido en la lista del anexo B, respecto del cual está en vigor una exención específica para la producción o utilización en una finalidad aceptable, teniendo en cuenta las disposiciones de los instrumentos internacionales de consentimiento fundamentado previo existentes, se exporte únicamente para fines de su eliminación ambientalmente racional con arreglo a las disposiciones del inciso d) del párrafo 1 del artículo 6.”

27. En la Parte II del Anexo C se enumeran las categorías de fuentes industriales que tienen un potencial de formación y liberación al medio ambiente relativamente elevado de COP enumerados en el anexo C. En la Parte III se enumeran las categorías de fuentes que pueden también producir y liberar COP en forma no intencionada. La Parte V contiene orientaciones generales sobre las MTD y las MPA.

### **III. Elementos sujetos al Convenio de Estocolmo que deben abordarse en cooperación con el Convenio de Basilea**

#### **A. Bajo contenido de COP**

28. Como se estipula en el inciso c) del párrafo 2 del artículo 6 del Convenio de Estocolmo, la Conferencia de las Partes, cooperará estrechamente con los órganos pertinentes del Convenio de Basilea para adoptar medidas para establecer, cuando proceda, los niveles de concentración de los productos químicos incluidos en los anexos A, B y C para definir el bajo contenido de contaminante orgánico persistente a que se hace referencia en el inciso ii) del apartado d) del párrafo 1”. Los desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos en un volumen superior al bajo contenido de COP, deberán, con arreglo a lo dispuesto en el inciso ii) del apartado d) del párrafo 1 del artículo 6, eliminarse de un modo tal que el contenido del contaminante orgánico persistente se destruya o se transforme en forma irreversible de manera que no presenten las características de contaminante orgánico persistente o, de no ser así, eliminarse en forma ambientalmente racional cuando la destrucción o la transformación irreversible no representen la opción preferible desde el punto de vista del medio ambiente.

29. Teniendo en cuenta las consideraciones siguientes:

- a) La eliminación de desechos con un alto contenido de COP, incluidas las existencias de desechos, debería ser una prioridad;
- b) La disponibilidad de capacidad para el tratamiento;
- c) Los valores límite con arreglo a la legislación nacional son pertinentes;
- d) La disponibilidad de métodos analíticos; y
- e) La falta de conocimientos y datos;

se deberán aplicar las definiciones provisionales para bajo contenido de COP siguientes:

- a) PCB: 50 [mg/kg]<sup>9</sup>;
- b) PCDD y PCDF: 15 µg EQT/kg<sup>10</sup>; y
- c) Aldrina, clordano, DDT, dieldrina, endrina, heptacloro, HCB, mírex y toxafeno: 50 mg/kg para cada uno<sup>11</sup>.

---

<sup>9</sup> Determinado conforme a métodos y normas nacionales o internacionales.

<sup>10</sup> EQT a que se hace referencia en el párrafo 2 de la Parte IV del anexo C del Convenio de Estocolmo, con exclusión de PCB coplanares.

<sup>11</sup> Determinado conforme a métodos y normas nacionales o internacionales.

## B. Niveles de destrucción y transformación irreversible

30. Teniendo en cuenta las consideraciones siguientes:

- a) Tanto la eficiencia de destrucción<sup>12</sup> (ED) como la eficiencia de remoción de la destrucción<sup>13</sup> (ERD) son funciones del contenido inicial de COP y no previenen la formación de COP producidos de forma no intencional durante la destrucción o transformación irreversibles;
- b) ED es criterio importante para ayudar a evaluar tecnologías de destrucción y transformación irreversible, pero puede resultar difícil hacer mediciones comparables y reproducibles, especialmente de forma habitual;
- c) La ERD considera únicamente las emisiones en la atmósfera;
- d) MTD y las MPA establecen condiciones de diseño y operación seguras, incluida la eficacia de destrucción prevista en circunstancias particulares para cada tecnología;
- e) No se han determinado las MTD ni las MPA respecto de todos los métodos de eliminación;
- f) La existencia de legislación interna y reglamentaciones internacionales normas y directrices pertinentes; y
- g) La falta de conocimientos y datos;

se deberían aplicar las definiciones provisionales siguientes para niveles de destrucción y transformación irreversible, sobre la base de niveles absolutos (por ejemplo, volumen corrientes de desechos procesos de tratamiento):

- a) Emisiones en la atmósfera:  
PCDD y PCDF: 0,1 ng EQT/Nm<sup>3</sup>,<sup>14</sup>  
Todos los demás COP: legislación interna y reglamentación, normas y directrices internacionales pertinentes, en el anexo II figuran ejemplos de legislación nacional pertinente;
- b) Emisiones acuosas: legislación interna reglamentación, normas y directrices internacionales pertinentes, en el anexo II figuran ejemplos de legislación nacional pertinente;
- c) Residuos sólidos: el contenido de COP deberá ser inferiores al bajo contenido de COP definido en la sección A, *supra*, de este capítulo. No obstante, si el contenido de COP de PCDD/PCDF producidos de forma no intencional es superior al de la definición de bajo contenido de COP que figura en la sección A, los residuos sólidos deben tratarse conforme a la sección G del capítulo IV.

Además, las tecnologías de destrucción y transformación irreversible deberían aplicarse conforme a las MTD y las MPA.

## C. Métodos que constituyen una eliminación ambientalmente racional

31. En la sección G del capítulo IV, *infra*, figura una descripción de los métodos que se considera constituyen la eliminación ambientalmente racional de desechos consistentes en COP, que los contienen o estén contaminados con ellos.

---

<sup>12</sup> Calculada sobre la base de la masa del contenido de COP del desecho, menos la masa del contenido restante de COP en los residuos gaseosos, líquidos y sólidos, dividida por la masa del contenido de COP del desecho; es decir,  $ED = (\text{contenido de COP del desecho} - \text{contenido de COP del gas, líquido y sólido residual}) / \text{contenido de COP del desecho}$ .

<sup>13</sup> Calculada sobre la base de la masa del contenido de COP del desecho, menos la masa del contenido restante de COP en los residuos gaseosos (gases de combustión), dividida por la masa del contenido de COP de los desechos; es decir,  $ERD = (\text{contenido de COP del desecho} - \text{contenido de COP del gas residual}) / \text{contenido de COP del desecho}$ .

<sup>14</sup> Equivalente tóxico según el párrafo 2 de la Parte IV del anexo C del Convenio de Estocolmo, pero sólo para los PCDD y PCDF. Nm<sup>3</sup> se refiere a gas seco, 101,3 kPa y 273,15 K. Normalizado a 11% de O<sub>2</sub>.

## **IV. Orientaciones sobre el manejo ambientalmente racional (GAR)**

### **A. Consideraciones generales**

32. La GAR es un concepto normativo amplio que aún no cuenta con una clara definición universal. Ahora bien, las disposiciones relativas a la GAR en cuanto a los desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos (y más generalmente, las relativas a los desechos peligrosos) en el marco del Convenio de Basilea y el Convenio de Estocolmo, y de los elementos básicos de su comportamiento según la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) (que se analizan en las tres subsecciones siguientes), proporcionan un concepto internacional que también apoya la labor relacionada con la GAR que se está llevando a cabo en diferentes países y entre los sectores industriales.

#### **1. Convenio de Basilea**

33. Conforme al párrafo 8 del artículo 2 del Convenio de Basilea, por manejo ambientalmente racional de los desechos peligrosos o de otros desechos "se entiende la adopción de todas las medidas posibles para garantizar que los desechos peligrosos y otros desechos se manejen de manera que queden protegidos el medio ambiente y la salud humana contra los efectos nocivos que pueden derivarse de tales efectos".

34. En el apartado b) del párrafo 2 del artículo 4 del Convenio se exige que cada Parte tome las medidas apropiadas a fin de "establecer instalaciones adecuadas de eliminación para el manejo ambientalmente racional de los desechos peligrosos y otros desechos, cualquiera que sea el lugar donde se efectúa su eliminación que, en la medida de lo posible, estará situado dentro de ella," y en el apartado c) de dicho párrafo se exige a cada Parte "velar por que las personas que participen en el manejo los desechos peligrosos y otros desechos dentro de ella adopten las medidas necesarias para impedir que ese manejo dé lugar a una contaminación y, en caso de que se produzca ésta, para reducir al mínimo sus consecuencias sobre la salud humana y el medio ambiente".

35. En el párrafo 8 del artículo 4 del Convenio se estipula que "Toda Parte exigirá que los desechos peligrosos y otros desechos, que se vayan a exportar, sean manejados de manera ambientalmente racional en el Estado de importación y en los demás lugares. En su primera reunión, las Partes adoptarán directrices técnicas para el manejo ambientalmente racional de los desechos sometidos a este Convenio". El objetivo de esas directrices técnicas y de las directrices técnicas específicas es proporcionar una definición más precisa de la GAR en el contexto de los desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos, incluidos los métodos de tratamiento y eliminación adecuados para esas corrientes de desechos.

36. En el Documento marco sobre la preparación de directrices técnicas para el manejo ambientalmente racional de los desechos sujetos al Convenio de Basilea, de 1994<sup>15</sup>, se expusieron en detalle diversos principios clave con respecto a la GAR de los desechos.

37. Para lograr el manejo ambientalmente racional de los desechos, en el Documento Marco se recomienda que se cumplan algunas condiciones jurídicas, institucionales y técnicas (criterios del manejo ambientalmente racional), en particular, que:

- a) Una infraestructura de reglamentación y coerción vele por el cumplimiento de las normas correspondientes;
- b) Los emplazamientos o instalaciones cuenten con una autorización y un grado adecuado de tecnología y control de la contaminación para manipular los desechos peligrosos en la forma prevista, en particular teniendo en cuenta el nivel tecnológico y de control de la contaminación en el país de exportación;
- c) Se exige, según proceda, que los operadores de los emplazamientos o las instalaciones donde se manejan desechos peligrosos vigilen los efectos de esas actividades;
- d) Se adopten medidas adecuadas en los casos en que la labor de vigilancia indique que el manejo de desechos peligrosos ha provocado emisiones inaceptables; y
- e) Las personas encargadas del manejo de los desechos peligrosos sean capaces y estén debidamente capacitadas para desempeñar sus funciones.

---

<sup>15</sup>. Véase el Convenio de Basilea de 1994 que figura en el anexo V, Bibliografía.



38. La GAR también es tema de la Declaración de Basilea sobre el manejo ambientalmente racional, adoptada en 1999 durante la quinta reunión de la Conferencia de las Partes en el Convenio de Basilea. En la Declaración las Partes convinieron en mejorar y vigorizar sus esfuerzos y colaboración para lograr el manejo ambientalmente racional, en particular, mediante la prevención, la reducción al mínimo, el reciclado, la recuperación y la eliminación de los desechos peligrosos y de otro tipo sujetos al Convenio de Basilea, teniendo en cuenta los aspectos sociales, tecnológicos y económicos; y la disminución en aún mayor medida de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y otros desechos sujetos al Convenio de Basilea.

39. En la Declaración se afirma que, en este contexto, deben llevarse a cabo ciertas actividades como:

- a) La determinación y cuantificación de los tipos de desechos que se generan al nivel nacional;
- b) El enfoque de mejores prácticas para evitar o reducir al mínimo la generación de desechos peligrosos y reducir su toxicidad, por ejemplo, el uso de métodos o enfoques de producción menos contaminante; y
- c) La utilización de emplazamientos o instalaciones declarados ambientalmente racionales para el manejo de desechos y, en particular, desechos peligrosos.

## **2. Convenio de Estocolmo**

40. En el Convenio de Estocolmo no se define el término “manejo ambientalmente racional”. La Conferencia de las Partes, en colaboración con los órganos pertinentes del Convenio de Basilea<sup>16</sup>, determinará los métodos ambientalmente racionales para la eliminación de los desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos.

## **3. Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos**

41. La OCDE ha adoptado una recomendación sobre la GAR de desechos que incluye, entre otras cosas elementos básicos de funcionamiento de las directrices de la GAR que se aplican a las instalaciones de recuperación de desechos, incluidos los elementos de funcionamiento que preceden a la recogida, el transporte, el tratamiento y el almacenamiento, así como los elementos posteriores al almacenamiento, el transporte, el tratamiento y la eliminación de los residuos pertinentes<sup>17</sup>.

42. Los elementos básicos del funcionamiento son que la instalación cuente con:

- a) Un sistema de manejo ambientalmente racional aplicable;
- b) Medidas suficientes que permitan salvaguardar la salud y la seguridad ocupacional y ambiental;
- c) Un programa adecuado de vigilancia, registro y presentación de informes;
- d) Un programa de capacitación acertado y adecuado para su personal;
- e) Un plan de emergencia adecuado; y
- f) Un plan adecuado para el cierre y la atención posterior al cierre.

## **B. Marco legislativo y reglamentario**

43. Las Partes en el Convenio de Basilea y el Convenio de Estocolmo deberán examinar los controles, las normas y los procedimientos nacionales para cerciorarse de que se ajusten a los convenios y a las obligaciones contraídas en virtud de ellos, incluidas las relativas a la GAR de los desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos.

44. La mayoría de los países ya cuentan con algún tipo de legislación que estipula principios, facultades y derechos amplios de protección ambiental. Hipotéticamente, el derecho ambiental del país deberá incluir requisitos para la protección de la salud humana y el medio ambiente. Esa legislación facultativa puede habilitar al gobierno para promulgar normas y reglamentaciones específicas, realizar inspecciones y hacer cumplir la normativa, y establecer sanciones para las transgresiones.

---

<sup>16</sup> Las Partes deberán consultar Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP), 2003 en el anexo V, Bibliografía.

<sup>17</sup> Véase OCDE 2004 en el anexo V, Bibliografía.

45. Dicha legislación relativa a los desechos peligrosos debería definirlos también e incluir en la definición los desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos con un contenido superior al bajo contenido de COP, al que se hace referencia en la sección A del capítulo III. Los textos legislativos podrían definir la GAR y exigir la adhesión a sus principios, velando por que los países cumplan las disposiciones relativas a la GAR de los desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos, e incluso su eliminación ambientalmente racional, como se describe en las presentes directrices y el Convenio de Estocolmo. A continuación se analizan los componentes o características específicos de un marco reglamentario que se ajustaría a los requisitos del Convenio de Basilea y el Convenio de Estocolmo y otros acuerdos internacionales<sup>18</sup>.

## 1. Fechas para la eliminación de la producción y el uso de los COP

46. Los textos legislativos deberían establecer un vínculo entre las fechas para la eliminación de la producción y el uso<sup>19</sup> de una sustancia COP (en especial en productos y artículos) y la eliminación de los COP una vez que se conviertan en desechos. Se debe incluir un plazo límite para la eliminación de los desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos, a fin de impedir la creación de reservas masivas sin una fecha clara para su eliminación.

## 2. Requisitos relativos a los movimientos transfronterizos<sup>20</sup>

47. Los desechos peligrosos y otros tipos de desechos deberán eliminarse en el país en que se produjeron, siempre que sea compatible con su GAR. Sólo se permiten los movimientos transfronterizos de esos desechos cuando:

- a) Se realizan en condiciones que no ponen en peligro la salud humana ni el medio ambiente;
- b) Las exportaciones se manejan de manera ambientalmente racional en el país de importación u otro país;
- c) El país de exportación no cuenta con la capacidad técnica ni las instalaciones necesarias para la eliminación de los desechos en cuestión de una manera ambientalmente racional y eficiente;
- d) Los desechos pertinentes se requieran como materia prima para las industrias de reciclado o recuperación en el país de importación; o
- e) Los movimientos transfronterizos pertinentes se ajusten a otros criterios que decidan las Partes.

48. Cualesquiera movimientos transfronterizos de desechos peligrosos u otros tipos de desechos están sujetos a notificación previa por escrito del país de exportación y al consentimiento previo por escrito de los países de importación y de tránsito. Las Partes prohibirán la exportación de desechos peligrosos y otros tipos de desechos si el país de importación prohíbe la importación de esos desechos. El Convenio de Basilea también exige que se brinde información relativa a cualquier movimiento transfronterizo previsto utilizando el formulario de notificación aceptado, y que el envío aprobado vaya acompañado del documento de movimiento desde el punto en que comienza el movimiento transfronterizo hasta el punto de eliminación.

49. Además, los desechos peligrosos y otros tipos de desechos objeto de movimientos transfronterizos se embalarán, etiquetarán y transportarán de conformidad con los reglamentos y las normas internacionales<sup>21</sup>.

---

<sup>18</sup> En los siguientes documentos figura orientación adicional sobre los marcos reglamentarios del Convenio de Basilea: Modelo de Legislación Nacional sobre la gestión de desechos peligrosos y otros desechos, así como sobre el control de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y otros desechos y su eliminación (UNEP, 1995a), Convenio de Basilea: Manual de Aplicación (UNEP, 1995b) y Convenio de Basilea: Guía para el Sistema de Control (UNEP, 1998a). Las Partes en el Convenio de Estocolmo deben consultar también la *Guía para la elaboración de un plan nacional de aplicación del Convenio de Estocolmo* (UNEP, 2005). Véase el anexo V, Bibliografía.

<sup>19</sup> Nótese que en el anexo A de las partes I y II, y en el anexo B del Convenio de Estocolmo figuran Bibliografía a la eliminación y restricción de la producción y uso de COP.

<sup>20</sup> Aplicable a las Partes en el Convenio de Basilea únicamente.

<sup>21</sup> En este sentido, deben utilizarse las Recomendaciones de las Naciones Unidas relativas al Transporte de Mercancías Peligrosas (Reglamentación Modelo) (CPENU, 2003a - Véase el anexo V, Bibliografía o versiones posteriores.

50. Cuando no se pueda completar el movimiento transfronterizo de desechos peligrosos y otros tipos de desechos al que los países pertinentes hayan dado su consentimiento, el país de exportación asegurará que los desechos correspondientes se devuelvan al país de exportación para su eliminación si no pudiesen concertarse otros arreglos. En el caso del tráfico ilícito (como se define en el párrafo 1 del artículo 9), el país de exportación velará por que los desechos correspondientes se devuelvan al país de exportación para que se eliminen o se disponga de ellos de conformidad con lo dispuesto en el Convenio de Basilea.

51. No se permiten movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y tipos de otros desechos entre un Estado Parte y un Estado no Parte en el Convenio de Basilea a menos que exista un acuerdo bilateral, multilateral o regional como se estipula en el artículo 11 del Convenio de Basilea.

### **3. Especificaciones para contenedores, equipo, contenedores para graneles y lugares de almacenamientos que contengan COP**

52. A fin de cumplir los requisitos la GAR y las cláusulas específicas del Convenio de Basilea y el Convenio de Estocolmo (por ejemplo, el párrafo 7 del artículo 4 del Convenio de Basilea y el párrafo 1 del artículo 6 del Convenio de Estocolmo), las Partes tal vez tengan que promulgar leyes específicas en que se describan los tipos de contenedores y las zonas de almacenamiento aceptables para determinados COP<sup>22</sup>. Las Partes deberán velar por que los contenedores que se vayan a transportar hacia otro país cumplan las normas internacionales, como las establecidas por la Asociación de Transporte Aéreo Internacional (IATA), la Organización Marítima Internacional (OMI) y la Organización Internacional de Normalización (ISO).

### **4. Salud y seguridad<sup>23</sup>**

53. Ni el Convenio de Basilea ni el Convenio de Estocolmo exigen específicamente que las Partes cuenten con legislación relativa a la salud y la seguridad laborales. Con todo, debería adoptarse un régimen legislativo para proteger a los trabajadores de la posible exposición a los COP. Esas disposiciones deberán incluir requisitos para el correcto etiquetado de los productos y la determinación de los métodos de eliminación idóneos.

54. La mayoría de los países cuentan con disposiciones relativas a la salud y la seguridad laborales en la legislación laboral general o la legislación especializada sobre salud humana o ambiental vigentes. Las Partes deberán volver a examinar su legislación vigente para cerciorarse de que se presta una correcta atención a los COP y a la integración de los aspectos pertinentes de los acuerdos internacionales. La disciplina de la salud y seguridad laborales se encuentra relativamente bien desarrollada y se dispone de abundantes orientaciones y documentos para ayudar a la planificación y revisión de la legislación, la normativa y la orientación técnica.

55. En el apartado e) del párrafo 1 de su artículo 10 (“Información, sensibilización y formación del público”), el Convenio de Estocolmo pide a las Partes que promuevan y faciliten la capacitación de los trabajadores y del personal científico, docente, técnico y directivo. La legislación nacional en materia de salud y seguridad deberá incluir disposiciones para la manipulación y el almacenamiento en condiciones de seguridad de los desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos.

### **5. Especificación de métodos analíticos y de muestreo aceptables para los COP**

56. Se han elaborado numerosos métodos de muestreo y analíticos diferentes para diversos fines. Solo podrán generarse datos fiables y útiles cuando se utilicen métodos de muestreo y analíticos adecuados para los desechos. Todas las Partes en los convenios de Basilea y Estocolmo deberán contar con legislación o directrices normativas concluyentes que determinen los métodos de muestreo y analíticos aceptables para cada desecho de COP, incluso sobre la forma en que se manifiesta y la matriz. Los procedimientos especificados deberán ser aceptados internacionalmente a fin de asegurar que los resultados notificados sean comparables. En la sección E del presente capítulo figura información adicional.

---

<sup>22</sup> Las Partes deberán consultar las directrices de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) relativas al almacenamiento de plaguicidas y desechos de plaguicidas (FAO, 1996 - Véase el anexo V, Bibliografía).

<sup>23</sup> Véase también la Sección I del capítulo IV.

## **6. Requisitos para las instalaciones de tratamiento y eliminación de desechos peligrosos**

57. La mayoría de los países cuentan con legislación que exige que las instalaciones de tratamiento y eliminación de desechos obtengan alguna forma de aprobación para comenzar el funcionamiento. En las aprobaciones se pueden estipular las condiciones específicas que deben mantenerse para que la aprobación siga siendo válida. Tal vez sea necesario añadir requisitos específicos para los desechos consistentes en COP que los contengan o estén contaminados con ellos a fin de cumplir los requisitos de la GAR y los requisitos específicos de los convenios de Basilea y Estocolmo.

## **7. Requisitos generales para la participación del público**

58. La participación del público es un principio básico de la Declaración de Basilea sobre el manejo ambientalmente racional y muchos otros acuerdos internacionales. La participación del público de la que se trata en la sección K del capítulo IV *infra*, puede contemplarse en la legislación y las políticas.

## **8. Lugares contaminados**

59. En la legislación pueden estipularse disposiciones que faciliten la elaboración de un inventario de sitios contaminados y el saneamiento de los sitios de una manera ambientalmente racional (apartado e) del párrafo 1 del artículo 6 del Convenio de Estocolmo).

## **9. Otros controles legislativos**

60. Entre los ejemplos de otros aspectos la gestión del ciclo de vida de los desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos, que podrían estipularse en la legislación cabe mencionar:

- a) Disposiciones y requisitos de los emplazamientos relacionados con el almacenamiento, la manipulación, el acopio y el transporte de desechos;
- b) Requisitos relativos a la puesta fuera de servicio en particular:
  - i) Inspección antes y de la puesta fuera de servicio y durante ella;
  - ii) Procedimientos para proteger el medio ambiente y la salud de los trabajadores y de la comunidad durante la puesta fuera de servicio;
  - iii) Requisitos de los emplazamientos después de la puesta fuera de servicio;
- c) Planificación de respuesta ante situaciones de emergencia, derrames y accidentes, en particular:
  - i) Procedimientos de limpieza y las concentraciones a las que se puede llegar después de la limpieza;
  - ii) Capacitación de los trabajadores y requisitos de seguridad; y
- d) Planes de prevención, reducción al mínimo y manejo de desechos.

## **C. Prevención y reducción al mínimo de desechos**

61. La prevención y reducción al mínimo de desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos, es la primera y más importante etapa de todo el proceso de la GAR de esos desechos. En el párrafo 2 del artículo 4 del Convenio de Basilea se exige a cada Parte “Reducir al mínimo la generación de desechos peligrosos y otros desechos, teniendo en cuenta los aspectos sociales, tecnológicos y económicos”.

62. Entre los elementos de un programa de prevención y reducción al mínimo de los desechos cabe incluir lo siguiente:

- a) Determinación de los procesos que producen los COP de forma no intencional y determinación de si se aplican las Directrices del Convenio de Estocolmo sobre las MTD y las MPA;
- b) Determinación de los procesos que utilizan COP y producen desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos:
  - i) Determinar si las modificaciones de los procesos, incluida la modernización del equipo más antiguo, podría reducir la producción de desechos;

- ii) Seleccionar los procesos alternativos que no están vinculados a la producción de desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos;
- c) Determinación de productos y artículos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos y alternativas sin COP;
- d) Reducción al mínimo del volumen de desechos producidos mediante:
  - i) La realización de operaciones de mantenimiento sistemático del equipo a fin de aumentar la eficiencia y prevenir derrames y fugas;
  - ii) La rápida contención de derrames y fugas;
  - iii) La descontaminación de contenedores y equipo con desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos; y
  - iv) El aislamiento de los desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos a fin de impedir la contaminación de otros materiales.

63. Podría requerirse de las entidades generadoras de desechos e importantes usuarios del sector industrial (por ejemplo, formuladores de plaguicidas) de productos y artículos que contienen COP que elaboren planes de manejo de desechos. Esos planes deberían abarcar todos los desechos peligrosos, y considerar como un solo componente los consistentes en COP, que los contengan o están contaminados con ellos.

64. No es ambientalmente racional mezclar otros materiales con los desechos de un contenido de COP superior al contenido definido como bajo con el único objetivo de generar una mezcla con un contenido de COP inferior al bajo contenido definido. Con todo, tal vez sea necesario mezclar los materiales antes de proceder al tratamiento de los desechos a fin de optimizar la eficiencia del tratamiento.

## **D. Determinación e inventarios**

### **1. Determinación**

65. En el párrafo 1 del artículo 6, el Convenio de Estocolmo exige:

- a) Determinar las existencias que consistan en productos químicos incluidos en el anexo A o el anexo B; y
- b) Elaborar estrategias apropiadas para determinar los productos y artículos en uso, así como los desechos, consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos.

66. Los desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos se presentan en forma sólida y líquida (acuosa, semiacuosa, a base de solventes y emulsiones) y pueden liberarse en forma de gases (gases reales, como líquido de dispersión o aerosoles, o adsorbidos en contaminantes atmosféricos).

67. Los desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos se generan fundamentalmente como resultado de las actividades humanas como, por ejemplo:

- a) Durante su fabricación intencional;
- b) Como subproductos de procesos industriales y otros procesos;
- c) Por la contaminación de materiales o del medio ambiente como resultado de accidentes o fugas que pudiesen ocurrir durante la producción, venta, utilización, puesta fuera de servicio, remoción o transferencia;
- d) Por la contaminación de materiales durante la manipulación y el uso de productos y artículos, como contenedores, ropa y, en algunos casos, equipo (respiradores, etc.) que se contaminaron por el contacto con un producto plaguicida;
- e) Cuando los productos o artículos contaminados con COP no responden a las especificaciones, pierden la aptitud para el uso original previsto o son descartados; y
- f) Cuando los productos se han prohibido o cuando se ha retirado el registro de esos productos.

68. Un aspecto fundamental para la determinación de los productos o artículos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos es el conocimiento de datos tales como, los fabricantes, nombres comerciales y sinónimos, fechas de fabricación, modalidades de utilización y usuarios. La lista de las categorías de fuentes de COP que figuran en el anexo C del Convenio de Estocolmo deberán ayudar a los gerentes industriales y a los reglamentadores gubernamentales, así como al público en general, a reconocer los desechos consistentes en COP producidos en forma no intencional, que los contengan o estén contaminados con ellos.

## 2. Inventarios

69. Los planes nacionales de aplicación elaborados en el marco del Convenio de Estocolmo incluirán un inventario nacional. A los fines del manejo ambientalmente racional de los desechos, tal vez sea necesario un inventario más específico y completo. Para ello será preciso, por lo general, un proceso iterativo. A continuación se ofrece orientación adicional.

70. Los inventarios son una herramienta importante para reconocer, cuantificar y caracterizar los desechos. Los inventarios nacionales podrían utilizarse para:

- a) Establecer una cantidad de referencia de los productos, artículos y desechos consistentes en COP, los contengan o estén contaminados con ellos;
- b) Establecer un registro de información para ayudar a las inspecciones de seguridad y reglamentarias;
- c) Obtener la información fidedigna necesaria para desarrollar planes para la estabilización de los sitios;
- d) Ayudar en la preparación de planes de respuesta de emergencia; y
- e) Seguir de cerca el avance para minimizar y eliminar gradualmente esos productos químicos.

71. Al elaborar el inventario, debe darse prioridad a la determinación de los desechos que tienen concentraciones de COP elevadas.

72. Un inventario debería contener, si procede, datos sobre:

Producción de COP dentro del país

- a) Importación/exportación de productos y artículos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos;
- b) Eliminación de desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos;
- c) Importación/exportación de tales desechos.

73. Para la elaboración de un inventario nacional de COP se requiere la cooperación de las entidades competentes con los fabricantes, usuarios, transportistas, funcionarios de aduanas, instalaciones de eliminación de desechos y los centros nacionales de coordinación del Convenio de Basilea y del Convenio de Estocolmo. Se requiere también el compromiso a largo plazo del gobierno nacional, la cooperación de los propietarios y fabricantes de COP, un proceso administrativo racional para la recopilación de información de manera permanente y un sistema de base de datos computadorizados para almacenar esa información. En algunos casos tal vez se requieran reglamentaciones gubernamentales para tener la certeza de que los propietarios informen sobre sus existencias y cooperen con los inspectores gubernamentales.

74. El primer elemento que hay que tener en cuenta al elaborar un inventario es el tipo de industrias y emplazamientos que podrían estar utilizando COP, lo que podría dar una idea de la magnitud de la labor del inventario y ayudar a elaborar una lista preliminar de posibles propietarios. Si los COP se produjeron en el país o se importaron, las industrias participantes también deben formar parte de las consultas iniciales. Esas empresas tal vez podrían dar estimaciones o incluso cifras exactas de la cantidad de esos productos que se utilizaron en aplicaciones nacionales. Esas estimaciones pueden ser muy valiosas para determinar el grado de exhaustividad del inventario de un producto químico. Desafortunadamente, en algunos casos tal vez ya no existan esos registros.

75. Para elaborar un inventario es preciso seguir las cinco fases básicas que se exponen a continuación.

**Primera fase: Consultar con las principales industrias y asociaciones:** Los funcionarios gubernamentales deben reunirse con representantes de las industrias que probablemente posean grandes cantidades de productos, artículos o desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos, y con antiguos fabricantes y distribuidores. Como es probable que las industrias química, agrícola, eléctrica y otras grandes industrias posean o tengan conocimiento acerca de un gran porcentaje de la cantidad total de COP del país, es preciso consultarles primero. Los funcionarios gubernamentales también deberían reunirse con organizaciones no gubernamentales para recabar información al respecto.

**Segunda fase – Capacitación del personal:** Los funcionarios gubernamentales encargados del inventario debe recibir capacitación en todos los aspectos de los productos, artículos y desechos. Los elementos fundamentales de la capacitación deberán incluir la determinación de los productos, artículos y desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos; auditorías e inspecciones; salud y seguridad; y procedimientos para el establecimiento y mantenimiento de inventarios.

**Tercera fase – Realizar varias auditorías de prueba:** El personal gubernamental debe visitar varias instalaciones. Esas visitas deben cumplir tres objetivos. En primer lugar, permitirán al personal gubernamental familiarizarse con el proceso de inventario y las condiciones reales sobre el terreno. En segundo lugar, serán otra forma de mantener consultas con la industria. En tercer lugar, generarán algún tipo de información para los inventarios que se puede utilizar como datos de pruebas para la elaboración del inventario nacional.

**Cuarta fase – Elaborar una política o reglamentación que exija que los propietarios informen sobre los COP:** Es necesario elaborar un proyecto de política o reglamentación sobre el seguimiento de los COP y la presentación de informes a los gobiernos con miras al inventario. La política o reglamentación deberá exigir el informe inicial en una fecha prevista e informes posteriores cuando los propietarios modifiquen los inventarios o se produzcan eliminaciones. En los informes deberá figurar información específica para cada rubro del inventario, como:

- a) Nombre o descripción del producto, artículo o desecho;
- b) Peso físico (líquido, sólido, fango, gas);
- c) Peso del contenedor o equipo (si procede);
- d) Masa del material consistente en COP, que los contenga o esté contaminado con ellos;
- e) Cantidad de contenedores o piezas de equipo similares;
- f) Concentración de los COP en el producto, artículo o desecho;
- g) Otros riesgos relacionados con el material (por ejemplo, combustible, corrosivo, inflamable);
- h) Ubicación;
- i) Información del propietario;
- j) Etiquetas, números de serie, marcas de identificación, etc.;
- k) Fecha de asiento en el inventario;
- l) Fecha de salida del inventario y destino (si procede).

**Quinta fase – Ejecución del plan:** Antes de poner en práctica el requisito de informar sobre los inventarios, es preciso establecer una base de datos de inventario al nivel nacional. El inventario central del Gobierno deberá mantenerse actualizado en la medida en que surjan nuevas informaciones. Los gobiernos podrán ayudar a los propietarios proporcionándoles información y asesoramiento. Las inspecciones de los emplazamientos deberán coadyuvar a asegurar que la información recogida en el inventario sea correcta<sup>24</sup>.

76. Además, cabe señalar que el Protocolo de 2003 relativo a los registros de liberaciones y transferencias de contaminantes de la Convención sobre el acceso a la información, la participación del

---

<sup>24</sup> En la Guía Metodológica para la realización de inventarios nacionales de desechos peligrosos en el marco del Convenio de Basilea figura información adicional sobre inventarios (véase UNEP 2000a, en el anexo V, Bibliografía).

público en la toma de decisiones y el acceso a la justicia en asuntos ambientales, de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE), concertado en Aarhus en 1998, incluye disposiciones relativas a los inventarios que podrían aplicarse a los COP.

## **E. Muestreo, análisis y vigilancia**

77. El muestreo, el análisis y la vigilancia son componentes de importancia decisiva en el manejo de los desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos y deberá dárseles suma prioridad con respecto al fomento de la capacidad en los países en desarrollo y a la ejecución. El muestreo, el análisis y la vigilancia deberán estar a cargo de profesionales capacitados, según un plan bien diseñado y el uso de métodos aceptados internacionalmente y aprobados al nivel nacional, se realizan utilizando siempre el mismo método mientras dure el programa. También deberán someterse a rigurosas medidas de garantía de calidad y control de calidad. Los errores en el muestreo, el análisis o la vigilancia, o la desviación de los procedimientos operacionales estándar, pueden arrojar datos no significativos o incluso datos nocivos para el programa. Por consiguiente, cada Parte, según proceda, deberá cerciorarse de que dispone de la capacitación, los protocolos, y la capacidad de laboratorio para aplicar los métodos de muestreo, vigilancia y análisis, así como de que se cumplan esas normas.

78. Puesto que hay muchos motivos para el muestreo, el análisis y la vigilancia, y dado que también hay formas físicas de desechos muy diferentes, existen centenares de métodos distintos que se pueden utilizar para el muestreo, la vigilancia y el análisis. No es objeto del presente documento exponer ni siquiera algunos de los métodos utilizados en la actualidad ahora bien, en las tres secciones siguientes se analizan los aspectos fundamentales del muestreo, el análisis y la vigilancia.

79. Para obtener información sobre buenas prácticas de laboratorio se pueden consultar las publicaciones de la OCDE (OCDE, diversos años); para los aspectos de metodología generales, se puede utilizar el documento de orientación "Directrices para el Programa de Vigilancia Mundial de contaminantes orgánicos persistentes (PNUMA 2004a); y también se puede obtener más información sobre el análisis de COP en el sitio del proyecto conjunto del PNUMA y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) sobre capacidad necesaria para analizar COP, en [www.chem.unep.ch/pops/laboratory/default.htm](http://www.chem.unep.ch/pops/laboratory/default.htm).

### **1. Muestreo<sup>25</sup>**

80. El objetivo general de todo muestreo es obtener una muestra que pueda utilizarse para el fin previsto, por ejemplo, la caracterización de los emplazamientos, el cumplimiento con normas reglamentarias o la adecuación para el tratamiento o la eliminación propuestos. Este objetivo debe determinarse antes de comenzar la toma de muestras. Esto es indispensable para poder satisfacer los requisitos relacionados con el equipo, el transporte y la posibilidad de rastreo.

81. Antes de comenzar las actividades de muestreo deberían establecerse los procedimientos estándar y convenir en ellos (tanto para la matriz como para la toma de muestras específicas de COP). Los elementos de estos procedimientos podrían incluir los siguientes:

- a) Cantidad de muestras que se tomarán, la frecuencia de la toma de muestras, la duración del proyecto de muestreo y una descripción de los métodos de muestreo (incluidos los procedimientos establecidos para la garantía de la calidad, por ej., muestras de campo y cadenas de custodia);
- b) Selección de los lugares o emplazamientos y el momento en que se tomarán las muestras (incluida la descripción y la localización geográfica);
- c) Identidad de la persona que tomó las muestras y las condiciones imperantes durante la toma;
- d) Descripción completa de las características de la muestra - etiquetado;
- e) Preservación de la integridad de la muestra durante el transporte y el almacenamiento (antes del análisis);
- f) Estrecha cooperación entre la persona que tomará las muestras y el laboratorio de análisis;

---

<sup>25</sup> En RCRA Waste Sampling Draft Technical Guidance figura información adicional sobre muestreo (Agencia para la Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos, 2002, - y Nordtest method véase el anexo V, Bibliografía).



g) Personal encargado de la toma de muestras adecuadamente capacitado.

82. El muestreo debería observar las leyes nacionales específicas, cuando las haya, o las reglamentaciones internacionales. En los países en que no existan esas reglamentaciones, se debería nombrar a personal calificado. Los procedimientos de muestreo son, entre otros, los siguientes:

a) Elaboración de un procedimiento operacional estándar para muestreo de cada una de las matrices para un posterior análisis de COP;

b) Aplicación de procedimientos de muestreo reconocidos, tales como los elaborados por la Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales, la Unión Europea, el Organismo de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA) y el Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente;

c) Establecimiento de normas de garantía y control de la calidad.

83. Para que un programa de muestreo dé buenos resultados es preciso seguir todos esos pasos. Análogamente, la documentación debe ser exhaustiva y rigurosa.

84. Los tipos de matrices que normalmente se toman como muestras para los COP incluyen líquidos, sólidos y gases:

a) Líquidos:

i) Lixiviación proveniente de lugares de vertimiento y vertederos;

ii) Líquido recogido de derrames;

iii) Agua (agua de superficie, agua potable y efluentes industriales);

iv) Fluidos biológicos (sangre, en el caso de un control de la salud de los trabajadores);

b) Sólidos:

i) Existencias, productos y formulaciones consistentes en COP, que los contengan o que estén contaminados por éstos;

ii) Sólidos de fuentes industriales y derivados de procesos de tratamiento o eliminación (cenizas volantes, cenizas sedimentadas, lodo, residuos estancados, residuos de otro tipo, vestimenta, etc.);

iii) Contenedores, equipo o material de embalaje de otro tipo (muestras de enjuague o de limpieza), con inclusión de papeles o paños utilizados en la recogida de muestras;

iv) Suelo, sedimentos, escombros, lodos cloacales y abono orgánico;

c) Gases:

i) Aire (de interior).

85. En los programas de control del medio ambiente y de los seres humanos, se podrían incluir tanto matrices bióticas como abióticas:

a) Materia prima vegetal y alimentos;

b) Leche materna o sangre humana;

c) Aire (ambiental, deposición húmeda o seca y, posiblemente, nieve).

## 2. Análisis

86. El análisis se refiere a la extracción, purificación, separación, determinación, cuantificación y presentación de información de las concentraciones de COP en la matriz de que se trate. Para obtener resultados útiles y aceptables, el laboratorio de análisis deberá contar con la infraestructura necesaria (inmueble) y experiencia demostrada en la matriz y los COP (por ejemplo, participación fructífera en estudios internacionales de intercalibración). Un aspecto importante también es que un órgano independiente haya acreditado al laboratorio de acuerdo a la norma ISO 17025 o de otro tipo. Los criterios indispensables para obtener resultados de gran calidad incluyen:

a) Especificación de la técnica analítica;

b) Mantenimiento del equipo analítico;

- c) Validación de todos los métodos utilizados (incluidos los métodos internos);
- d) Capacitación del personal de laboratorio.

87. Por lo general, el análisis de COP se efectúa en un laboratorio especializado. Para situaciones específicas y para realizar una preselección, existen instrumentales de ensayo que pueden utilizarse en el terreno.

88. Para los análisis de laboratorio de COP no existe un solo método analítico. La ISO, el Comité Europeo de Normalización, la EPA, la AOAC y la ASTM han desarrollado métodos para analizar las diversas matrices para COP. En el anexo III se citan algunos ejemplos. La mayoría de los métodos internos son variaciones de éstos y después de validarse, esos métodos internos también son aceptables.

89. Además, se deberían establecer procedimientos y criterios de aceptación para la manipulación y la preparación de muestras de laboratorio, por ej., la homogeneización.

90. Los distintos pasos de la determinación analítica incluyen:

- a) La extracción, por ej., por medio de un extractor Soxhlet, extracción acelerada de solventes, líquido-líquido, etc.;
- b) La purificación, por ej., por medio de una cromatografía en columna. La purificación debe ser suficientemente eficiente para que la matriz no influya en la retención cromatográfica;
- c) La separación mediante cromatografía gaseosa capilar, que proporcionará una separación suficiente de los analitos;
- d) La determinación de detectores adecuados, como un detector de captura de electrones o un detector selectivo de masas, ya sea un espectrómetro de masas de baja resolución, ya uno de alta resolución;
- e) La cuantificación según metodología estándar interna (para referencia, véase PNUMA 2004a);
- f) La presentación de información según las reglamentaciones.

### **3. Vigilancia**

91. En el apartado b) del párrafo 2 del artículo 10 (“Cooperación Internacional”), el Convenio de Basilea exige que las Partes “cooperen en la vigilancia de los efectos del manejo de los desechos peligrosos sobre la salud humana y el medio ambiente”. En el párrafo 1 del artículo 11, el Convenio de Estocolmo estipula que “las Partes alentarán y/o efectuarán vigilancia adecuada respecto de los COP. Los programas de vigilancia deberían proporcionar indicios de si las operaciones de manejo de desechos peligrosos se realizan según su diseño, y detectar cambios de la calidad del medio ambiente provocados por dichas operaciones. La información procedente del programa de vigilancia deberá utilizarse para cerciorarse de que en la operación de manejo de desechos se procesen los tipos adecuados de desechos peligrosos, descubrir y reparar cualquier daño y determinar si un enfoque de manejo alternativo pudiera resultar adecuado. Mediante la ejecución de un programa de vigilancia, los gestores de instalaciones pueden detectar problemas y adoptar medidas adecuadas para resolverlos<sup>26</sup>”.

## **F. Manipulación, recolección, embalaje, etiquetado, transporte y almacenamiento**

92. La manipulación, la recolección, el embalaje, el etiquetado, el transporte y el almacenamiento son etapas especialmente importantes dado el riesgo de posibles derrames, fugas o incendios (por ejemplo durante la preparación para proceder al almacenamiento y a la eliminación) es igual o mayor que en cualquier otro momento.

93. Para determinar los requisitos específicos para el transporte y el movimiento transfronterizo de desechos peligrosos deberían consultarse los documentos siguientes:

- a) Manual para la aplicación del Convenio de Basilea (PNUMA, 1995);
- b) Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas (OMI, 2002);

---

<sup>26</sup> Puede obtenerse información adicional sobre vigilancia en Reference Document on the General Principles of Monitoring (European Commission, 2003) y Guidance for a Global Monitoring Programme for Persistent Organic Pollutants (UNEP, 2004a). Véase el anexo V, Bibliografía.

c) Instrucciones Técnicas para el transporte sin riesgos de mercancías peligrosas por vía aérea de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI);

d) Reglamentación sobre Mercancías Peligrosas de la IATA y Recomendaciones relativas al Transporte de Mercancías Peligrosas - Reglamentación Modelo - de las Naciones Unidas (Libro Naranja).

94. Para las secciones 1 a 6 que siguen, se puede encontrar información detallada en la publicación de la secretaría del Convenio de Basilea "Destruction and Decontamination Technologies for PCBs and other POPs wastes. Under the Basel Convention: A training manual for hazardous waste project managers. Volumes A and B" (Tecnologías de destrucción y descontaminación de PCB y otros desechos de COP. Manual de capacitación para administradores de proyectos sobre desechos peligrosos) (PNUMA, 2002).

95. Los desechos consistentes en COP que los contengan o estén contaminados con ellos a nivel superior al bajo contenido de COP a que se hace referencia en la sección A del capítulo III deben tratarse como desechos peligrosos a fin de evitar derrames y fugas que causen la exposición de los trabajadores, liberaciones en el medio ambiente y la exposición de la comunidad.

## 1. Manipulación<sup>27</sup>

96. Las principales preocupaciones relativas a la manipulación de desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos son la exposición humana, la liberación accidental al medio ambiente y la contaminación de otras corrientes de desechos con COP. Esos desechos deberán manipularse separadamente de otros tipos de desechos a fin de evitar la contaminación de esas otras corrientes de desechos. Para ello se recomiendan, entre otras, las siguientes prácticas:

a) Inspección de los contenedores para detectar fugas, perforaciones, oxidación o alta temperatura y un nuevo embalaje o etiquetado según sea necesario;

b) Manipulación de los desechos a temperaturas inferiores a 25°C, de ser posible, por el aumento de la volatilidad a temperaturas más altas;

c) Comprobación de que las medidas de contención de los derrames sean las apropiadas y permitan contener los desechos líquidos en caso de derrame;

d) Colocación de revestimientos plásticos o de alfombrillas absorbentes debajo de los contenedores antes de abrirlos si la superficie de la zona de contención no está recubierta parejamente con algún material de protección (pintura, uretano o resina epóxica);

e) Drenaje de los desechos líquidos quitando el tapón de vaciado o bombeándolos con una bomba peristáltica y tuberías adecuadas resistentes a la corrosión química;

f) Utilización de bombas, sistemas de tuberías y bidones especiales que no se utilicen para otros fines para trasvasar los desechos líquidos;

g) Limpieza de todo líquido derramado con paños, papel o absorbentes;

h) Triple enjuague de las superficies contaminadas con un disolvente como keroseno para eliminar todo PCB, PCT o PBB residual;

i) Tratamiento de todos los absorbentes y solventes del triple enjuague, ropas de protección desechables y revestimientos plásticos como desechos que contengan PCB, PCT o PBB, o estén contaminados con ellos, cuando proceda.

97. Se deberá impartir instrucción al personal en los métodos correctos de manipulación de desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos.

## 2. Recolección

98. Aunque tal vez las grandes industrias sean responsables del manejo adecuado de los desechos, generados en su propia actividad, consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos, muchas entidades de menor envergadura también poseen dichos desechos. Entre los desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos que poseen pequeñas entidades, pueden incluirse los desechos domésticos o los contenedores de plaguicidas de tamaño comercial, las

---

<sup>27</sup> Entre los ejemplos de directrices sobre la manipulación segura de materiales peligrosos y prevención de accidentes se incluyen las preparadas por la Organización Internacional del Trabajo (1999a y 1999b) y la OCDE (2003), incluidas en el anexo V, "Bibliografía".

reactancias de lámparas fluorescentes de PCB, los contenedores de pequeñas dimensiones de conservantes de la madera a base de pentaclorofenol contaminados con PCDD y PCDF, pequeñas cantidades de COP “puros” de laboratorios e instalaciones de investigación y semillas revestidas con plaguicidas empleadas en actividades agrícolas y de investigación. Para hacer frente a este variado surtido de desechos peligrosos, muchos gobiernos han creado depósitos donde los propietarios pueden depositar pequeñas cantidades de esos desechos gratuitamente o por un precio nominal. Dichos depósitos pueden ser permanentes o provisionales, o estar ubicados en estaciones comerciales de transferencia de desechos peligrosos. Los países podrían crear, en conjunto y sobre una base regional, depósitos para la recolección de desechos y estaciones de transferencia, o un país desarrollado podría facilitarlos a un país en desarrollo.

99. Al crear y poner en práctica programas de recolección, depósitos, y estaciones de transferencia de desechos, deberá prestarse atención a lo siguiente:

- a) Divulgar el programa, las ubicaciones de los depósitos y los períodos de recolección entre todos los posibles propietarios de desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos.
- b) Conceder tiempo suficiente para la ejecución de los programas de recolección con vistas a lograr la recolección total de los desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos<sup>28</sup>;
- c) Incluir en el programa, en la medida posible, todos los desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos;
- d) Ofrecer a los propietarios de desechos contenedores y materiales de transporte seguro aceptables para los materiales de desecho que pudiera ser necesario volver a embalar o proteger para su transporte.
- e) Crear mecanismos de recolección simples y de bajo costo;
- f) Garantizar la seguridad tanto de las personas que descargan los desechos como de las que trabajan en los depósitos;
- g) Garantizar que los operadores de los depósitos utilicen métodos de eliminación adecuados;
- h) Garantizar que el programa y las instalaciones cumplan todos los requisitos legislativos aplicables; y
- i) Garantizar que los desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos, estén separados de otras corrientes de desechos.

### **3. Embalaje**

100. Los desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos se deberán embalar de manera adecuada a fin de facilitar el transporte y como medida de seguridad para reducir el riesgo de fugas y derrames. El embalaje de desechos peligrosos se divide en dos categorías: embalaje para el transporte y embalaje para el almacenamiento.

101. Por lo general la legislación nacional relativa al transporte de mercancías peligrosas reglamenta el embalaje para el transporte. En cuanto a las especificaciones del embalaje para el transporte, se deberán consultar los materiales de referencia publicados por la IATA, la OMI, la CEPE y los gobiernos nacionales.

102. Algunos preceptos generales relativos al embalaje para el almacenamiento de desechos consistentes por COP, que los contengan o estén contaminados con ellos se enuncian a continuación:

- a) En la mayoría de los casos el embalaje adecuado para el transporte es apropiado para el almacenamiento;
- b) Por lo general, los desechos embalados en sus contenedores originales serán seguros para el almacenamiento, si el embalaje se encuentra en buenas condiciones;

---

<sup>28</sup> La recolección total tal vez requeriría el funcionamiento continuo o intermitente de los vertederos durante varios años.

- c) Esos desechos no deberán almacenarse jamás en contenedores de productos que no estaban destinados a contener dichos desechos, o cuyas etiquetas no identifican correctamente el contenido;
- d) Los contenedores en proceso de deterioro o considerados inseguros deberán vaciarse o colocarse en un embalaje exterior en condiciones (sobre envase). Cuando los contenedores inseguros se vacíen, el contenido deberá colocarse en contenedores adecuados, nuevos o renovados. En todos los contenedores nuevos o renovados deberán colocarse etiquetas correspondientes a su contenido que no den lugar a confusión;
- e) Los contenedores de menores dimensiones pueden embalsarse juntos, en contenedores de mayores dimensiones que contengan material absorbente;
- f) El equipo fuera de servicio que contenga COP puede ser o no ser adecuado como embalaje. El grado de seguridad se determinará en cada caso particular.

#### **4. Etiquetado<sup>29</sup>**

103. El etiquetado de los desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos, es vital para el éxito de los inventarios y es un aspecto de seguridad básico de cualquier sistema de manejo de desechos. Cada contenedor de desechos deberá etiquetarse de manera que sea posible identificarlo (por ejemplo, con el número de identificación), así como los COP presentes y el grado de peligro.

#### **5. Transporte**

104. Los desechos que consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos, deberán transportarse de modo ambientalmente racional a fin de evitar derrames accidentales y seguir adecuadamente su trayecto y conocer su destino final. Antes del transporte deberán prepararse planes de emergencia a fin de reducir al mínimo los efectos ambientales relacionados con derrames, incendios y otras emergencias que pudieran ocurrir en el trayecto. Durante el transporte dichos desechos deberán identificarse, embalsarse y transportarse con arreglo las “Recomendaciones relativas al Transporte de Mercancías Peligrosas: Reglamentación Modelo de las Naciones Unidas (Libro Naranja)”. Quienes se encarguen del transporte de esos desechos deberán poseer la calificación o certificación, o ambas, de transportistas de materiales y desechos peligrosos.

105. En la mayoría de los países existen reglamentos sobre el transporte de mercancías y desechos peligrosos y el movimiento transfronterizo de los desechos está controlado, en particular por el Convenio de Basilea.

106. Las empresas que transporten desechos dentro de su propio país deberán contar con la certificación como transportadores de materiales y desechos peligrosos y su personal deberá estar calificado.

107. Pueden obtenerse orientaciones sobre el transporte seguro de materiales peligrosos en la IATA, la OMI y la CEPE, así como en la OACI.

#### **6. Almacenamiento<sup>30</sup>**

108. Los desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos deberán almacenarse de manera segura, preferentemente en áreas reservadas exclusivamente a esos efectos y lejos de otros materiales y desechos. Las áreas de almacenaje deberán diseñarse de manera que se impida la posible liberación de COP al medio ambiente por cualquier vía. Los locales, las áreas o los edificios de almacenamiento deberán ser diseñados por profesionales de experiencia en materia de diseño estructural, manejo de desechos y salud y seguridad ocupacionales o pueden adquirirse prefabricados a proveedores de prestigio.

---

<sup>29</sup> Se han elaborado normas internacionales para el etiquetado e identificación correctos de desechos. La CEPE (2003b) y la OCDE (2001) han elaborado normas internacionales para la identificación y el etiquetado correcto de los desechos peligrosos. Véase también “Training Manual on Inventory Taking of Obsolete Pesticides”, Series No 10 y reference No X9899 (FAO, 2001) y UNEP (1995b) que figuran en el anexo V, Bibliografía.

<sup>30</sup> En Storage of Hazardous Materials: A Technical Guide for Safe Warehousing of Hazardous Materials (UNEP, 1993 – véase el anexo V, Bibliografía). Pesticide storage and stock control manual, No 3 (FAO, 1996) figura información adicional.

109. A continuación se exponen algunos principios básicos relativos al almacenamiento seguro de desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos, a saber:

- a) Los lugares de almacenamiento situados en el interior de edificios de fines múltiples deberán ser locales o espacios cerrados por tabiques en zonas poco frecuentadas, dedicados especialmente a estos fines y provistos de cerradura.
- b) Los edificios independientes o contenedores<sup>31</sup> destinados al almacenamiento, situados al aire libre, deberán estar rodeados por un cerramiento periférico provisto de cerradura;
- c) Para cada tipo de desechos de COP deberán utilizarse zonas, locales o edificios de almacenamiento independientes, a menos que su almacenamiento conjunto se haya aprobado de manera específica;
- d) Dichos desechos no deberán almacenarse dentro o en la proximidad de lugares especialmente vulnerables, como hospitales u otras instituciones de salud pública, escuelas, viviendas, instalaciones de elaboración de alimentos, instalaciones de elaboración o almacenamiento de forrajes, operaciones agrícolas o instalaciones situadas cerca o en el interior de emplazamientos ambientalmente vulnerables;
- e) Los locales, edificios y contenedores de almacenamiento deberán ubicarse y mantenerse en condiciones que reduzcan al mínimo la volatilización, lo que incluye temperaturas frescas, techos y cerramientos laterales reflectores, ubicación a la sombra, etc. Cuando sea posible, en especial en los climas más cálidos, los locales y edificios de almacenamiento deberán mantenerse bajo presión negativa y la salida de los gases de escape deberá producirse a través de filtros de carbono, teniendo en cuenta las siguientes condiciones:
  - i) La conveniencia de ventilar un lugar de almacenamiento mediante el filtrado de los gases de escape con carbono cuando la exposición a los vapores de las personas que trabajan en dicho lugar y los que viven y trabajan en sus proximidades constituye una preocupación;
  - ii) La conveniencia de sellar y ventilar un lugar de almacenamiento de manera que solamente se liberen al aire exterior gases de escape bien filtrados, cuando las preocupaciones ambientales sean primordiales;
- f) Los edificios o contenedores dedicados al almacenamiento deberán estar en buenas condiciones y ser de plástico rígido o metal, no de madera, tableros de fibras, paneles de escayola, yeso o aislamiento;
- g) Las cubiertas de los edificios o contenedores dedicados al almacenamiento y el terreno circundante deberán tener una pendiente que garantice el drenaje del lugar de almacenamiento;
- h) Los edificios o contenedores destinados al almacenamiento deberán erigirse sobre asfalto, hormigón o láminas de material plástico duradero (por ejemplo, de 6 mm de espesor);
- i) El pavimento de los lugares de almacenamiento ubicados en el interior de edificaciones deberán ser de hormigón o duradero (por ejemplo, láminas de material plástico de 6 mm de espesor). El hormigón deberá recubrirse con polímero epóxico duradero;
- j) Los lugares de almacenamiento deberán estar equipados con alarmas de incendio;
- k) Los lugares de almacenamiento ubicados en el interior de edificaciones deberán estar equipados con sistemas de extinción de incendios (preferentemente que no utilicen agua). Si la sustancia ignífuga utilizada es agua, el pavimento del local de almacenamiento deberá tener un bordillo de contención y el sistema de drenaje del pavimento no desembocará en el alcantarillado general, en las alcantarillas de aguas pluviales ni directamente en las aguas superficiales; sino deberá tener su propio sistema colector, como un sumidero;
- l) Los desechos líquidos deberán almacenarse en cubetas herméticas o en un área a prueba de filtraciones y que tenga un bordillo de contención. La capacidad de contención deberá ser de al menos el 125% del volumen del desecho líquido, teniendo en cuenta el área ocupada por los productos almacenados en el área de contención;
- m) Las sustancias sólidas contaminadas deberán almacenarse en contenedores sellados, como barriles o cubos, contenedores de acero para desechos (tipo lugger box) o en envases o

---

<sup>31</sup> Con frecuencia los contenedores de transporte se utilizan para almacenamiento.

contenedores construidos para dicho propósito. Grandes volúmenes de material pueden almacenarse a granel en contenedores de transporte, edificaciones o cámaras destinados a esos fines, a condición de que cumplan los requisitos de seguridad descritos en el presente documento;

n) Deberá crearse un inventario detallado de los desechos existentes en el lugar de almacenamiento; dicho inventario se mantendrá actualizado cada vez que se agreguen o eliminen desechos;

o) En el exterior del lugar de almacenamiento deberá haber rótulos que indiquen su condición de lugar de almacenamiento de desechos;

p) El lugar de almacenamiento deberá inspeccionarse de forma habitual a fin de detectar fugas de sustancias, degradación de los materiales de los contenedores, actos de vandalismo, alteraciones de la integridad de los sistemas de alarma de incendios y de los sistemas de extinción de incendios, así como del estado general del lugar de almacenamiento.

## **G. Eliminación ambientalmente racional**

### **1. Tratamiento previo**

110. En esta sección se presentan algunas operaciones de tratamiento previo que pudieran ser necesarias para la aplicación adecuada y segura de las tecnologías de eliminación que se describen en las siguientes subsecciones 2 y 3. Hay también otras operaciones de tratamiento previo, que pueden utilizarse. Las operaciones de tratamiento previo antes de la eliminación de conformidad con las subsecciones 2 y 3, deberían realizarse únicamente cuando los COP que se encuentren aislados de los desechos durante el tratamiento previo se eliminen seguidamente de conformidad con la subsección 2. Cuando solamente parte de un producto o desecho, como un equipo de desecho, contiene COP o está contaminado con ellos, debe ser separado y posteriormente eliminado como se especifica en las subsecciones 1 a 4 infra, según proceda.

#### **a) Adsorción y absorción**

111. “Sorción” es el término general que se aplica a los dos procesos de adsorción y absorción. Sorción es un método de tratamiento previo que utiliza sólidos para eliminar sustancias de los líquidos o los gases. Adsorción es la separación de una sustancia (líquido, aceite, gas) de una fase y su acumulación en la superficie de otra (carbón activado, zeolita, sílice, etc.). Absorción es el proceso mediante el cual un material transferido de una fase a otra interpenetra la segunda fase para formar una solución (por ejemplo, un contaminante transferido de la fase líquida a carbón activado).

112. Los procesos de adsorción y absorción pueden servir para concentrar contaminantes y separarlos de los desechos acuosos y corrientes de gas. Es posible que el concentrado y el adsorbente o absorbente necesiten ser tratados antes de su eliminación.

#### **b) Deseccación**

113. La deseccación es un proceso de tratamiento previo que elimina parte del agua de los desechos que serán tratados. La deseccación se puede utilizar en las tecnologías de eliminación que no son apropiadas para los desechos acuosos. Por ejemplo, el agua puede reaccionar de manera explosiva con el sodio o las sales fundidas. Según el tipo de contaminante, los vapores resultantes pueden requerir condensación o depuración y recibir tratamiento ulterior.

#### **c) Separación mecánica**

114. Se puede recurrir a este método para extraer residuos de gran tamaño de la corriente de desechos o para tecnologías que no son apropiadas para suelos y para desechos sólidos, a la vez.

#### **d) Mezcla**

115. Para optimizar la eficiencia del tratamiento tal vez sea apropiado mezclar los materiales antes de proceder al tratamiento de desechos. No obstante, no es ambientalmente racional mezclar desechos con un contenido de COP superior al definido como bajo contenido de COP con otros materiales únicamente con el objetivo de generar una mezcla con un contenido de COP inferior al definido como bajo contenido de COP.

**e) Separación de aceite y agua**

116. Algunas tecnologías de tratamiento no son idóneas para los desechos acuosos; mientras que otras no lo son para los oleosos. En estos casos puede recurrirse a la separación de aceite y agua para separar la fase oleosa del agua. Es posible que tras la separación, la fase oleosa y el agua estén contaminadas y necesiten ser tratadas.

**f) Ajuste del pH**

117. Algunas tecnologías de tratamiento alcanzan su máxima eficacia por encima de un determinado intervalo de valores de pH y en tales condiciones a menudo se utilizan álcalis, ácidos o el CO<sub>2</sub> para controlar los niveles de pH. Determinadas tecnologías pueden incluso exigir el ajuste del pH como medida de postratamiento.

**g) Reducción del tamaño**

118. Algunas tecnologías pueden procesar solamente desechos que no sobrepasan un tamaño determinado. Por ejemplo, es posible que algunas puedan aplicarse a desechos sólidos contaminados con COP solamente si son de un diámetro inferior a los 200 mm de diámetro. En estos casos se puede aplicar la trituración para reducir los componentes de los desechos a partículas de un diámetro determinado. Otras tecnologías de eliminación exigen que se preparen lechadas antes de que se las introduzca en el reactor principal. Se debe señalar la posible contaminación de las trituradoras al procesar desechos que consistan en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos. En consecuencia, deben tomarse precauciones para impedir la subsiguiente contaminación de corrientes de desechos sin COP.

**h) Lavado con disolventes**

119. Es posible recurrir al lavado con disolventes para eliminar COP de equipo eléctrico, como condensadores y transformadores. Esta tecnología también ha sido utilizada para tratar suelos contaminados y materiales de sorción usados en el tratamiento previo de adsorción o absorción

**i) Desorción térmica**

120. La desorción térmica a baja temperatura, conocida también como volatilización térmica a baja temperatura, purga térmica y calcinación de suelos es una tecnología correctiva de aplicación *ex situ* que utiliza el calor físicamente para separar los compuestos y elementos volátiles y semivolátiles (habitualmente petróleo e hidrocarburos) de los medios contaminados (casi siempre suelos excavados). Esos procesos se han utilizado para descontaminar las superficies no porosas de equipo eléctrico como carcasas de transformadores que contenían líquidos dieléctricos con PCB. La desorción térmica de los desechos que contengan COP o estén contaminados con ellos podría provocar la formación de COP de forma no intencional, que podrían requerir un tratamiento adicional.

**2. Métodos de destrucción y transformación irreversible**

121. Se permitirán las siguientes operaciones de eliminación, previstas en las secciones A y B del anexo IV del Convenio de Basilea, a los fines de destrucción o transformación irreversible del contenido de COP de los desechos, si se aplican de manera que garanticen que los desechos restantes y las liberaciones no tengan las características de los COP:

D9 Tratamiento fisicoquímico;

D10 Incineración en la tierra;

R1 Utilización como combustible (que no sea en la incineración directa) u otros medios de generar energía.

R3 Reciclado o recuperación de sustancias orgánicas que no se usen como disolventes, pero restringidas a la conversión de desechos a gas;

R4 Reciclado o recuperación de metales y compuestos metálicos, pero restringidos a actividades de metalurgia primaria y secundaria descritas en el apartado k) *infra*.

122. Los COP que se hayan extraído de los desechos durante una operación de tratamiento previo se deberán eliminar posteriormente conforme a las operaciones D9 y D10.



123. En esta subsección se exponen las operaciones disponibles en el mercado para la destrucción y la transformación irreversible ambientalmente racional del contenido de COP en los desechos<sup>32</sup>. Cabe señalar que esas operaciones están sujetas a la legislación nacional.

124. Si bien la información contenida en estas directrices sobre proveedores de tecnologías de destrucción y transformación irreversible parece ser exacta, el PNUMA no asume responsabilidad alguna por posibles inexactitudes u omisiones y las consecuencias que puedan derivarse. Ni el PNUMA, ni ninguna de las personas que han participado en la preparación de este documento será responsable de cualesquiera lesiones, pérdidas, daños o perjuicios causados por terceros que hayan actuado sobre la base de su interpretación personal de la información contenida en la presente publicación.

125. En el anexo IV figura un estudio económico de las tecnologías que se exponen a continuación.

a) **Reducción por metal alcalino**<sup>33</sup>

126. *Descripción del proceso:* La reducción supone el tratamiento de desechos con metales alcalinos dispersos. Los metales alcalinos reaccionan con el cloro en los desechos halogenados produciendo sales y desechos no halogenados. Normalmente, el proceso tiene lugar a presión atmosférica y a temperaturas de entre 60°C y 180°C<sup>34</sup>. El tratamiento puede realizarse *in situ* (por ej., en transformadores contaminados con PCB) o *ex situ* en un recipiente de reacción. Este proceso admite diversas variantes<sup>35</sup>. Si bien se han utilizado potasio y la aleación de potasio y sodio, el agente reductor más comúnmente utilizado es el sodio metálico. La información siguiente se basa en experiencias obtenidas con el uso del sodio metálico.

127. *Eficiencia:* Se han registrado valores de la eficiencia de destrucción (ED) superiores al 99,999% y de eficiencia de remoción de la destrucción (ERD) del 99,9999% para la aldrina, el clordano y los PCB (Ministerio del Medio Ambiente del Japón, 2004). También, se ha demostrado que el proceso de reducción por sodio cumple los criterios reguladores establecidos en Australia, el Canadá, los Estados Unidos de América, el Japón, Sudáfrica y la Unión Europea para el tratamiento de aceites de transformadores que contienen PCB, es decir, menos de 2 ppm en residuos sólidos y líquidos<sup>36</sup>.

128. *Tipos de desechos:* Se ha ensayado el proceso de reducción por sodio en aceites contaminados con PCB con concentraciones de hasta 10.000 ppm<sup>37</sup>. Algunos proveedores han afirmado además que este proceso tiene capacidad de servir como tratamiento de condensadores y transformadores en su totalidad<sup>38</sup>.

129. *Tratamiento previo:* Se podrá proceder al tratamiento *ex situ* una vez se haya efectuado la extracción por disolventes de PCB. El tratamiento de condensadores y transformadores completos podría realizarse después de haberlos triturado para reducir su tamaño<sup>39</sup>. El tratamiento previo debe incluir la extracción de agua para evitar reacciones explosivas con el sodio metálico.

130. *Emisiones y residuos:* Las emisiones a la atmósfera incluyen las de nitrógeno e hidrógeno gaseosos. Probablemente las emisiones de compuestos orgánicos son relativamente menores<sup>40</sup>. No obstante, se ha observado que se pueden formar PCDD y PCDF a partir de clorofenoles en condiciones alcalinas a temperaturas incluso de 150 °C (Weber, 2004). Entre los residuos que se producen durante

---

<sup>32</sup> Puede obtenerse información adicional sobre estas tecnologías u otras que se encuentran en fase experimental o de prueba, en Review of Emerging, Innovative Technologies for the Destruction and Decontamination of POPs and the Identification of Promising Technologies for Use in Developing Countries (UNEP, 2004b en el anexo V, Bibliografía).

<sup>33</sup> En UNEP, 1998b; UNEP, 2000b; y UNEP, 2004b. Figura información adicional en el anexo V, Bibliografía.

<sup>34</sup> Ariizumi Otsaka, Kamiyama and Hosani, 1997, y Japan Industrial Waste Management Foundation, 1999, véase anexo V, Bibliografía).

<sup>35</sup> Véase Piersol, 1989, en el anexo V, Bibliografía.

<sup>36</sup> Véanse Piersol, 1989 y UNEP, 2004b, en el anexo V, Bibliografía.

<sup>37</sup> Véase UNEP, 2004b, en el anexo V, Bibliografía.

<sup>38</sup> *Ibíd.*

<sup>39</sup> *Ibíd.*

<sup>40</sup> Véase Piersol, 1980, en el anexo V, Bibliografía.

el proceso están el cloruro sódico, hidróxido de sodio, polibifenilos y agua<sup>41</sup>. En algunas variaciones, también se forma un polímero solidificado<sup>42</sup>.

131. *Control de liberaciones y postratamiento:* Tras la reacción, los subproductos se pueden separar del aceite combinando el filtrado y la centrifugación. El aceite descontaminado se puede reutilizar; el cloruro sódico puede reutilizarse o eliminarse en vertederos y el polímero solidificado se puede eliminar en vertederos<sup>43</sup>.

132. *Requisitos energéticos:* Se prevé que los requisitos energéticos inmediatos sean relativamente bajos dadas las bajas temperaturas de operación asociadas con el proceso de reducción por sodio.

133. *Requisitos materiales:* Se necesitan cantidades significativas de sodio para realizar este proceso<sup>44</sup>.

134. *Movilidad:* Este proceso está disponible en configuración móvil y fija.<sup>45</sup>

135. *Salud y seguridad:* El sodio metálico disperso puede reaccionar de manera violenta y explosiva con el agua, lo cual constituye un peligro significativo para los operadores. El sodio metálico puede asimismo reaccionar con diferentes sustancias y producir hidrógeno, gas inflamable y explosivo al mezclarse con el aire. Debe tenerse gran cuidado en el diseño y operación del proceso para excluir totalmente el agua (y algunas otras sustancias, como los alcoholes) de los desechos y evitar cualquier otro contacto con el sodio. En el pasado una instalación en Delfzijl (Países Bajos) resultó gravemente afectada por un incendio.

136. *Capacidad:* En instalaciones móviles se pueden tratar diariamente hasta 15.000 litros de aceite de transformadores<sup>46</sup>.

137. *Otras cuestiones prácticas:* La reducción por sodio utilizada para el tratamiento *in situ* de aceites de transformadores contaminados con PCB quizás no destruya todos esos PCB contenidos en las porosidades internas del transformador. Algunos autores han señalado que se carece de información sobre las características de los residuos<sup>47</sup>.

138. *Comercialización:* Este proceso se ha utilizado comercialmente durante unos 20 años.

139. Proveedores:

- a) Dr. Bilger Umweltconsulting GmbH – [www.bilgergmbh.de](http://www.bilgergmbh.de);
- b) Decoman srl, Italia – [www.decoman.it](http://www.decoman.it);
- c) Envio Germany GmbH & Co. KG – [www.envio-group.com](http://www.envio-group.com);
- d) Kinectrics Inc.–[www.kinectrics.com](http://www.kinectrics.com);
- e) Nippon Soda Co. Ltd. – [www.nippon-soda.co.jp](http://www.nippon-soda.co.jp);
- f) Orion BV, Países Bajos – [www.orionun2315.nl/3n/index.php](http://www.orionun2315.nl/3n/index.php).
- g) Powertech Labs Inc. – [www.powertechlabs.com](http://www.powertechlabs.com);
- h) Sanexen Environmental Services Inc. – [www.sanexen.com](http://www.sanexen.com).

## b) **Descomposición catalizada por bases (DCB)**<sup>48</sup>

140. *Descripción del proceso:* El proceso de DCB es el tratamiento de desechos en presencia de una mezcla de reactivos que incluye aceite donante de hidrógeno, hidróxido de un metal alcalino y catalizador patentado. Cuando la mezcla se calienta a más de 300°C, el reactivo produce hidrógeno

---

<sup>41</sup> Véase UNEP, 2004b, en el anexo V, Bibliografía.

<sup>42</sup> Véase UNEP, 2000b, en el anexo V, Bibliografía.

<sup>43</sup> *Ibíd.*

<sup>44</sup> UNEP, 2004b, anexo V, Bibliografía.

<sup>45</sup> *Ibíd.*

<sup>46</sup> *Ibíd.*

<sup>47</sup> Véase UNEP, 2000b, en el anexo V, Bibliografía.

<sup>48</sup> Se puede obtener información adicional de CMPS&F – Environment Australia, 1997; Costner, Luscombe y Simpson, 1998; Organismo Danés de Protección del Medio Ambiente, 2004; Rahuman, Pistone, Trifirò and Miertu, 2000; UNEP, 1998b; UNEP, 2001; UNEP, 2004b y Vijgen, 2002. Véase en el anexo V, Bibliografía.

atómico altamente reactivo. El hidrógeno atómico reacciona con el desecho eliminando los constituyentes que aportan la toxicidad a los compuestos.

141. *Eficiencia:* Se han registrado ED de 99,99% a 99,9999% para el DDT, los PCB, PCDD y PCDF<sup>49</sup>. También se han registrado ED superiores al 99,999% y EDR superiores al 99,9999% para el clordano (Ministerio de Medio Ambiente del Japón (2004). Asimismo, se ha registrado que es posible reducir los productos orgánicos clorados a menos de 2 mg/kg<sup>50</sup>.

142. *Tipos de desechos:* La DCB debe ser aplicable a otros COP además de a los tipos de desechos mencionados anteriormente<sup>51</sup>. La DCB debe ser capaz de tratar desechos con elevada concentración de COP, y tiene una aplicabilidad demostrada a desechos con un contenido de PCB superior al 30%<sup>52</sup>. Se creyó que, en la práctica, la formación de sales dentro de la mezcla tratada podría limitar la concentración de material halogenado apto para el tratamiento<sup>53</sup>. No obstante, el proveedor ha indicado que la formación de sal en el reactor limita únicamente el volumen de desechos que puede colocarse en el reactor y que este problema no parece ser insoluble. Entre las matrices de desechos aplicables están los suelos, los sedimentos, los fangos y los líquidos. La empresa BCD Group afirma además que se ha demostrado que el proceso destruye los PCB en las superficies de madera, papel y metal de los transformadores.

143. *Tratamiento previo:* Los suelos pueden ser tratados directamente. No obstante, para ello quizás sea necesario aplicar diferentes tipos de tratamiento previo:

a) Tal vez sea necesario separar las partículas más grandes mediante tamizado y triturarlas para reducir su tamaño; o

b) Quizás se deba ajustar el pH y el grado de humedad.

144. *La desorción térmica* se ha utilizado también conjuntamente con la DCB para eliminar los COP de los suelos antes del tratamiento. En esos casos, el suelo se mezcla previamente con bicarbonato de sodio antes de ser introducido en el dispositivo de desorción térmica<sup>54</sup>. Antes de iniciar el tratamiento será preciso evaporar el agua de los medios acuosos, incluidos los fangos húmedos. Los condensadores pueden ser sometidos a tratamiento luego de haberse reducido su tamaño mediante trituración<sup>55</sup>. De estar presentes solventes volátiles, como en el caso de los plaguicidas, deberán ser eliminados mediante destilación antes de iniciarse el tratamiento<sup>56</sup>.

145. *Emisiones y residuos:* Está previsto que las emisiones a la atmósfera sean relativamente reducidas. La probabilidad de que se formen PCDD y PCDF durante el proceso de DCB es relativamente baja. No obstante, se ha señalado que se pueden formar PCDD a partir de clorofenoles en condiciones alcalinas y a temperaturas tan poco elevadas como los 150° C (Weber, 2004). Otros residuos que se producen durante la reacción de DCB son fangos que contienen principalmente agua, sal, aceite donante de hidrógeno no usado y residuos de carbono. El proveedor afirma que los residuos de carbono son inertes y no tóxicos. Para más detalles, se remite a los usuarios a la literatura publicada por BCD Group, Inc.

146. *Control de liberaciones y postratamiento:* Según el tipo de aceite donante de hidrógeno que se utilice, el residuo tipo lechada puede ser tratado de diferentes maneras. Si se ha utilizado aceite combustible No. 6, los fangos se pueden eliminar como combustible en un horno de cemento. De utilizarse aceites más refinados, estos se pueden separar del fango por gravedad o centrifugación. Los aceites se pueden reutilizar y el fango remanente puede volverse a tratar para utilizarlo como agente neutralizador o para eliminarlo en vertederos<sup>57</sup>. Además, las instalaciones de DCB están provistas de trampas de carbón activado a fin de reducir al mínimo la liberación de productos orgánicos volátiles en las emisiones gaseosas.

---

<sup>49</sup> Véase UNEP, 2004b, en el anexo V, Bibliografía.

<sup>50</sup> Véase UNEP, 2001, en el anexo V, Bibliografía.

<sup>51</sup> Véanse UNEP, 2004b y Vijgen, 2002, en el anexo V, Bibliografía.

<sup>52</sup> Véase Vijgen, 2002, en el anexo V, Bibliografía.

<sup>53</sup> Véanse CMPS&F – Environment Australia, 1997; Rahuman et al., 2000 y UNEP 2001, en el anexo V, Bibliografía.

<sup>54</sup> Véase CMPS&F – Environment Australia, 1997, en el anexo V, Bibliografía.

<sup>55</sup> Véase CMPS&F – Environment Australia, 1997 y UNEP 2001, en el anexo V, Bibliografía.

<sup>56</sup> Véanse CMPS&F – Environment Australia, 1997, en el anexo V, Bibliografía.

<sup>57</sup> Véase UNEP, 2004b, en el anexo V, Bibliografía.

147. *Requisitos energéticos:* Se prevé que los requisitos energéticos sean relativamente bajos dadas las bajas temperaturas de operación asociadas con el proceso de DCB.

148. *Requisitos materiales:*

a) Aceite donante de hidrógeno, como el aceite combustible No. 6 o los aceites Sun Par números LW-104, LW-106 y LW-110;

b) Carbonato, bicarbonato o hidróxido de metal alcalino o alcalino térreo, como el bicarbonato sódico. La cantidad de álcalis necesaria depende de la concentración del contaminante halogenado presente en el medio<sup>58</sup>. Las cantidades oscilan entre el 1% y aproximadamente el 20% en peso del medio contaminado; y

c) Catalizador patentado equivalente al 1% por volumen del aceite donante de hidrógeno;

149. Se considera que el *equipo* para este proceso está disponible en el mercado<sup>59</sup>.

150. *Movilidad:* Se han construido equipos modulares, móviles y fijos.

151. *Salud y seguridad:* Existen, los riesgos para la salud y la seguridad asociados con la aplicación de esta tecnología se consideran bajos<sup>60</sup>, aunque en Melbourne, Australia, una instalación de DCB quedó inutilizada tras un incendio en 1995. El incendio fue atribuido al uso de un recipiente de almacenamiento sin una capa de nitrógeno<sup>61</sup>. Algunos tratamientos previos conexos, como el tratamiento previo alcalino de condensadores y la extracción por solventes entrañan riesgos significativos de incendio y explosión, aunque éstos pueden reducirse al mínimo si se toman las debidas precauciones<sup>62</sup>.

152. *Capacidad:* Con la DCB se pueden procesar hasta 9.482 litros por lote, siendo posible tratar entre dos y cuatro lotes diarios<sup>63</sup>.

153. *Otras cuestiones prácticas:* Dado que el proceso de DCB incluye la purga del cloro del compuesto de desecho, el proceso de tratamiento puede dar lugar a un aumento en la concentración de especies cloradas inferiores. Ello pudiera ser motivo de preocupación en el tratamiento de los PCDD y PCDF, donde los congéneres menos clorados son significativamente más tóxicos que los congéneres más clorados. Por tanto, es importante que el proceso sea vigilado adecuadamente, para asegurarse de que la reacción se mantenga hasta su fin. En el pasado se informó de que el proceso de DCB no logró tratar desechos de concentración elevada debido a la acumulación de sales<sup>64</sup>. Sin embargo, más recientemente se ha informado de que este problema quedó resuelto<sup>65</sup>.

154. *Comercialización:* El proceso de DCB se ha utilizado en dos operaciones comerciales en Australia una de las cuales se encuentra todavía en funcionamiento. Otro sistema comercial ha estado en explotación en México desde hace dos años. Además, sistemas de DCB se han utilizado en proyectos de corta duración en Australia, España y Estados Unidos de América. Está en construcción una instalación de DCB para el tratamiento de desechos de suelos y plaguicidas contaminados con PCDD y PCDF en la República Checa.

155. *Proveedores:* La patente de esta tecnología la posee BCD Group, Inc., USA (www.bcdinternational.com). BCD Group, Inc. vende licencias de explotación de la tecnología. Actualmente, poseen licencias empresas con sede en Australia, Japón, México, los Estados Unidos de América y la República Checa.

### c) **Hidrodechloración catalítica (HDC)**

156. *Descripción del proceso.* La HDC supone el tratamiento de desechos con gas hidrógeno y catalizador de paladio sobre carbono (Pd/C) disperso en aceite de parafina. El hidrógeno reacciona con el cloro del desecho halogenado para producir cloruro de hidrógeno (HCl) y desecho no halogenado.

---

<sup>58</sup> Véanse CMPS&F – Environment Australia, 1997 y UNEP 2001, en el anexo V, Bibliografía.

<sup>59</sup> Véase Rahuman et al., 2000, en el anexo V, Bibliografía.

<sup>60</sup> Véanse CMPS&F – Environment Australia, 1997 y Rahuman et al., 2000, en el anexo V, Bibliografía.

<sup>61</sup> Véase CMPS&F – Environment Australia, 1997, en el anexo V, Bibliografía.

<sup>62</sup> *Ibíd.*

<sup>63</sup> Véanse Vrijgen, 2002 y UNEP, 2004b, en el anexo V, Bibliografía.

<sup>64</sup> Véase CMPS&F – Environment Australia, 1997, en el anexo V, Bibliografía.

<sup>65</sup> Véase Vrijgen, 2002, en el anexo V, Bibliografía.

En el caso de los PCB, el principal producto es el bifenilo. El proceso se desarrolla a presión atmosférica y temperaturas comprendidas entre 180° C y 260° C (Sakai, Peter y Oono, 2001; Noma, Sakai y Oono, 2002; y Noma, Sakai y Oono, 2003a y 2003 b).

157. *Eficiencia.* Se han registrado ED de 99,98% a 99,9999% para PCB. También se ha registrado que es posible una reducción del contenido de PCB a menos de 0,5 mg/kg.

158. *Tipos de desechos.* La HDC se ha probado con PCB eliminados de condensadores usados. También se han dechlorado PCDD y PCDF contenidos en PCB como impurezas. Un proveedor afirma también que los desechos clorados en estado líquido o disueltos en disolventes pueden tratarse por HDC.

159. *Tratamiento previo.* Es preciso extraer los PCB y PCDD/PCDF utilizando disolventes o aislarlos por vaporización. Deben eliminarse por destilación antes del tratamiento las sustancias de bajo punto de ebullición tales como el agua o los alcoholes.

160. *Emisiones y residuos.* No se producirán emisiones durante la reacción de dechloración porque tiene lugar en el sistema cerrado de circulación del hidrógeno. El HCl no se descarga de la reacción porque se recoge con agua como ácido hidrocórico dentro del sistema de circulación. El bifenilo aislado por destilación tras la reacción no contiene ningún material tóxico.

161. *Control de liberaciones y postratamiento.* El principal producto, bifenilos se separa del disolvente de la reacción por destilación una vez concluida ésta, y el catalizador del disolvente de la reacción vuelven a utilizarse para la siguiente reacción.

162. *Requisitos energéticos.* Se espera que los requisitos energéticos sean relativamente bajos debido a las bajas temperaturas de funcionamiento con que se desarrolla el proceso de HDC.

163. *Requisitos materiales.* El proceso de HDC requiere la misma cantidad de átomos de hidrógeno que de cloro en los PCB, así como un 0,5% en peso de catalizador.

164. *Movilidad.* La HDC está disponible en configuraciones fijas y móviles, según el volumen de PCB que haya que tratar.

165. *Salud y seguridad.* El uso de gas hidrógeno requiere controles adecuados y salvaguardias para tener la certeza de que no se forman mezclas aire-hidrógeno explosivas.

166. *Capacidad.* En Japón, se está diseñando actualmente, y estará construida en dos años, una planta que es capaz de tratar 2 Mg de PCB diarios utilizando el proceso de HDC.

167. *Otras cuestiones prácticas.* Existen numerosos informes sobre la dechloración de PCB utilizando HDC. En general, el catalizador de Pd/C tiene la mayor tasa de degradación en comparación con otros catalizadores de soporte metálico. Pueden aumentarse las temperaturas de reacción a 260° C cuando se utiliza como disolvente de la reacción aceite de parafina.

168. *Comercialización.* Una empresa de Japón comenzó a tratar los condensadores que contienen PCB o están contaminados con ellos utilizando una planta de HDC en 2004. En el plazo de dos años funcionará una planta de HDC a escala comercial en Japón.

169. *Proveedor(es).* La patente de esta tecnología la posee Kansai Electric Power C. y Kanden Engineering Co. ([www.kanden-eng.co.jp](http://www.kanden-eng.co.jp)).

170. *Información adicional.* En Technical Guideline for Treatment of PCBs in Japan (Japan Industrial Waste Management Foundation, 1999) figura información adicional.

#### **d) Coincineración en horno de cemento<sup>66</sup>**

171. *Descripción del proceso:* Por lo general, los hornos de cemento consisten en un cilindro de entre 50 y 150 metros de largo, ligeramente inclinado con respecto a la horizontal (en pendiente de entre 3% y 4%), cuya rotación oscila entre 1 y 4 revoluciones por minuto aproximadamente. Por el extremo superior, o “frío”, del horno rotatorio se introducen las materias primas, como piedra caliza, silicio, alúmina y óxidos de hierro. La pendiente y la rotación hacen que los materiales descendan hasta el

---

<sup>66</sup> Puede obtenerse información adicional de CMPS&F – Environment Australia, 1997; Costner et al., 1998; Organismo Danés de Protección del Medio Ambiente, 2004; Karstensen, 2001; Rahuman et al., 2000; Stobiecki, et al., 2001 y UNEP, 1998b. Además, puede obtenerse información adicional sobre las MTD y MPA referidas a los hornos de cemento que incineran desechos peligrosos en Comisión Europea, 2001 y UNEP 2004c. Véase el anexo V, Bibliografía.

extremo inferior, o “caliente”, del horno. Este recibe calor por el extremo inferior, donde las temperaturas llegan a ser de 1.400°C–1.500°C. A medida que los materiales se desplazan en el horno son sometidos a un proceso de secado y tratamiento térmico para formar el clínker.

172. *Eficiencia:* Se han registrado valores de ERD superiores al 99, 99998% para los PCB en varios países (Ahling, 1979; Benestad, 1989; Luber, 1987; Mantus, 1992. US EPA, 1986; Lauber, 1982; von Krogbeumker, 1994; Black 1983).

173. *Tipos de desechos:* Como se mencionó anteriormente, los hornos de cemento se han probado con PCB, pero deben ser aplicables a otros COP. En los hornos de cemento se pueden tratar desechos tanto líquidos como sólidos<sup>67</sup>.

174. *Tratamiento previo:* El tratamiento previo puede incluir:

- a) La desorción térmica previa de desechos sólidos;
- b) La homogenización de desechos sólidos y líquidos mediante secado, trituración, mezcla y molienda.

175. *Emisiones y residuos:* Entre las emisiones posibles figuran los óxidos de nitrógeno, el monóxido de carbono, el dióxido de azufre y otros óxidos de azufre, metales y sus compuestos, cloruro de hidrógeno, fluoruro de hidrógeno, amoníaco, PCDD, PCDF, benceno, tolueno, xileno, hidrocarburos aromáticos policíclicos, clorobencenos y PCB<sup>68</sup>. No obstante, cabe señalar que los hornos de cemento pueden cumplir con el requisito de mantener los niveles de emisiones a la atmósfera de PCDD y PCDF por debajo de 0,1 ng EQT/Nm<sup>3</sup>.<sup>69</sup> Entre los residuos figura el polvo del horno de cemento capturado por el sistema de control de la contaminación atmosférica.

176. *Control de liberaciones y postratamiento:* Los gases de proceso requieren ser tratados para eliminar el polvo del horno de cemento y los compuestos orgánicos, el dióxido de azufre, el óxido de nitrógeno, así como el calor, a fin de reducir al mínimo la formación de PCDD y PCDF. Entre los tratamientos figuran el uso de precalentadores, precipitadores electrostáticos, filtros textiles y filtros de carbón activado<sup>70</sup>. Se han registrado concentraciones de PCDD y PCDF en los polvos del horno de cemento que oscilan entre 0,4 y 2,6 mg/kg<sup>71, 72</sup>. En consecuencia, los polvos del horno de cemento que recuperados deben ser realimentados a los hornos, en la mayor medida posible, mientras que el resto quizás deba ser eliminado en un vertedero especialmente diseñado, a un almacenamiento permanente en una formación o mina subterránea.

177. *Requisitos energéticos:* Los nuevos sistemas de horno, con precalentador de ciclones de cinco etapas y precalcinadores necesitarán como promedio 2 900–3 200 MJ para producir 1 Mg de clínker<sup>73</sup>.

178. *Requisitos materiales:* La producción de cemento requiere grandes cantidades de materiales, en particular, piedra caliza, silicio, alúmina, óxidos de hierro y yeso<sup>74</sup>.

179. *Movilidad:* Los hornos de cemento están disponibles sólo como plantas fijas.

180. *Salud y seguridad:* El tratamiento de desechos en hornos de cemento puede considerarse un proceso relativamente seguro si se diseña y aplica adecuadamente<sup>75</sup>.

181. *Capacidad:* Los hornos de cemento que incineran desechos como combustible complementario normalmente están limitados a un máximo de 40% de los requisitos de calor en forma de desechos

---

<sup>67</sup> Véanse CMPS&F – Environment Australia, 1997; Rahuman et al., 2000 y UNEP, 2004c, en el anexo V, Bibliografía.

<sup>68</sup> Véase UNEP, 2004c en el anexo V, Bibliografía.

<sup>69</sup> Véase UNEP, 2004c en el anexo V, Bibliografía.

<sup>70</sup> Véanse CMPS&F – Environment Australia, 1997; Karstensen, 2006 y UNEP, 2004c en el anexo V, Bibliografía.

<sup>71</sup> No se ofrecieron los EQT.

<sup>72</sup> Véase UNEP 2004a en el anexo V, Bibliografía.

<sup>73</sup> *Ibíd.*

<sup>74</sup> Véase CMPS&F – Environment Australia, 1997 en el anexo V, Bibliografía.

<sup>75</sup> *Ibíd.*

peligrosos<sup>76</sup>. No obstante, se ha señalado que los hornos de cemento con una alta producción podrían tratar cantidades considerables de desechos<sup>77</sup>.

182. *Otras cuestiones prácticas:* Los hornos de cemento utilizados en el tratamiento de desechos pueden requerir modificaciones en el horno rotativo<sup>78</sup>. Los puntos posibles de alimentación para suministrar combustible al horno son:

- a) El quemador principal situado en el extremo de salida del horno rotatorio;
- b) Una tolva de alimentación en la cámara de transición en el extremo de entrada del horno rotatorio (para combustible a granel);
- c) Quemadores secundarios en el conducto ascendente;
- d) Quemadores de precalcinación en el precalcinador;
- e) Una tolva de alimentación en el precalcinador/precalentador (para combustible a granel);
- f) Una válvula en la mitad del horno en el caso de hornos rotatorios largos para la fabricación por vía húmeda y seca (para combustible a granel), (UNEP, 2004c).

183. Los cloruros influyen en la calidad del cemento, por lo que es preciso limitarlos. El cloro está presente en todas las materias primas utilizadas en la fabricación de cemento, por lo que el contenido de cloro del desecho peligroso es esencial. Ahora bien, si se combinan suficientemente, los hornos rotatorios de cemento pueden tratar desechos peligrosos con contenidos elevados de cloro.

184. *Comercialización:* En Estados Unidos de América, algunos países de Europa y algunos países en desarrollo se han utilizado hornos rotatorios de cemento para tratar desechos contaminados con COP. (World Business Council, 2004: Formation and Release of POPs in the Cement Industry, Kartensen, 2006).

185. *Proveedores:* En el inventario mundial de la capacidad de destrucción de PCB se describen varias operaciones de coincineración en horno rotatorio de cemento en curso<sup>79</sup>.

e) **Reducción química en fase gaseosa (RQFG)<sup>80</sup>**

186. *Descripción del proceso:* El proceso de RQFG entraña la reducción termoquímica de compuestos orgánicos. A temperaturas superiores a los 850°C y a bajas presiones, el hidrógeno reacciona con los compuestos orgánicos clorados para formar principalmente metano y cloruro de hidrógeno.

187. *Eficiencia:* Se han registrado DE de 99,9999% para DDT, HCB, PCB, PCDD y PCDF<sup>81</sup>.

188. *Tipos de desechos:* Además de las sustancias mencionadas anteriormente, el proceso de RQFG debe ser apropiado también para tratar desechos consistentes en todos los demás COP contaminados que los contengan, o estén contaminados con ellos<sup>82</sup>. La RQFG es capaz de tratar desechos con concentraciones elevadas de COP<sup>83</sup>, incluidos líquidos acuosos y oleosos, suelos, sedimentos, transformadores y condensadores<sup>84</sup>.

198. *Tratamiento previo:* Según el tipo de desecho, se utiliza una de las tres unidades de tratamiento previo siguientes para volatilizar los desechos antes de que sean tratados en el reactor de RQFG:

---

<sup>76</sup> Véase UNEP, 2004c en el anexo V, Bibliografía.

<sup>77</sup> Véase UNEP, 1998b en el anexo V, Bibliografía.

<sup>78</sup> Véanse CMPS&F – Environment Australia, 1997 y UNEP, 2004c en el anexo V, Bibliografía.

<sup>79</sup> Véase UNEP, 1998b en el anexo V, Bibliografía.

<sup>80</sup> Puede obtenerse información adicional de CMPS&F – Environment Australia, 1997; Costner et al., 1998; Organismo Danés de Protección del Medio Ambiente, 2004; Kümmling, Gray, Power and Woodland, 2001; Rahuman et al., 2000; Ray, 2001; UNEP, 2001; UNEP, 2004b; y Vijgen, 2002. Véase el anexo V, Bibliografía.

<sup>81</sup> Véanse CMPS&F – Environment Australia, 1997; Kümmling, 2001; Rahuman et al., 2000; UNEP, 2004b y Vijgen, 2002. Véase en el anexo V, Bibliografía.

<sup>82</sup> Véanse CMPS&F – Environment Australia, 1997; UNEP, 2004b y Vijgen, 2002 en el anexo V, Bibliografía.

<sup>83</sup> Véanse UNEP, 2004b y Vijgen, 2002 en el anexo V Bibliografía.

<sup>84</sup> Véanse CMPS&F – Environment Australia, 1997; UNEP, 2004b y Vijgen, 2002 en el anexo V, Bibliografía.

- a) Procesador de reducción térmica por lotes (PTRL) para los sólidos a granel, incluidos los envasados en bidones;
- b) Reactor Torbed para suelos y sedimentos contaminados, que también puede adaptarse para el tratamiento de líquidos;
- c) Sistema de precalentador de desechos líquidos (SPDL)<sup>85</sup>.

190. Además, es necesario realizar otros tipos de procesamiento previo para grandes condensadores y escombros de construcción. Los grandes condensadores se perforan y drenan, mientras que el tamaño de los escombros y el hormigón se debe reducir de tamaño a menos de un metro cuadrado<sup>86</sup>.

191. *Emisiones y residuos:* Además de cloruro de hidrógeno y metano es posible que se liberen hidrocarburos de bajo peso molecular. Entre los residuos del proceso de RQFG están licores y agua de desecho. Los desechos sólidos tratados generarán también residuos sólidos<sup>87</sup>. Como el proceso de RQFG tiene lugar en una atmósfera reductora, se considera que la posibilidad de que se formen PCDD y PCDF es limitada<sup>88</sup>.

192. *Control de liberaciones y postratamiento:* Los gases que salen del reactor son depurados para eliminar el agua, el calor, los ácidos y el dióxido de carbono<sup>89</sup>. Los residuos y partículas del depurador deberán ser eliminados fuera de la instalación<sup>90</sup>. Los residuos sólidos que generen los desechos sólidos tratados deberán ser aptos para la eliminación en vertederos<sup>91</sup>.

193. *Requisitos energéticos:* El metano que se produce durante el proceso puede aportar gran parte del combustible necesario<sup>92</sup>. Se ha registrado que el consumo de electricidad oscila entre 96 kWh por tonelada de suelo tratado y unos 900 kWh por tonelada de contaminantes orgánicos puros tratados<sup>93</sup>.

194. *Requisitos materiales:* Es necesario el suministro de hidrógeno, al menos durante la iniciación del proceso. Se ha determinado que el metano producido durante el proceso de RQFG se puede utilizar para formar cantidades de hidrógeno suficientes para alimentar el proceso en las etapas posteriores<sup>94</sup>. Sin embargo, la unidad de producción de hidrógeno ha tenido numerosos problemas de fiabilidad en el pasado<sup>95</sup>. Entre los demás requisitos materiales está la solución cáustica para el depurador de ácidos<sup>96</sup>.

195. *Movilidad:* La tecnología de RQFG está disponible en unidades fijas y móviles<sup>97</sup>.

196. *Salud y seguridad:* La utilización del hidrógeno gaseoso bajo presión requiere controles y salvaguardias apropiados a fin de evitar que se formen mezclas explosivas de aire-hidrógeno<sup>98</sup>. La experiencia operacional acumulada hasta hoy indica que el proceso de RQFG se puede realizar en condiciones de seguridad<sup>99</sup>.

197. *Capacidad:* La capacidad del proceso de RQFG depende de la capacidad de las tres unidades de tratamiento previo, como se especifica a continuación:

---

<sup>85</sup> Véanse CMPS&F – Environment Australia, 1997; Kümmling et al., 2001; UNEP, 2001; UNEP, 2004b y Vijgen, 2004 en el anexo V, Bibliografía.

<sup>86</sup> Véase CMPS&F – Environment Australia, 1997 en el anexo V, Bibliografía.

<sup>87</sup> Véanse UNEP, 2004b y Vijgen, 2002 en el anexo V, Bibliografía.

<sup>88</sup> Véanse CMPS&F – Environment Australia, 1997 y Rahuman et al., 2000 en el anexo V, Bibliografía.

<sup>89</sup> Véanse Kümmling et al., 2001; CMPS&F – Environment Australia, 1997 y Rahuman et al., 2000 en el anexo V, Bibliografía.

<sup>90</sup> Véanse Rahuman et al, 2000 y Vijgen, 200 en el anexo V, Bibliografía.

<sup>91</sup> Véase UNEP, 2004b en el anexo V, Bibliografía.

<sup>92</sup> Véanse CMPS&F – Environment Australia, 1997; Rahuman et al., 2000; UNEP, 2001; UNEP, 2004b y Vijgen, 2002 en el anexo V, Bibliografía.

<sup>93</sup> CMPS&F – Environment Australia, 1997 en el anexo V, Bibliografía.

<sup>94</sup> Véanse CMPS&F – Environment Australia, 1997; Rahuman et al., 2000; UNEP, 2004b y Vijgen, 2002 en el anexo V, Bibliografía.

<sup>95</sup> Véase CMPS&F – Environment Australia, 1999 en el anexo V, Bibliografía.

<sup>96</sup> Véase UNEP, 2004b en el anexo V, Bibliografía.

<sup>97</sup> Véanse UNEP, 2001; UNEP, 2004b y Vijgen, 2002 en el anexo V, Bibliografía.

<sup>98</sup> Véase CMPS&F – Environment Australia, 1997 en el anexo V, Bibliografía.

<sup>99</sup> Véanse CMPS&F – Environment Australia, 1997 y UNEP, 2004b en el anexo V, Bibliografía.



- a) Una unidad de PTRL es capaz de tratar hasta 100 toneladas de sólidos mensuales o hasta 4 litros de líquido por minuto. Se pueden utilizar en paralelo dos unidades de TRBP para duplicar esta capacidad;
- b) El reactor Torbed tiene una capacidad de hasta 5 000 toneladas mensuales de suelos y sedimentos, aunque esta unidad de tratamiento previo está aún en la fase de desarrollo;
- c) El PTRL tiene una capacidad de tres litros por minuto<sup>100</sup>.

198. *Otras cuestiones prácticas:* En etapas de desarrollo anteriores se observó que contaminantes como el azufre y el arsénico inhibían el tratamiento, pero se desconoce si este problema continúa<sup>101</sup>.

199. *Comercialización:* En Canadá y Australia se han explotado a escala comercial plantas de RQFG. En Australia, la planta de RQFG viene funcionando desde hace cinco años. Además, recientemente se concedió autorización a una planta de RQFG en el Japón<sup>102</sup>.

200. *Proveedores:* La patente de esta tecnología es propiedad del único proveedor ELI Eco Logic International Inc. (www.ecologic.ca). ELI Eco Logic International Inc. vende las licencias para explotar la tecnología.

#### f) **Incineración de desechos peligrosos<sup>103</sup>**

201. *Descripción del proceso:* En la incineración de desechos peligrosos se utiliza la combustión con llama controlada para el tratamiento de los contaminantes orgánicos, principalmente en hornos rotatorios. Normalmente, un proceso de tratamiento consiste en calentar a temperaturas superiores a 850°C, si el contenido de cloro es superior al 1% a 1.000°C, con un tiempo de residencia de más de 2 segundos, en condiciones que garanticen una mezcla adecuada. Existen varias configuraciones de incineradores especiales de desechos peligrosos, entre ellos incineradores de horno rotatorio y hornos estáticos (solamente para líquidos). También se utilizan para la incineración de desechos peligrosos calderas de alto rendimiento y hornos rotatorios para agregados ligeros. (Puede obtenerse información adicional relacionada con esta tecnología en Brunner, 2004).

202. *Eficiencia:* Se han registrado ERD superiores a 99,9999% en el tratamiento de desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos<sup>104</sup>. Se han determinado ED superiores al 99,999% y ERD superiores al 99,9999% para aldrina, clordano y DDT (Ministerio del Medio Ambiente, Japón, 2004), y se han registrado ED entre 83,15% y 99,88 % para PCB (EPA, 1990).

203. *Tipos de desechos:* Como se ha señalado anteriormente, los incineradores de desechos peligrosos pueden tratar desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos. Los incineradores pueden diseñarse de manera que acepten desechos en cualquier concentración o forma física, es decir, gases, líquidos, sólidos, fangos y lechadas<sup>105</sup>.

204. *Tratamiento previo:* Según la configuración, el tratamiento previo podría requerir, el mezclado, la desecación y la trituración de los desechos<sup>106</sup>.

205. *Emisiones y residuos:* Entre las emisiones figuran el monóxido de carbono, dióxido de carbono, HCB, cloruro de hidrógeno, partículas, PCDD, PCDF y PCB, y vapor de agua<sup>107</sup>. Los incineradores a los que se aplican las MTD, entre otras, diseñados para funcionar a altas temperaturas y provistos de dispositivos para impedir la reformación de los PCDD y PCDF y remoción especial de PCDD y PCDF (p. ej. filtros de carbón activado), producen emisiones en la atmósfera y descargas al agua muy bajas de

<sup>100</sup> Véanse UNEP, 2004b y Vijgen, 2002 en el anexo V, Bibliografía.

<sup>101</sup> Véase CMPS&F – Environment Australia, 1997 en el anexo V, Bibliografía.

<sup>102</sup> Véanse CMPS&F – Environment Australia, 1997; Kümmling et al., 2001; Ray, 2001; UNEP, 2004b y Vijgen, 2002 en el anexo V, Bibliografía.

<sup>103</sup> Puede encontrarse información adicional en Organismo Danés de Protección del Medio Ambiente, 2004; Federal Remediation Technologies Roundtable (FRTR), 2002; Rahuman et al., 2000; UNEP, 1995c; UNEP, 1998; UNEP, 2001 y United States Army Corps of Engineers, 2003. Asimismo, información sobre las MTD y MPA relacionadas con los incineradores de desechos peligrosos puede hallarse en Comisión Europea 2004 y UNEP 2006. Véase el anexo V, Bibliografía.

<sup>104</sup> Véanse FRTR, 2002; Rahuman et al., 2000; UNEP, 1998b y UNEP, 2001 en el anexo V, Bibliografía.

<sup>105</sup> Véase UNEP, 1995c en el anexo V, Bibliografía.

<sup>106</sup> Véanse UNEP, 1995c; UNEP, 1998b y UNEP, 2004c en el anexo V, Bibliografía.

<sup>107</sup> Véanse UNEP, 1995c; UNEP, 1998b y UNEP, 2004c en el anexo V, Bibliografía.

PCDD y PCDF<sup>108</sup>. En los residuos, los PCDD y los PCDF se encuentran principalmente en las cenizas volantes y sales, y en cierto grado, en las cenizas de fondo y los fangos acuosos del depurador.

206. *Control de liberaciones y postratamiento:* Puede ser necesario tratar los gases de proceso para eliminar el cloruro de hidrógeno y las partículas, así como para evitar la formación de COP y eliminar los producidos de forma no intencional. Ello puede lograrse combinando varios tipos de postratamiento, incluidos ciclones, multiciclones, filtros electrostáticos, filtros de lecho estático, depuradores, reducción catalítica selectiva, sistemas de enfriamiento rápido y adsorción en carbono<sup>109</sup>. Según sus características, puede ser necesario eliminar las cenizas de fondo y las volantes en un vertedero especialmente diseñado<sup>110</sup>.

207. *Requisitos energéticos:* La cantidad de combustible necesario dependerá de la composición y del valor calorífico del desecho.

208. *Requisitos materiales:* Entre los *requisitos* materiales están el agua de enfriamiento y la cal u otro material apropiado para la eliminación de los gases ácidos.

209. *Movilidad:* Los incineradores de *desechos* peligrosos están disponibles en unidades móviles y fijas.

210. *Salud y seguridad:* Entre los peligros para la salud y la seguridad figuran los asociados con las elevadas temperaturas de funcionamiento<sup>111</sup>.

211. *Capacidad:* Los incineradores de *desechos* peligrosos pueden tratar entre 30.000 y 100.000 toneladas anuales<sup>112</sup>.

212. *Otras cuestiones prácticas:* Ninguna *que* informar hasta el momento.

213. *Comercialización:* Hay una *extensa experiencia* en la incineración de *desechos* peligrosos<sup>113</sup>.

214. *Proveedores:* En el inventario de la capacidad mundial de destrucción de PCB figuran varias instalaciones de incineración de *desechos* peligrosos existentes<sup>114</sup>.

**g) Reacción de dechloración fotoquímica (DFQ) y reacción de dechloración catalítica (DC)**

215. *Descripción del proceso:* La DFQ y DC son tecnologías que utilizan métodos combinados de reacción de dechloración fotoquímica (DFQ) y reacción de dechloración catalítica (DC) (Watanabe, Ohara y Tajima, 2002 y Watanabe, Ohara, Tarima, Yoneki y Hosya, 2003). En el proceso de destrucción los PCB se mezclan con hidróxido de sodio (NaOH) y alcohol isopropílico (AIP) de modo que la concentración de PCB en el AIP deberá alcanzar algunos porcentajes en peso. Ulteriormente, los PCB se dechloran mediante dos procesos independientes, es decir, los procesos DFQ y DC. Cada proceso se desarrolla a temperatura moderada (<75°C) y a presión atmosférica. Una vez que los PCB se han dechlorado, se producen bifenilo, cloruro de sodio, acetona y agua, pero no se producen gases tales como el hidrógeno o el ácido hidroclórico.

216. *Eficiencia:* Se han logrado ED de 99,99% a 99,9999% para PCB y de 99,9999% a 99,999999% para PCDD y PCDF (Tajima et al., 2003; y Watanabe et al., 2003).

217. *Tipos de desechos:* Se ha comprobado que el proceso de DFQ y DC tratan aceites de transformadores y condensadores que contienen PCB en concentraciones elevadas y contaminados con PCDD y PCDF, y deberán ser aplicables igualmente a otros COP. Con esta tecnología no se pueden tratar suelos ni fangos. Los PCB en ropas, embalajes, madera y otros materiales muy porosos deben extraerse mediante un disolvente.

218. *Tratamiento previo:* El equipo eléctrico contaminado con PCB requiere cierto tratamiento previo. Tras eliminar los PCB del equipo se desmonta y se separa, el material contaminado tales como cajas, bobinas y papeles de aislamiento. Se extraen los PCB de estos materiales mediante un agente de lavado hidrocarburado, tal como el decano. Los PCB y los disolventes se separan en un destilador. Los

---

<sup>108</sup> UNEP, 2001 en el anexo V, Bibliografía.

<sup>109</sup> UNEP, 2004c

<sup>110</sup> Véase United States Army Corps of Engineers, 2003 en el anexo V, Bibliografía.

<sup>111</sup> *Ibíd.*

<sup>112</sup> Véase UNEP, 2004c en el anexo V, Bibliografía.

<sup>113</sup> Véase UNEP, 2001 en el anexo V, Bibliografía.

<sup>114</sup> Véase UNEP, 1998 en el anexo V, Bibliografía.

PCB y los disolventes destilados se destruyen mediante los procesos de DFQ y DC, respectivamente. El disolvente vuelve a utilizarse para lavado. No es necesario el tratamiento previo de suelos, fangos y agua.

219. *Emisiones y residuos potenciales:* Se prevé que las emisiones atmosféricas serán relativamente de poca importancia. Teóricamente no se considera la posibilidad de que se formen PCDD y PCDF durante los procesos de DFQ y DC. Entre los residuos figuran el cloruro de sodio y el catalizador usado (Watanabe et al., 2002; Watanabe et al., 2003).

220. *Prostratamiento:* Un destilador separa el AIP de la disolución, y grandes fracciones del AIP pueden reciclarse varias veces como disolvente de PCB. Entre los desechos producidos en los procesos, figuran bifenilos, cloruro de sodio, acetona, agua y el AIP residual. El cloruro de sodio se saca de la disolución y mediante filtrado se elimina en vertedero. El catalizador utilizado se lava con agua con el fin de eliminar el cloruro de sodio, y puede utilizarse varias veces para el proceso de DC.

221. *Requisitos energéticos:* El proceso de DFQ requiere 3 MJ/kg de PCB para la lámpara de mercurio. Se prevé que los requisitos energéticos sean relativamente bajos debido a las bajas temperaturas de desarrollo del proceso (75°C) asociadas con los procesos DFQ y DC (Watanabe et al., 2002; Watanabe et al., 2003).

222. *Requisitos materiales:*

- a) Alcali: NaOH (NaOH/Cl = 1,3);
- b) Catalizador: 2 kg/m<sup>3</sup> por volumen del donante de hidrógeno;
- c) Donante de hidrógeno: AIP.

223. *Movilidad:* Existen plantas modulares y transportables. En Kawasaki (Japón) se ha instalado una planta fija.

224. *Salud y seguridad:* En general, los riesgos para la salud y la seguridad asociados con el desarrollo de esta tecnología se consideran bajos. (Watanabe et al., 2002; Watanabe et al., 2003; Sasaki, et al., 2003).

225. *Capacidad:* La tecnología de DFQ y DC existe con una capacidad de 50 kg de aceite diarios por unidad. La capacidad puede ser flexible dadas las dimensiones de la instalación (por ejemplo, inferior o hasta 2 toneladas/día).

226. *Otras cuestiones prácticas:* El método de DFQ y DC es especialmente adecuado para PCB puros. Esta tecnología satisface la estricta normativa sobre liberaciones de Japón (PCB en el aceite de desecho < 0,5 mg/k).

227. *Comercialización:* Las tecnologías de DFQ y DC han funcionado en Kawasaki (Japón) durante los dos últimos años (Watanabe et al., 2002 y Watanabe et al., 2003).

228. *Proveedor(es):* La patente y todos los derechos en relación con esta tecnología están en posesión de la empresa Toshiba y reservados para ella ([www.toshiba.co.jp/efort/market/pcb/index\\_j.htm](http://www.toshiba.co.jp/efort/market/pcb/index_j.htm)). Toshiba Corporation vende licencias para la utilización de la tecnología.

229. *Información adicional:* En la guía técnica para el tratamiento de PCB de Japón figura información adicional (Japan Industrial Waste Management Foundation, 1999) y también; Watanabe et al., 2002; Watanabe et al., 2003; Sasaki et al., 2003; Noma et al., 2003; Noma et al., 2003; Noma et al., 2003).

#### **h) Arco de plasma<sup>115</sup>**

230. *Descripción del proceso:* El proceso Plascon<sup>TM</sup> emplea un arco de plasma con temperaturas superiores a los 3 000°C para tratar los desechos por pirólisis. Junto con el argón, los desechos se inyectan directamente en el arco de plasma y las altas temperaturas hacen que los compuestos se disocien en sus iones y átomos elementales. La recombinación tiene lugar en una zona de temperatura

---

<sup>115</sup> Puede obtenerse información adicional de CMPS&F – Environment Australia, 1997; Costner et al., 1998; Rahuman et al., 2000; Ray, 2001; UNEP, 1998b; UNEP, 2000b; UNEP, 2001 y UNEP, 2004b. Véase el anexo V, Bibliografía.

más baja de la cámara de reacción, que produce un enfriamiento que da lugar a la formación de moléculas simples<sup>116</sup>.

231. *Eficiencia:* Los ensayos en banco de pruebas con aceites que contienen un 60% de PCB han obtenido EDR que oscilan entre el 99,9999% y 99,999999%<sup>117</sup>.

232. *Tipos de desechos:* Además de los aceites con PCB, en Australia recientemente se configuró una planta Plascon<sup>TM</sup> para tratar desechos de plaguicidas<sup>118</sup>. Los tipos de desechos que se tratarán deberán ser líquidos o gases, o sólidos si se encuentran en forma de una lechada fina que se pueda bombear. Los líquidos muy viscosos o fangos con una densidad superior a la del aceite de motor 30 a 40 ponderal, no pueden ser procesados sin tratamiento previo. Tampoco podrán tratarse otros desechos sólidos a menos que reciban algún tipo de tratamiento previo<sup>119</sup>.

233. *Tratamiento previo:* El tratamiento previo no es necesario para la mayoría de los líquidos. Los sólidos como los suelos contaminados, condensadores y transformadores se podrán tratar previamente empleando la desorción térmica o la extracción por solventes<sup>120</sup>.

234. *Emisiones y residuos:* Entre las emisiones figuran gases consistentes en argón, dióxido de carbono y vapor de agua. Los residuos incluyen una solución acuosa de sales inorgánicas de sodio, como el cloruro de sodio, bicarbonato de sodio y fluoruro de sodio. Los ensayos a escala de banco de pruebas con PCB indicaron niveles de PCDD en el agua del depurador y los gases de combustión del orden de partes por billón (ppt)<sup>121</sup>. En la planta Plascon<sup>TM</sup> de Australia se solían tratar varios desechos, el nivel de PCB en los efluentes deslargados, cumple el límite de 2 ppb<sup>122</sup>. Se desconocen las concentraciones de COP en los residuos sólidos<sup>123</sup>.

235. *Control de liberaciones y postratamiento:* En la actualidad, se dispone de muy poca información sobre los requisitos de postratamiento.

236. *Requisitos energéticos:* Una unidad con tecnología Plascon de 150 kW necesita de 1.000 a 3.000 kWh de electricidad por tonelada de desecho<sup>124</sup>.

237. *Requisitos materiales:* En la actualidad se dispone de muy poca información sobre los requisitos materiales. Sin embargo, se ha señalado que este proceso necesita gas argón, gas oxígeno, agua de refrigeración y agente cáustico<sup>125</sup>.

238. *Movilidad:* El Plascon puede encontrarse disponible como unidad fija o móvil<sup>126</sup>.

239. *Salud y seguridad:* Dado que el proceso Plascon es de baja producción, existe muy poco riesgo asociado con la liberación de desechos parcialmente tratados en caso de que falle el proceso<sup>127</sup>. En la actualidad, se dispone de poca información adicional sobre salud y seguridad.

240. *Capacidad:* Una unidad Plascon de 150 kW puede procesar de 1 a 3 toneladas de desechos diariamente<sup>128</sup>.

241. *Otras cuestiones prácticas:* Cabe notar que los metales o los compuestos similares a los metales (por ej., el arsénico) pueden llegar a interferir en los catalizadores o causar problemas con la eliminación del residuo. Por ejemplo, las sustancias arsenicales presentes en desechos de plaguicidas exportados de las islas del Pacífico con el objeto de ser eliminados en Australia por medio del proceso Plascon<sup>TM</sup> han presentado un problema particular para ese proyecto.

---

<sup>116</sup> Véase CMPS&F- Environment Australia, 1997 en el anexo V, Bibliografía.

<sup>117</sup> Véanse Arruman et al, 2000 y UNEP, 2004b en el anexo V, Bibliografía.

<sup>118</sup> Véase UNEP, 2004b en el anexo V, Bibliografía.

<sup>119</sup> Véase CMPS&F- Environment Australia, 1997 y UNEP, 2004b, en el anexo V, Bibliografía.

<sup>120</sup> *Ibíd.*

<sup>121</sup> Véase CMPS&F- Environment Australia, 1997 y Rahuman et al., 2000 en el anexo V, Bibliografía.

<sup>122</sup> Véase UNEP, 2004b, en el anexo V, Bibliografía.

<sup>123</sup> *Ibíd.*

<sup>124</sup> Véase CMPS&F- Environment Australia, 1997, en el anexo V, Bibliografía.

<sup>125</sup> Véanse CMPS&F- Environment Australia, 1997 y UNEP, 2004b, en el anexo V, Bibliografía.

<sup>126</sup> Véase UNEP, 2004b en el anexo V, Bibliografía.

<sup>127</sup> Véanse CMPS&F- Environment Australia, 1997 y UNEP, 2004b, en el anexo V, Bibliografía.

<sup>128</sup> *Ibíd.*

242. *Comercialización:* BCD Technologies tiene dos plantas de plasma en funcionamiento en Australia: una en Brisbane para PCB y COP; y otra en Melbourne para tratar CFC y halones. La misma empresa tiene también una planta de DCB para PCB y COP en baja concentración, así como dos desorbedores térmicos para tratar sólidos contaminados. Mitsubishi Chemical Corporation ha instalado una planta Plascon en Japón para tratar desechos consistentes en PCB, que los contengan o estén contaminados con ellos.

243. *Proveedores:* El proveedor del proceso Plascon<sup>MR</sup> es SRL Plasma Pty Ltd., Narangba, Australia (www.srlplasma.com.au) y la Commonwealth Scientific Industrial Research Organization (CSIRO). Las tres patentes de Plascon<sup>MR</sup> están en posesión de SRL Plasma Pty Ltd. y CSIRO.

#### i) **Método del terc-butoxido de potasio**

244. *Descripción del proceso:* Los PCB en aceites de aislamiento se declaran mediante reacción con el terc-butoxido de potasio (t-BuOK). El t-BuOK reacciona con el cloro de los PCB para producir sal y desecho no clorado. Normalmente, el proceso se desarrolla a presión atmosférica y temperaturas comprendidas entre 200°C y 240°C (Oono, Kaneda y Kirata, 1997 y Oono y Kaneda, 1997).

245. *Eficiencia:* Se han registrado ED de 99,98% a 99,9999% para PCB. También se ha determinado que puede conseguirse una reducción del contenido de PCB hasta menos de 0,5 mg/kg.

246. *Tipos de desechos:* El método del t-BuOK se ha comprobado con aceites minerales con bajo nivel de contaminación. Un proveedor afirma también que pueden tratarse con el método t-BuOK desechos clorados en estado líquido o disueltos en disolventes.

247. *Tratamiento previo:* El t-BuOK reacciona con el agua para producir hidróxido de potasio y terc-butanol. Si los aceites minerales contaminados con PCB contienen un elevado volumen de agua, el terc-BuOK reaccionará más fácilmente con el agua que con el *cloro* de los PCB. Por lo tanto, debe eliminarse el agua de los aceites antes de la reacción.

248. *Emisiones y residuos:* Durante la reacción no se producirán emisiones. Existen pocas posibilidades de que se *formen* PCDD y PCDF como subproductos durante la reacción debido a la muy elevada velocidad de descloración, que hace que el cloro se libere rápidamente (Takigami, Sakai y Oono, 2002a y 2002b).

249. *Control de liberaciones y postratamiento:* Los subproductos pueden separarse de los aceites por lavado con agua después de la reacción. Pueden volver a utilizarse como combustible los *aceites* descontaminados.

250. *Requisitos energéticos:* Se espera que los requisitos energéticos sean relativamente bajos *debido* a las bajas temperaturas a las que se desarrolla el proceso t-BuOK.

251. *Requisitos materiales:* Cuando el contenido en PCB de los aceites minerales es inferior a 200 ppm, la cantidad de t-BuOK necesaria es del 0,5% aproximadamente en peso de los aceites contaminados.

252. *Movilidad:* Este proceso está disponible en configuraciones fijas y móviles, según el volumen del aceite *contaminado* que se vaya a tratar.

253. *Salud y seguridad:* En general, los *riesgos* para la salud y la seguridad asociados con el empleo de esta tecnología se consideran muy bajos.

254. *Capacidad:* Se ha determinado que se han tratado 36.000 litros diarios de aceite contaminado usando esta tecnología en Japón.

255. *Otras cuestiones prácticas:* Con esta tecnología, es posible tratar una gran cantidad de aceites contaminados en un breve período de tiempo ya que puede aplicarse de modo continuo.

256. *Comercialización:* Una empresa de Japón ha tratado aceites minerales contaminados en una planta de *funcionamiento* continuo desde 2004.

257. *Proveedor(es):* La patente de esta tecnología es propiedad de Kansai Electric Power Co y Kanden-Engineering Co. (www.kanden-eng.co.jp).

258. *Información adicional:* Figura información adicional en la Directriz Técnica para el tratamiento de PCB de Japón (Japan Industrial Waste Management Foundation, 1999).

j) **Oxidación en agua supercrítica (OASC) y oxidación en agua subcrítica**<sup>129</sup>

259. *Descripción del proceso:* La OASC y la oxidación en agua subcrítica trata los desechos en un sistema cerrado y utiliza un oxidante (como oxígeno, peróxido de hidrógeno, nitrito, nitrato, etc.) en agua a temperaturas y presiones por encima del punto crítico del agua (374°C y 218 atmósferas) y por debajo de condiciones subcríticas (370°C y 262 atmósferas). En estas condiciones, los materiales orgánicos se tornan muy solubles en agua y se oxidan para producir dióxido de carbono, agua y sales o ácidos inorgánicos.

260. *Eficiencia:* Se han registrado ED superiores al 99,999% y ERD superiores al 99,9999% para aldrina, clordano y PCB con la OASC (Ministerio del Medio Ambiente de Japón, 2004). Se han registrado ED superiores al 99,999999% y ERD superiores al 99,9999999% en el caso de la oxidación en agua subcrítica (Ministerio de Medio ambiente de Japón, 2004). Se han comprobado también ERD de hasta 99,9999% para PCDD en ensayos efectuados en banco de pruebas<sup>130</sup>.

261. *Tipos de desechos:* Se considera que la OASC y la oxidación de agua subcrítica se pueden aplicar a todos los COP<sup>131</sup>. (Japan industrial Waste Management Foundation, 1999). Entre los tipos de desechos a los que puede aplicarse esta tecnología están los desechos acuosos, los aceites, los disolventes y los sólidos con un diámetro inferior a 200 µm. El contenido orgánico de los desechos está limitado a menos de 20%<sup>132</sup>.

262. *Tratamiento previo:* Tal vez sea necesario diluir los desechos concentrados antes del tratamiento, a fin de reducir el contenido orgánico a menos del 20%. En el caso de la oxidación en agua subcrítica, no es necesaria la dilución de los desechos. Si existen sólidos, deberán reducirse a un diámetro inferior a 200 µm.

263. *Emisiones y residuos:* Durante la destrucción de PCB en laboratorio, se comprobó que la tecnología de OASC puede dar lugar a concentraciones elevadas de PCDF (del orden de algún porcentaje), durante la degradación de PCB, incluso a temperaturas de funcionamiento práctico (Weber, 2004). Se ha determinado que las emisiones no contienen óxidos de nitrógeno ni gases ácidos como el cloruro de hidrógeno u óxidos de azufre y que los residuos del proceso consisten en agua y sólidos, si el desecho contiene sales inorgánicas o compuestos orgánicos con halógenos, azufre o fósforo<sup>133</sup>. Existe muy poca información sobre concentraciones probables de sustancias químicas no destruidas<sup>134</sup>. El proceso se ha diseñado para permitir la captura de emisiones y residuos a fin de procesarlos nuevamente si fuera necesario<sup>135</sup>.

264. *Control de liberaciones y postratamiento:* En la actualidad no se dispone de información específica sobre los requisitos del tratamiento posterior.

265. *Requisitos energéticos:* Se prevé que los requisitos energéticos sean relativamente elevados debido a las combinaciones de altas temperaturas y presiones. Se afirma, sin embargo, que mientras que el desecho tenga un contenido de hidrocarburos relativamente alto, no será necesaria la energía para que los desechos alcancen temperaturas supercríticas<sup>136</sup>.

266. *Requisitos materiales:* El recipiente de reacción de la OASC y oxidación en agua subcrítica debe estar construido con materiales capaces de resistir la corrosión causada por los iones halógenos<sup>137</sup>. La corrosión puede ser grave dadas las temperaturas y presiones a las que opera la OASC y la oxidación en aguas subcrítica. Se sugirió el uso de aleaciones de titanio para solucionar este problema. Los

---

<sup>129</sup> Puede obtenerse información adicional de CMPS&F – Environment Australia, 1997; Costner et al., 1998; Rahuman et al., 2000; UNEP, 2001 y UNEP, 2004b. Véase el anexo V, Bibliografía.

<sup>130</sup> Véase CMPS&F– Environment Australia, 1997; Rahuman et al., 2000 y Vijgen, 2002, en el anexo V, Bibliografía.

<sup>131</sup> Véase UNEP, 2004b, en el anexo V, Bibliografía.

<sup>132</sup> Véase CMPS&F– Environment Australia, 1997; Rahuman et al., 2000 y Vijgen, 2002, en el anexo V, Bibliografía.

<sup>133</sup> Véase CMPS&F– Environment Australia, 1997, en el anexo V, Bibliografía.

<sup>134</sup> Véase CMPS&F– Environment Australia, 1997 y UNEP, 2004b, en el anexo V, Bibliografía.

<sup>135</sup> Véase UNEP, 2004b, en el anexo V, Bibliografía.

<sup>136</sup> Véase Rahuman et al., 2000, en el anexo V, Bibliografía.

<sup>137</sup> Véase Vijgen, 2002, en el anexo V, Bibliografía.

proveedores actuales afirman haber resuelto este problema mediante el uso de materiales y diseños de ingeniería avanzados<sup>138</sup>.

267. *Movilidad:* Actualmente las unidades de OASC y oxidación en agua subcrítica se usan en configuración fija, pero se estima que pudieran ser transportables<sup>139</sup>.

268. *Salud y seguridad:* Las altas temperaturas y presiones empleadas en este proceso requieren precauciones de seguridad especiales<sup>140</sup>.

269. *Capacidad:* Las actuales unidades experimentales de OASC pueden tratar 500 kg/h, mientras que las unidades en gran escala estarán diseñadas para tratar 2 700 kg/h<sup>141</sup>.

270. *Otras cuestiones prácticas:* Los diseños anteriores tenían numerosos problemas de fiabilidad, corrosión y obturación. Sin embargo, los actuales proveedores, afirman haber resuelto estos problemas mediante el empleo de diseños especiales de reactores y materiales resistentes a la corrosión<sup>142</sup>.

271. *Comercialización:* Recientemente comenzó a funcionar en el Japón una planta comercial en gran escala. Asimismo, el proceso OASC ha sido aprobado para su desarrollo en gran escala y utilización en el programa de destrucción de armas químicas de los Estados Unidos de América.

272. *Proveedores:* Algunas de las empresas que ofrecen estos servicios son:

- a) Foster Wheeler Development Corporation ([www.fosterwheeler.com](http://www.fosterwheeler.com))
- b) General Atomics ([www.ga.com](http://www.ga.com)); y
- c) Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. ([www.mhi.co.jp](http://www.mhi.co.jp)).

#### k) Producción térmica y metalúrgica de metales

273. *Descripción del proceso:* Los procesos que se describen *infra* están diseñados primordialmente para la recuperación de hierro y metales no ferrosos (MNF); por ejemplo, aluminio, cobre, cinc, plomo y níquel a partir de concentrados de minerales así como de materias primas secundarias (productos intermedios, desechos). No obstante, debido a la naturaleza de los procesos, en algunos casos se utilizan con fines comerciales para la destrucción del contenido de COP de desechos apropiados (véase el párrafo 275). En los documentos de referencia europeos sobre MTD: <sup>143, 144</sup>.

a) En los procesos relacionados con la destrucción del contenido de COP en los desechos ferrosos se utilizan determinados tipos de alto horno, horno de pozo u horno de forja. Todos esos procesos funcionan en atmósferas reductoras a altas temperaturas (1200°C-1450°C). La alta temperatura y la atmósfera reductora destruyen los PCDD y PCDF contenidos en los desechos y evitan la síntesis *de novo*. En los procesos de alto horno y horno de pozo se utilizan coque y otros agentes reductores para disminuir el insumo ferroso para fundir hierro. No hay emisiones directas de gas de productores por cuanto se utiliza como combustible secundario. En el proceso de horno de forja, el material ferroso se carga en un horno de forja múltiple junto con carbón mineral. El óxido de hierro se reduce directamente a hierro reducido directamente (HRD) sólido. En una segunda etapa, el hierro reducido se funde en un horno de arco eléctrico para producir hierro fundido;

b) Los procesos pertinentes para la destrucción del contenido de COP en desechos que contienen MNF son el proceso de horno rotatorio Waeltz y los procesos de extracción por baño fundente en los que se usan hornos verticales u horizontales. Esos procesos son reductores, alcanzan temperaturas de 1200°C y utilizan el temple rápido, con lo cual se destruyen los PCDD y PCDF y se evita la síntesis *de novo*. En el proceso Waeltz, los polvos, los fangos, las tortas de filtros, etc. cincíferos, procedentes de acerías, se aglomeran y funden conjuntamente con un agente reductor. A temperaturas de 1200°C, el cinc se volatiliza y se oxida a "Óxido de Waeltz", que se recoge en un dispositivo de filtro. En el proceso de horno de baño vertical, los residuos cupríferos se funden a temperaturas de al menos 1200 °C. El polvo del filtro se utiliza para la producción de cinc y compuestos de cinc. En el proceso de horno de baño horizontal, los residuos plomosos y concentrados

---

<sup>138</sup> Ibíd.

<sup>139</sup> Véase UNEP, 2004b y Vijgen, 2004, en el anexo V, Bibliografía.

<sup>140</sup> Véase CMPS&F– Environment Australia, 1997 en el anexo V, Bibliografía.

<sup>141</sup> Véase UNEP, 2004b y Vijgen, 2002 en el anexo V, Bibliografía.

<sup>142</sup> Ibíd.

<sup>143</sup> Comisión Europea, 2001a en el anexo V, Bibliografía.

<sup>144</sup> Comisión Europea, 2001b en el anexo V, Bibliografía.

minerales se cargan continuamente a un baño de fundición que tiene una zona de oxidación y una zona de reducción con temperaturas entre 1000 y 1200°C. El gas de proceso (concentración de dióxido de azufre superior a 10%) se utiliza para la producción de ácido sulfúrico después de la recuperación de calor y el desempolvado. El polvo derivado del proceso se recicla después de la lixiviación de cadmio.

274. *Eficiencia:* No se dispone de datos sobre la ED ni la EDE.

275. *Tipos de desecho:* Los procesos que se describen en el párrafo 273 *supra* son específicos para el tratamiento de los desechos siguientes:

a) Residuos derivados de procesos de fabricación de hierro y acero tales como polvos o fangos resultantes del tratamiento gaseoso o incrustación de hornos que puedan estar contaminados con PCDD y PCDF;

b) Los polvos de filtro cincíferos procedentes de acerías, los polvos de sistemas de limpieza mediante gas de fundidores de cobre, etc., y los residuos de lixiviación plomosos de la producción de MNF que puedan estar contaminados con PCDD y PCDF.

276. *Tratamiento previo:* Los materiales ferrosos reciclados mediante el proceso de alto horno convencional requieren tratamiento previo en una planta de aglomeración. En el caso del proceso de horno de pozo (horno "Oxycup") el desecho ferroso se comprime en briquetas, se seca y se endurece. Generalmente, el proceso de horno de forja múltiple no requiere tratamiento previo, aunque es posible que en algunos casos especiales los sólidos finos tengan que granularse. Esto supone solamente la adición de agua y la formación de gránulos en un tambor. En el caso de los MNF generalmente no es necesario el tratamiento previo especial de los materiales contaminados con COP.

277. *Emisiones y residuos:* En la producción de hierro y MNF, los PCDD y los PCDF se pueden formar en el proceso o en la etapa avanzada del sistema de tratamiento por gases de la combustión. No obstante, la aplicación de las MTD debe prevenir o al menos reducir al mínimo esas emisiones. En los casos en que los procesos descritos en el párrafo 273 *supra* se utilizan para la destrucción del contenido de COP en los desechos, se requieren técnicas apropiadas de control de las emisiones y de postratamiento (véase el párrafo 278 *infra*). Cuando se emplean esas técnicas, las emisiones en el aire de PCDD y PCDF resultantes de esos procesos son inferiores a 0,1 ng EQT/Nm<sup>3</sup>. En muchos casos se utilizan escorias con fines de construcción. Para los metales ferrosos, las emisiones pueden ocurrir a partir del tratamiento previo en una instalación de aglomeración y también en la descarga gaseosa del horno de fundición. Los residuos de los sistemas de desempolvado se emplean principalmente en la industria de los MNF. La descarga gaseosa del horno de forja múltiple se desempolva mediante un ciclón, sirve de base a una poscombustión, se temple bruscamente y se limpia mediante la adición de adsorbente y un filtro de bolsa. La descarga gaseosa del horno de fundición también sirve de base para una poscombustión y se temple bruscamente antes de mezclarse con la descarga gaseosa del horno de forja múltiple para la etapa conjunta de adsorbencia. En el caso de los MNF, los residuos incluyen polvos y fangos de filtros procedentes del tratamiento de aguas residuales.

278. *Control de las liberaciones y postratamiento:* El control de las temperaturas y el temple rápido frecuentemente constituyen medios apropiados para reducir al mínimo la formación de PCDD y PCDF. Los gases de proceso requieren tratamiento para eliminar el polvo constituido principalmente por metales u óxidos metálicos, y por dióxido de azufre cuando se funden materiales sulfúricos. En la industria de los metales ferrosos, los gases residuales derivados de instalaciones de aglomeración se tratan mediante un precipitador seguido de un tratamiento ulterior por gas de combustión; por ejemplo, técnicas de adsorción seguidas de un filtro de bolsa adicional. La descarga gaseosa de los hornos de fundición asociados también requiere poscombustión y temple rápido, y después se combina con la corriente de gases de descarga de los hornos de forja múltiples para un tratamiento ulterior mediante la adición de adsorbente seguido de un filtro de bolsa. En la producción de MNF, entre las técnicas de tratamiento apropiadas figuran, entre otras, la utilización de filtros de tela, precipitadores o lavadores electrostáticos, plantas de ácido sulfúrico o técnicas de adsorción con carbón activado.

279. *Requisitos energéticos:* Los procesos de producción de hierro y MNF requieren gran cantidad de energía y presentan diferencias significativas entre los diversos metales. En esos procesos el tratamiento del contenido de COP en los desechos requiere poca energía adicional.

280. *Requisitos materiales:* Para la producción de metales, se utilizan materias primas (minerales, concentrados o material secundario), así como aditivos (por ejemplo, arena, piedra caliza), agentes reductores (hulla y coque) y combustibles (petróleo y gas). El control de temperatura para evitar la síntesis *de novo* de los PCDD y los PCDF requiere agua adicional para el temple rápido.

281. *Movilidad:* Las fundiciones metalúrgicas son instalaciones grandes y fijas.



282. *Salud y seguridad:* El tratamiento de desechos mediante procesos térmicos se puede considerar seguro si éstos se diseñan y operan correctamente.

283. *Capacidad:* Las fundiciones de metal que se describen *supra* cuentan con capacidades para materiales de alimentación superiores a las 100.000 toneladas al año. La experiencia actual respecto de la adición de desechos contaminados con COP al material de alimentación supone cantidades mucho menores, pero es probable que exista la capacidad necesaria para tratar cantidades mayores y se están efectuando investigaciones a este respecto.

284. *Otras cuestiones prácticas:* Ninguna.

285. *Comercialización:* La producción de hierro fundido a partir de materiales ferrosos derivados de la producción de hierro y acero en un alto horno convencional ha estado en funcionamiento durante algunos años en Alemania (www.dk-duisburg.de). Un horno de pozo ("horno Oxycup") ha estado en funcionamiento desde 2003 en Alemania (www.thyssenkrupp.com). El proceso de horno de forja ha estado en funcionamiento a escala industrial en Luxemburgo desde 2003 (www.paulwurth.com) y en Italia (www.lucchini.it). El proceso de horno rotatorio Waeltz está bien establecido y está comprendido entre las MPD que funcionan en diferentes lugares de Europa (www.bus-steel.com). El proceso de fundición de baño vertical está en funcionamiento en Alemania (www.na-ag.com) al igual que el proceso de fundición de baño horizontal (www.berzelius.de).

286. *Distribuidores:* Habida cuenta de que la utilización principal de las instalaciones que operan estos procesos no es para destruir el contenido de COP en los desechos, no existen distribuidores de instalaciones dedicadas a este fin.

## I. Conversión de desechos en gas

287. *Descripción del proceso:* El proceso<sup>145</sup> es una tecnología de tratamiento previo y tratamiento de gasificación para la recuperación de desechos que contienen hidrocarburos que funcionan a altas temperaturas (1300°C- 2000°C) y alta presión (aproximadamente 25 barías) utilizando vapor y oxígeno puro en una atmósfera reductora<sup>146</sup>. Todas las moléculas de los hidrocarburos en los desechos se escinden irreversiblemente en pequeñas moléculas gaseosas tales como hidrógeno (H<sub>2</sub>) y monóxido de carbono (CO), metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Los hidrocarburos de cadena corta como el etano (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), el propano (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) y el butano (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>), y otros compuestos se producen en cantidades pequeñas (<1 vol. %). Los contaminantes orgánicos persistentes, incluidos los PCB contenidos en los desechos, se destruyen eficazmente. Posteriormente, en un proceso de varias etapas, el gas crudo resultante se convierte en gas de síntesis para la producción de metanol de grado máximo.

288. *Eficiencia:* Para los PCDD y los PCDF se han notificado ED de 99,974%<sup>147</sup>.

289. *Tipos de desecho:* El proceso es apropiado para una gran variedad de desechos orgánicos en diferentes formas físicas; por ejemplo, sólidos, líquidos, lodos y fangos que contengan COP o estén contaminados con éstos. Se pueden tratar desechos que contengan PCB o estén contaminados con éstos (hasta 500 mg/kg de desechos) y PCDD/PCDF (hasta 50.000 ng EQT/kg). Los niveles de cloro en los desechos peligrosos pueden llegar hasta 6 wt.% (líquidos) y 10 wt.% (sólidos).

290. *Tratamiento previo:* Paso a): Es necesario reducir el tamaño de los desechos sólidos con fragmentos de 80 x 140 mm de superficie. Los desechos sólidos con fragmentos de superficie inferior a 80 x 140 mm se someten directamente al paso b). Los metales ferrosos y no ferrosos se eliminan de los desechos sólidos. Después de la granulación, los desechos se someten al paso b). En el caso de los desechos líquidos y pastosos, los lodos, los sólidos y el agua se separan mediante sedimentación y separación por densidad. El aceite prepurificado se destila para alcanzar un contenido de agua de <1%. No hay restricción del contenido de agua para los productos de los barros que se han de alimentar al gasificador de corriente de arrastre. Paso b): La gasificación de los desechos (con inclusión del secado y la desgasificación) genera gas crudo para su procesamiento ulterior.

291. *Emisiones y residuos:* Los compuestos de azufre y nitrógeno contenidos en el gas crudo se eliminan en las instalaciones de procesamiento de gas sin emisiones, en un sistema de presión sellado.

---

<sup>145</sup> B. Butker et.al., 2005 en el anexo X, Bibliografía.

<sup>146</sup> El complejo SVZ opera tres tipos de gasificadores: gasificador de lecho presurizado, gasificador de descorticación BGL, gasificador de corriente de arrastre.

<sup>147</sup> La ED notificada depende principalmente de una concentración-PCDD/F baja de 34,08 ng EQT/kg en los desechos tratados. La ED es 99,99143 cuando la concentración- PCDD/F en los desechos alcanza 50,000 ng EQT/kg. Véase B. Buttker et al., 2006.

Las trazas de COP ( $0,0034 \text{ ng TEQ/Nm}^3$ )<sup>148</sup> en el gas crudo se destruyen finalmente en el gasificador de corriente por arrastre a temperaturas de  $2000^\circ\text{C}$ . Los PCB, los PCDD y los PCDF no se han detectado por medios analíticos en el metanol producido ni en el agua, la escoria y el yeso. La escoria vitrificada puede contener compuestos metálicos pesados. Esa escoria es susceptible de ser reciclada, por ejemplo, en materiales aislantes. Debido a que el proceso de conversión de los desechos en gas tiene lugar en una atmósfera reductora, la posibilidad de formación de PCDD y PCDF es limitada. Las emisiones de PCDD y PCDF al aire se notifican de la manera siguiente: planta de desulfurización  $0,0006 \text{ ng TEQ/Nm}^3$ ; planta de caldera  $0,0029 \text{ ng TEQ/Nm}^3$ <sup>149</sup>.

292. *Control de las liberaciones y postratamiento:* El  $\text{CO}_2$  y otros gases ya se eliminan del gas crudo en fracciones separadas utilizando un adsorbente orgánico (metanol) a temperaturas inferiores al punto de congelación. Los gases inflamables se combustionan en una instalación de calderas. A partir de este proceso se genera vapor de alta calidad.

293. *Requisitos energéticos:* Los desechos se tratan con una mezcla de gasificación que contenga al menos 15 wt.% de hullas a fin de lograr estabilidad en las condiciones del proceso. No se necesita energía adicional en forma de electricidad o vapor.

294. *Requisitos materiales:* Es necesario utilizar un agente de gasificación (vapor y oxígeno) para las tecnologías de gasificación empleadas. Entre otros requisitos figura el carbonato de calcio (piedra caliza) para influir en la viscosidad de la escoria.

295. *Movilidad:* La tecnología de gasificación está disponible en configuraciones fijas únicamente.

296. *Salud y seguridad:* El proceso destruye eficazmente los COP en un sistema de lazo cerrado sin poner en peligro la salud humana o el medio ambiente. La utilización de gas de hidrógeno bajo presión requiere controles y salvaguardas apropiados para asegurar que no se formen mezclas explosivas de aire e hidrógeno. La experiencia funcional obtenida desde 1992 hasta el presente indica que el proceso se puede realizar con seguridad.

297. *Capacidad:* Anualmente se pueden tratar 300.000 toneladas de desechos sólidos y aproximadamente 60.000 toneladas de desechos líquidos y pastosos.

298. *Otras cuestiones prácticas:* Habida cuenta de que se manipulan grandes cantidades, se requieren capacidades de almacenamiento apropiadas y ambientalmente compatibles.

299. *Comercialización:* La gasificación de los desechos a escala comercial se emplea en Alemania desde 1992 en el complejo Sekundärrohstoff-Verwertungszentrum Schwarze Pumpe (SVZ). En los últimos 10 años se han tratado más de 2,5 millones de toneladas de desechos.

300. *Distribuidores:* Sustec Holding posee la patente para la tecnología del gasificador de corriente por arrastre. Sustec vende licencias para explotar la tecnología. Sustec Schwarze Pumpe Inc. conjuntamente con Envirotherm Inc. ([www.svz-gmbh.de/](http://www.svz-gmbh.de/)) vende licencias para explotar la tecnología de gasificador de desescorificación.

### 3. **Otros métodos de eliminación cuando ni la destrucción ni la transformación irreversible no representan la opción ambientalmente preferible**

301. Cuando ni la destrucción ni la transformación irreversible constituyen la opción ambientalmente preferible para tratar los desechos cuyo contenido de COP es superior al bajo contenido de COP al que se hace referencia en la subsección A de la sección III supra, los países podrán autorizar la eliminación de tales desechos por métodos diferentes de los expuestos en la subsección 2 de la sección G del capítulo IV.

302. Entre los desechos que contienen COP o están contaminados con ellos y para los cuales se pueden considerar otros métodos de eliminación son:

a) Los desechos de centrales eléctricas y de otras centrales térmicas (excepto los que figuran en el apartado d) *infra*); los residuos generados por la industria siderúrgica y los desechos de la termometalurgia del aluminio, el plomo, el cinc, el cobre y otros metales no ferrosos. Figuran entre ellos las cenizas del fondo, escorias, escorias de sal, cenizas volantes, polvo de calderas, gases y polvos MNF de combustión, otras partículas y polvos, residuos sólidos del tratamiento de gases, granallas negras, residuos del tratamiento de escorias de sal y granallas negras, granallas y espumas;

---

<sup>148</sup> B. Buttker et al., 2006 en el anexo V, Bibliografía.

<sup>149</sup> *Ibíd.*

- b) Revestimientos y refractarios a base de carbono, y de otro tipo, de los procesos metalúrgicos;
- c) Los desechos de construcción y demolición siguientes:
  - i) Mezclas o fracciones separadas de hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos;
  - ii) La fracción inorgánica de suelos y piedras incluidos los suelos excavados de lugares contaminados;
  - iii) Desechos de construcción y demolición que contienen PCB, excluidos los equipos que contienen PCB;
- d) Los residuos de la incineración o la pirólisis de desechos, incluidos los residuos sólidos del tratamiento de gases, cenizas de fondo, escoria, cenizas volantes y polvo de calderas;
- e) Desechos vitrificados y de la vitrificación, incluidos cenizas volantes, y otros residuos del tratamiento de gases de combustión y desechos de la fase sólida no vitrificada.

303. La autoridad competente del país en cuestión deberá cerciorarse de que ni la destrucción ni la transformación irreversible del contenido de COP, realizada de conformidad con las mejores prácticas ambientales o las mejores técnicas disponibles constituyen la opción ambientalmente preferible.

304. Entre otros métodos de eliminación, cuando la destrucción o la transformación irreversible no constituyen la opción ambientalmente preferible, figuran los que se describen a continuación.

**a) Vertederos especialmente diseñados<sup>150</sup>**

305. Los vertederos deberían utilizarse de modo que se reduzca al mínimo la posibilidad de que el contenido de COP pase al medio ambiente. Esto puede conseguirse mediante el tratamiento previo, por ejemplo, utilizando un proceso adecuado de solidificación. Un vertedero especialmente diseñado debe cumplir con requisitos relativos a la ubicación, acondicionamiento, gestión, control, clausura y medidas preventivas y de protección que habrá que adoptar para evitar cualquier riesgo para el medio ambiente, tanto a largo como a corto plazo, en particular, en lo que se refiere en medidas contra la contaminación de las aguas subterráneas por infiltración de lixiviados en el terreno. La protección del terreno, de las aguas subterráneas y de las aguas superficiales puede lograrse mediante una combinación de barreras geológicas y un sistema de revestimiento del fondo durante la fase operacional y mediante la combinación de una barrera geológica y un revestimiento superior durante la fase de clausura y posterior a la clausura. También deberían adoptarse medidas para reducir la producción de gas metano y para instalar un control de los gases del vertedero. Además, debería introducirse un procedimiento uniforme de aceptación de desechos basado en un procedimiento de clasificación de desechos aceptable en el vertedero, que incluya, en particular, valores límites normalizados. Además, deberían establecerse procedimientos de vigilancia durante las fases de funcionamiento y posterior a la clausura del vertedero con el fin de determinar cualquier efecto ambiental adverso posible del vertedero y adoptar las medidas correctoras necesarias. Debería introducirse para el vertedero un procedimiento específico de permisos. En los permisos deberían figurar especificaciones relativas a los tipos y concentraciones de los desechos que se aceptarán, y a los sistemas de control de lixiviados y de gases, la vigilancia, la seguridad en el emplazamiento y la clausura y la fase posterior a la clausura.

306. Los siguientes desechos que contengan COP o estén contaminados con ellos no son adecuados para su eliminación en vertederos especialmente diseñados:

- a) Líquidos y materiales que contengan líquidos libres;
- b) Desechos orgánicos biodegradables;
- c) Contenedores vacíos a menos que estén aplastados, triturados o reducidos en volumen de forma análoga;
- d) Explosivos, sólidos inflamables, materiales de combustión espontánea, sustancias que reaccionan con el agua, oxidantes y peróxidos orgánicos.

---

<sup>150</sup> Puede obtenerse información adicional de Technical Guidelines on Specially Engineered Landfill (D5), UNEP, 1995d, anexo V, Bibliografía y la Legislación nacional pertinente como la Directiva Europea 1999/31/CE.

## **b) Almacenamiento permanente en minas y formaciones subterráneas**

307. El almacenamiento permanente en instalaciones ubicadas en minas de sal y formaciones de roca dura subterráneas geohidrológicamente aisladas es una opción para separar a los desechos peligrosos de la biosfera durante períodos de tiempo geológicos. Para cada instalación subterránea de almacenamiento proyectada deberá realizarse una evaluación de la seguridad específica del emplazamiento, de conformidad con la legislación nacional pertinente, tal como las disposiciones que figuran en el Apéndice A del Anexo de la decisión 2003/33/CE del Consejo Europeo de 19 de diciembre de 2002, que establece los criterios y procedimientos para la admisión de desechos en los vertederos, de conformidad con el artículo 16 y el anexo II de la Directiva 1999/31/CE.

308. Los desechos deben eliminarse de modo que quede excluida toda reacción no deseada entre los diferentes tipos de desechos o entre estos y el revestimiento del almacenamiento en contenedores química y mecánicamente seguros. Los desechos que son líquidos, gaseosos, que producen gases tóxicos o son explosivos, inflamables o infecciosos no deben almacenarse en minas subterráneas. Los permisos operacionales deben definir los tipos de desechos que deben normalmente excluirse.

309. En la selección de un almacenamiento permanente para la eliminación de desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos deberán tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- a) Las cuevas o túneles utilizados para el almacenamiento deberán estar totalmente aislados de las zonas mineras en explotación o de aquellas que puedan volver a explotarse;
- b) Las cuevas o túneles deberán encontrarse ubicados en formaciones geológicas que se encuentren muy por debajo de las zonas de agua subterránea o en formaciones totalmente aisladas de zonas acuíferas por capas impermeables de roca o arcilla;
- c) Las cuevas o túneles deberán encontrarse ubicados en formaciones geológicas extremadamente estables y no en zonas sísmicas.

## **4. Otros métodos de eliminación cuando el contenido de COP es bajo**

310. Si los desechos que contengan COP o estén contaminados con ellos con concentraciones inferiores al contenido bajo de COP no se eliminan de conformidad con los métodos descritos supra, se deberán eliminar con arreglo a la legislación nacional pertinente y las normas, reglas y directrices internacionales, incluidas las Directrices Técnicas Específicas elaboradas en virtud de lo dispuesto en el Convenio de Basilea. En el anexo II de las presentes directrices se dan ejemplos de legislaciones nacionales pertinentes.

## **H. Saneamiento de los emplazamientos contaminados**

### **1. Determinación de los emplazamientos contaminados<sup>151</sup>**

311. Las prácticas de manipulación y almacenamiento inadecuadas en particular pueden dar lugar a la liberación de COP en los emplazamientos en los que se almacenen estos productos químicos, lo que ocasionaría una contaminación del sitio con altos niveles de COP que representarían una grave amenaza para la salud. La determinación de estos emplazamientos es el primer paso en la solución de posibles problemas.

312. La determinación de estos emplazamientos puede realizarse mediante un enfoque por etapas que comprenda:

- a) La determinación de emplazamientos sospechosos como los dedicados a:
  - i) La producción de COP;
  - ii) La formulación de plaguicidas y el rellenado de transformadores y repetición del mismo;
  - iii) Empleo de COP, entre otros, aplicación de plaguicidas y colocación de transformadores;

---

<sup>151</sup> Figura información adicional sobre la determinación de emplazamientos contaminados en Assessing soil contamination: a reference manual No. 8 (FAO, 2000) y Guidance Document on the Management of Contaminated Sites in Canada (Canadian Council of Ministers of the Environment, 1997). Véase el anexo V, Bibliografía.

- iv) La eliminación de desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos;
- b) Un estudio de toda la información actual y pasada sobre el emplazamiento sospechoso;
- c) Un programa inicial de ensayos para confirmar la presencia o ausencia de contaminantes y caracterizar las condiciones físicas del emplazamiento sospechoso;
- d) Un programa detallado de ensayos para detectar la naturaleza de la contaminación y recopilar cualquier información adicional necesaria.

## 2. Saneamiento ambientalmente racional<sup>152</sup>

313. Los criterios para determinar la contaminación de un emplazamiento, elaborados por los gobiernos mediante el uso de las técnicas de evaluación de riesgos, sirven de objetivos generales para el saneamiento de los emplazamientos. Para los suelos, sedimentos y aguas subterráneas se pueden adoptar o elaborar criterios diferentes. A menudo se establece una distinción entre los suelos industriales (criterios menos estrictos), comerciales, residenciales y agrícolas (criterios más estrictos). En el Reglamento sobre la protección del suelo y los lugares contaminados de Alemania, en el Reglamento sobre la protección del suelo de Suiza y en las Directrices sobre calidad ambiental del Canadá se pueden encontrar ejemplos de estos criterios<sup>153</sup>.

## I. Salud y seguridad<sup>154</sup>

314. En general, existen tres formas principales de proteger a los trabajadores y a las personas en general de los riesgos químicos, a saber (en orden de preferencia):

- a) Mantener a los trabajadores y personas en general alejados de todas las posibles fuentes de contaminación;
- b) Controlar los contaminantes a fin de reducir al mínimo las probabilidades de exposición;
- c) Proteger a los trabajadores asegurándose de que usan equipos de protección personal.

315. También se puede consultar información en ILO (1999a y 1999b), WHO (1995 y 1999), IPCS INCHEM (distintas fechas) y la nota de orientación de United Kingdom Health and Safety Executive HS(G)66 "Protection of workers and the general public during the development of contaminated land". En UNEP 2001 se dan ejemplos de la aplicación en la práctica.

316. En todas las instalaciones en las que se manipulen desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos, deberían existir planes de salud y seguridad a fin de garantizar la protección de todas las personas dentro de la instalación y en sus alrededores. El plan de salud y seguridad de cada instalación en particular debe ser elaborado por un profesional capacitado en cuestiones de salud y seguridad, con experiencia en la gestión de los riesgos para la salud asociados con los COP específicos que se manipulan en la instalación.

317. Todos los planes de salud y seguridad deberán cumplir los principios anteriores e incluir las normas laborales locales y nacionales. La mayoría de los programas de salud y seguridad admiten diferentes niveles de seguridad, con niveles de riesgos que dependen del emplazamiento de que se trate y de la naturaleza de los materiales contaminados que se encuentren en el lugar. El nivel de protección de los trabajadores debe estar en consonancia con el nivel de riesgo al que estén expuestos. Se deberían establecer niveles de riesgo y los profesionales en cuestiones de salud y seguridad deberían evaluar cada situación en particular. A continuación se exponen dos situaciones de riesgo: mayor riesgo y menor riesgo.

### 1. Situaciones de mayor riesgo

318. Las situaciones de mayor riesgo se dan cuando existe una elevada concentración de COP o grandes volúmenes de desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con

---

<sup>152</sup> Existen varias fuentes de información disponibles sobre los métodos que se utilizan actualmente en el saneamiento de los emplazamientos contaminados con COP, en particular: FRTR (2002), Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (1993 y 2000) y Vijgen (2002). Véase el anexo V, Bibliografía.

<sup>153</sup> Véase Canadian Council of Ministers of the Environment, 2002 en el anexo V, Bibliografía.

<sup>154</sup> Puede obtenerse información adicional sobre salud y seguridad de la Organización Internacional del Trabajo (1999a y 1999b), la Organización Mundial de la Salud (1995 y 1999) e IPCS INCHEM (sin fecha). Véase el anexo V, Bibliografía.

ellos, y se está frente a una gran posibilidad de exposición. En esas situaciones, los trabajadores, y las personas en general, podrían correr el riesgo de estar expuestos. Se debe prestar una atención especial a la reducción a un mínimo de la exposición de las personas en general. Además, se debería ofrecer orientación para asegurarse de que las personas en general tienen conciencia del riesgo potencial y de las medidas que deben tomar en caso de exposición.

319. No existe una definición cuantitativa internacional de volumen o concentración elevados, por lo que los trabajadores y empleadores pueden guiarse por el asesoramiento y la información de los profesionales en cuestiones de salud y seguridad, los representantes sindicales, los escritos científicos y las autoridades gubernamentales. Las situaciones potenciales de mayor riesgo pueden darse en:

- a) Sitios en los que se producen, manipulan y utilizan COP;
- b) Lugares en los que hay existencias de productos químicos o desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos, y lugares en los que se almacenan grandes cantidades de esos productos químicos o desechos;
- c) Instalaciones para el tratamiento o la eliminación de desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos;
- d) Lugares con altas concentraciones de COP en la superficie o cerca de ésta.

320. Como mínimo, en los planes de salud y seguridad relacionados con los COP para situaciones de mayor riesgo se deberían incluir los elementos siguientes:

- a) Se preparará un plan de salud y seguridad por escrito, que se fijará en un lugar visible de cada emplazamiento;
- b) Los trabajadores que deban acceder a este lugar deberían leer el plan y firmar para confirmar que lo han leído y entendido;
- c) El plan podrá redactarse de manera que abarque todos los peligros posibles en el lugar, pero deberá contar con una sección o capítulo en que se detallen concretamente los procedimientos relacionados con los COP;
- d) Los trabajadores permanecerán en el lugar solamente el tiempo necesario para realizar las tareas de mantenimiento o inspeccionar el equipo o los materiales almacenados;
- e) de salud y seguridad y procedimientos relacionados con los productos químicos peligrosos y los riesgos físicos y biológicos;
- f) Todos los años se impartirá capacitación en materia de salud y seguridad;
- g) Se realizarán controles de rutina del aire para detectar la presencia de COP;
- h) Cuando proceda, los trabajadores que ingresen al sitio deberán usar mascarillas de protección y cubrir todo el cuerpo con material impermeable (p. ej. monos de trabajo con capucha, máscaras de protección facial, guantes y protectores de calzado o un traje completo cerrado);
- i) En todo lugar que contenga COP se colocarán estuches de limpieza de derrames y materiales de descontaminación personal;
- j) Los trabajadores que habitualmente tengan acceso, o puedan tenerlo, a estos sitios o que trabajen con estas sustancias deberán someterse a controles médicos, incluido un examen médico general que servirá de parámetro de referencia;
- k) Cuando haya que manipular COP en un sistema abierto, o cuando haya motivos para prever que la ropa de protección de un trabajador pueda estar contaminado con COP, se establecerá una zona de reducción de contaminantes donde los trabajadores puedan ser descontaminados y quitarse el equipo de protección;
- l) El plan de salud y seguridad y los procedimientos de trabajo generales se deberán revisar al menos una vez al año y modificarse de ser necesario para aumentar la seguridad y la salud en el sitio.

## 2. Situaciones de menor riesgo

321. Tampoco existe una definición de bajo volumen o baja concentración. Estas situaciones deberán determinarse comparando los niveles de contaminantes con las directrices establecidas por el gobierno o por medio de evaluaciones de riesgos específicas del emplazamiento. Las situaciones de menor riesgo pueden ser, entre otras:

- a) Lugares que contienen materiales contaminados con pequeñas cantidades de COP, o COP en bajas concentraciones;
- b) Locales de almacenamiento controlados que contienen pequeñas cantidad de COP;
- c) Emplazamientos contaminados con bajas concentraciones de COP o en los que la gente no puede entrar en contacto directo con la contaminación.

322. Pese a estos riesgos mínimos, se deberán adoptar algunas medidas en materia de salud y seguridad para minimizar la exposición, incluida la formación en cuestiones de salud y seguridad de personal que probablemente entre en contacto con los COP.

## **J. Respuesta en casos de emergencia<sup>155</sup>**

323. Deben existir planes para hacer frente a situaciones de emergencia para todas las actividades de producción, uso, almacenamiento, transporte o eliminación de COP, así como en los emplazamientos de eliminación. Si bien estos planes pueden ser diferentes para cada situación o para cada tipo de COP, los elementos principales de un plan para hacer frente a situaciones de emergencia son, entre otros:

- a) La determinación de todos los peligros, riesgos y casos de accidente probables;
- b) La determinación de las leyes locales y nacionales a las que han de sujetarse los planes para hacer frente a situaciones de emergencia;
- c) La planificación para situaciones de emergencia previstas y las posibles medidas para hacerles frente;
- d) El mantenimiento de un inventario actualizado completo de todos los COP en el emplazamiento;
- e) La capacitación del personal en las actividades necesarias para hacer frente a situaciones de emergencia, tales como ejercicios simulados de las mismas y primeros auxilios;
- f) El mantenimiento de capacidades de respuesta móviles en caso de derrames o la garantía de contar con los servicios de una empresa especializada en hacer frente a los derrames;
- g) La notificación a los servicios de extinción de incendios, cuerpo de policía y otros organismos gubernamentales encargados de hacer frente a situaciones de emergencia, acerca de la ubicación de los COP y las rutas de transporte;
- h) La instalación de medidas de mitigación, tales como sistemas de extinción de incendios, equipos de contención de derrames, depósitos de agua para extinguir incendios, alarmas contra incendios y derrames, y cortafuegos;
- i) La instalación de sistemas de comunicación para situaciones de emergencia, como señales que indiquen salidas de emergencia, números de teléfono, lugares de alarma e instrucciones para hacer frente a situaciones de emergencia;
- j) La instalación y el mantenimiento de juegos para situaciones de emergencia, que contengan sorbentes, equipos de protección personal, extintores portátiles de incendios y equipos de primeros auxilios;
- k) La integración de los planes de las instalaciones con los planes regionales, nacionales e internacionales para hacer frente a situaciones de emergencia, si procede;
- l) La comprobación periódica de los equipos para hacer frente a situaciones de emergencia y revisión del plan para hacer frente a situaciones de emergencia.

324. Los planes para hacer frente a situaciones de emergencia deben prepararlos conjuntamente grupos interdisciplinarios integrados por personal encargado de hacer frente a situaciones de emergencia, personal técnico, médico y químico capacitado para dar respuesta en casos de emergencia y

---

<sup>155</sup> Puede obtenerse información adicional sobre medidas para hacer frente a situaciones de emergencia de otras directrices elaboradas por organismos internacionales, como las OECD Guiding Principles for Chemical Accident Prevention, Preparedness and Response, segunda edición (2003) y por gobiernos u organismos locales, regionales y nacionales (como la defensa civil, los organismos de coordinación en casos de emergencia y los departamentos de extinción de incendios).

también representantes laborales y directivos. Cuando proceda, deberán participar además representantes de las comunidades que pudieran resultar afectadas.

## **K. Participación del público**

325. La participación del público es un principio fundamental reflejado en la Declaración de Basilea sobre el manejo ambientalmente racional y muchos otros acuerdos internacionales. Es esencial que el público y todos los grupos interesados tengan la oportunidad de participar en la elaboración de la política relacionada con los COP, la planificación de programas, la elaboración de la legislación, la revisión de documentos y datos y la toma de decisiones sobre temas locales acerca de los COP. Los apartados g) y h) del párrafo 6 de la Declaración de Basilea estipulan que las Partes procedan al mejoramiento del intercambio de información, la educación y la concienciación en todos los sectores de la sociedad y fomenten la cooperación y las modalidades de asociación entre las autoridades públicas, las organizaciones internacionales, la industria, las organizaciones no gubernamentales y las instituciones académicas.

326. En el apartado d) del párrafo 1 del artículo 10 del Convenio de Estocolmo se insta a que cada Parte, dentro de sus capacidades, promueva y facilite la participación del público en el tratamiento del tema de los contaminantes orgánicos persistentes y sus efectos para la salud y el medio ambiente y en la elaboración de respuestas adecuadas, incluida la posibilidad de hacer aportaciones a nivel nacional acerca de la aplicación del presente Convenio.

327. En los Artículos 6, 7, 8 y 9 de la Convención sobre el acceso a la información, la participación del público en la toma de decisiones y el acceso a la justicia en asuntos ambientales, concertada en Aarhus en 1998, se exige la realización de tipos de actividades bastante específicos relativos a la participación del público en actividades gubernamentales concretas, la elaboración de planes, políticas y programas y la elaboración de leyes, así como el acceso del público a la justicia con respecto al medio ambiente.

328. La participación del público en el establecimiento de normas y reglamentos respecto de los COP resulta esencial. Todo gobierno que prevea establecer nuevos reglamentos o políticas, o modificarlas, deberá realizar un proceso abierto en que solicite las observaciones de todas las personas o grupos, por conducto de los medios de difusión habituales, la Internet o por invitación directa. Las personas y grupos que deben ser invitados directamente a presentar sus observaciones son:

- a) Ciudadanos a título individual que hayan expresado interés;
- b) Grupos locales de ciudadanos (incluidos grupos ecologistas locales) para analizar cuestiones locales;
- c) Grupos de personas muy vulnerables, como mujeres, niños y personas menos instruidas;
- d) Grupos ecologistas organizados en el nivel regional, nacional o mundial;
- e) Industrias y empresas a título individual con intereses en el proceso;
- f) Asociaciones empresariales;
- g) Sindicatos y asociaciones;
- h) Asociaciones de profesionales; y
- i) Otras instancias gubernamentales.

329. El proceso de participación del público puede tener varias etapas. Se puede consultar a los grupos antes de analizar cualesquiera modificaciones o programas, durante el proceso de elaboración de políticas y después de preparar cada proyecto de documento normativo. Las observaciones podrán solicitarse personalmente, por escrito o por medio de un sitio en la Web.

300. En el documento “A Case Study of Problem Solving Through Effective Community Consultation”<sup>156</sup> elaborado por la entidad Australia Department of Environmental Health figura un ejemplo de consulta pública sobre la elaboración de planes de manejo de los COP.

---

<sup>156</sup>

Véase, Australia Department of Environmental Health, 2000 en el anexo V, Bibliografía.



## Anexo I

### Instrumentos internacionales

Además de los convenios de Estocolmo y Basilea, existen otros instrumentos internacionales que incluyen disposiciones relativas a los desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos entre los que cabe citar:

- a) Protocolo de 1998 relativo a los contaminantes orgánicos persistentes de 1979 de la Convención sobre la contaminación atmosférica transfronteriza a larga distancia;
- b) Protocolo de 2003 sobre los registros de liberaciones y Transferencia de Contaminantes de la Convención de Aarhus sobre el acceso a la información, la participación del público en la adopción de decisiones y el acceso a la justicia en asuntos ambientales, de 1998;
- c) Convención de Bamako sobre la prohibición de la importación a África la fiscalización de los movimientos transfronterizos y la gestión dentro de África de desechos peligrosos, de 1991;
- d) Convención de Waigani de prohibición de la importación a los países insulares del Foro de desechos peligrosos y radiactivos y sobre el control del movimiento transfronterizo y la ordenación de desechos peligrosos dentro de la región del Pacífico Meridional;
- e) Decisión C (2001) 107/FINAL sobre el control de los movimientos transfronterizos de desechos destinados a operaciones de recuperación, del Consejo de la OCDE.

## Anexo II

### Ejemplos de legislaciones nacionales pertinentes

Los ejemplos de legislaciones nacionales que comprenden disposiciones relacionadas con el manejo de desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos son, entre otros, los siguientes:

País	Legislación	Breve descripción
Alemania	Ordenanza federal sobre emplazamientos contaminados y la protección de los suelos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contiene niveles de intervención respecto de los emplazamientos contaminados con aldrina, DDT, HCB, PCB, PCDD y PCDF.</li> </ul>
Alemania	Ordenanza sobre vertederos e instalaciones de almacenamiento a largo plazo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contiene un límite para el contenido de PCB de suelos utilizados para formar nuevas capas de tierra cultivable en vertederos.</li> </ul>
Alemania	Ordenanza sobre desechos de estiba subterráneos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contiene límites para la utilización de desechos contaminados con PCB como material de estiba.</li> </ul>
Alemania	Ordenanza sobre fangos residuales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contiene límites para la utilización como fertilizantes de fangos residuales contaminados con PCB, PCDD y PCDF.</li> </ul>
Alemania	Ordenanza sobre desechos de la industria maderera	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contiene límites para el reciclado de desechos de la industria maderera contaminados con PCB.</li> </ul>
Alemania	Ordenanza sobre aceite de desecho	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contiene límites para el reciclado de aceites contaminados con PCB.</li> </ul>
Austria	Leyes sobre protección de suelos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contienen valores límites estrictos para PCB, PCDD y PCDF en fangos residuales usados como fertilizante.</li> </ul>
Canadá	Reglamento federal para el tratamiento y la destrucción de PCB en unidades móviles	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contiene normas de emisión para la liberación de gases, líquidos y sólidos contaminados con PCB, PCDD y PCDF.</li> </ul>
Brasil	Norm ABNT/NBR, N° 8371/1997	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procedimientos para la manipulación, el transporte y el almacenamiento de materiales que contienen PCB</li> </ul>
Brasil	Resolution CETESB (São Paulo state), N° 007/1997	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determina límites para los PCDD y PCDF de emisiones procedentes de incineradores de desechos médicos con capacidad &gt; 200 kg/día</li> </ul>
Brasil	Resolution CONAMA, N° 264/1999	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procedimientos para la concesión de licencias ambientales relativas al procesamiento conjunto de desechos en hornos de cemento</li> </ul>
Brasil	Resolution CONAMA, N° 313/2002	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estipula la creación de un inventario de existencias de PCB y desechos industriales</li> </ul>
Brasil	Resolution CONAMA, N° 316/2002	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procedimientos y criterios para operar sistemas de tratamiento térmico de desechos. Establece límites de las emisiones de PCDD y PCDF</li> </ul>

<b>País</b>	<b>Legislación</b>	<b>Breve descripción</b>
Brasil	Resolution CONAMA, N° 334/2003	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procedimientos para la concesión de licencias ambientales para los establecimientos encargados de recibir consignaciones de plaguicidas</li> </ul>
Brasil	Decision CETESB (São Paulo state), N° 26/2003	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establece límites para las emisiones al aire de PCDD y PCDF de hornos de cemento en los que también se tratan desechos</li> </ul>
Brasil	Resolution CONAMA, N° 357/2005	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establece niveles máximos permitidos de COP en efluentes descargados al agua</li> </ul>
Comunidad Europea	Reglamento (CE) No. 850/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004, sobre contaminantes orgánicos persistentes y por el que se modifica la Directiva 79/117/CEE, enmendado mediante el Reglamento (CE) No. 1195/2006 de 18 de julio de 2006 que modifica el Anexo IV del Reglamento (CE) No. 850/2004	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El Artículo 7 contiene disposiciones relacionadas con la gestión de los desechos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos.</li> </ul>
Comunidad Europea	Directiva 96/59/CE del Consejo, de 16 de septiembre de 1996, sobre la eliminación de bifenilos policlorados y terfenilos policlorados (PCB/PCT)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contiene normas relativas a la eliminación de PCB y PCT, entre otras, relativas a la descontaminación y/o eliminación de equipo y de los PCB del mismo.</li> </ul>
Comunidad Europea	Directiva 86/280/CEE del Consejo, de 12 de junio de 1986, sobre los valores límites y los objetivos de calidad relativos a los vertimientos de algunas sustancias peligrosas incluidas en la Lista I del Anexo a la Directiva 76/464/CEE y la Directiva 88/347/CEE del Consejo, de 16 de junio de 1988, que enmienda el anexo II a la Directiva 86/280/CEE sobre los valores límites y los objetivos de calidad relativos a los vertimientos de algunas sustancias peligrosas incluidas en la Lista I del Anexo a la Directiva 76/464/CEE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El anexo II contiene los valores límites de emisión para el vertimiento de aguas residuales del proceso de producción contaminadas con aldrina, dieldrina, endrina y HCB.</li> </ul>
Comunidad Europea	Directiva 2000/76/ CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 4 de diciembre de 2000 sobre la incineración de desechos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El Anexo IV contiene los valores límites de emisión para el vertimiento de aguas residuales contaminadas con PCDD y PCDF provenientes de la purificación de gases de escape.</li> <li>• El Anexo V contiene los valores de emisión a la atmósfera de PCDD y PCDF.</li> </ul>
Comunidad Europea	Decisión 2003/33/CE del Consejo, de 19 de diciembre de 2002, que establece criterios y procedimientos para la aceptación de desechos en los vertederos con arreglo al Artículo 16 de la Directiva 1999/31/EC y su Anexo II	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En el párrafo 2.1.2.2 del Anexo figuran criterios para vertederos de desechos inertes que contienen PCB.</li> </ul>
Estados Unidos de América	US EPA 40 CFR 63 Subpart EEE: Normas nacionales para la emisión de contaminantes atmosféricos peligrosos procedentes de cámaras de combustión de desechos peligrosos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contiene normas para la liberación de PCDD y PCDF en las emisiones a la atmósfera</li> </ul>

<b>País</b>	<b>Legislación</b>	<b>Breve descripción</b>
Estados Unidos de América	40 CFR 268.48 Normas universales de tratamiento de desechos peligrosos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contiene normas para el tratamiento de desechos peligrosos antes de su eliminación en tierra y de desechos acuosos antes de su vertimiento. Incluye todos los COP, con excepción del mirex.</li> </ul>
Estados Unidos de América	40 CFR 761.70 Normas para la Incineración de PCB	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contiene normas para las emisiones a la atmósfera cuando se incineran PCB</li> </ul>
Finlandia	Decisión (1071/1989) del Consejo de Estado sobre las restricciones en la utilización de PCB y PCT	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contiene valores límites para PCB y PCT.</li> </ul>
Finlandia	Decisión (101/1997) del Consejo de Estado sobre gestión de aceites de desecho	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contiene valores límites para los PCB en aceites regenerados y en aceites de desecho destinados a la incineración.</li> </ul>
Finlandia	Decisión (711/1998) del Consejo de Estado sobre el cese del uso de artículos con PCB y el tratamiento de PCB como desechos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contiene valores límites para PCB.</li> </ul>
Finlandia	Decreto (1129/2001) del Consejo de Estado sobre una lista de los desechos y desechos peligrosos más generales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contiene valores límites para PCB.</li> </ul>
Japón	Ley relativa a medidas especiales contra las dioxinas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contiene normas ambientales de incorporación diaria tolerable para el aire ambiente, la calidad del agua (incluidos los sedimentos) y normas sobre suelos, emisiones y residuos para gases, efluentes, cenizas y polvos en relación con los PCDD, PCDF, y PCB coplanar.</li> </ul>
Japón	Ley relativa a medidas especiales contra los desechos con PCB	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contiene normas para el tratamiento de plásticos y metales contaminados con PCB.</li> </ul>
Japón	Ley relativa a medidas especiales contra la contaminación del suelo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contiene normas para el tratamiento de suelos contaminados con PCB</li> </ul>
Japón	Ley de gestión de desechos y limpieza municipal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contiene criterios relativos a los desechos peligrosos que contienen PCB, PCDD, PCDF y PCB coplanar.</li> </ul>
Japón	Ley de control de la contaminación del agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contiene normas de emisión de efluentes que contengan PCB.</li> </ul>
México	Norma NOM-098 de 2004	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contiene normas de emisión y eficiencia de destrucción para incineradores de desechos.</li> </ul>
México	Norma NOM-133 de 2001	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contiene reglamentación relativa a la manipulación de PCB y un programa para la preparación de inventarios.</li> </ul>
Noruega	Capítulos 2 y 3 del Reglamento de Productos de Noruega sobre sustancias peligrosas reglamentadas o una mezcla de sustancias y productos que contengan sustancias peligrosas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contiene una prohibición de la producción, el uso, la importación y la exportación de PCB, PCT y productos que contengan esas sustancias, , incluidos los capacitores que contienen PCB</li> </ul>
Noruega	Capítulo 14 del Reglamento de Productos de Noruega sobre ventanas de aislamiento obsoletas que contengan PCB	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establece requisitos para los productores respecto de la retirada y la manipulación de ventanas obsoletas que</li> </ul>

<b>País</b>	<b>Legislación</b>	<b>Breve descripción</b>
		contengan PCB
Noruega	Capítulo 2 del Reglamento de Productos de Noruega sobre la limpieza de sitios contaminados	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contiene valores límites por debajo de los cuales se considera que un suelo está limpio y es apropiado para su utilización en zonas delicadas</li> </ul>
Suiza	Ordenanza sobre carga del suelo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contiene niveles de intervención en emplazamientos contaminados con PCB, PCDD y PCDF.</li> </ul>

## Anexo III

### Métodos analíticos seleccionados para COP

#### 1. Aldrina

- a) AOAC Official Method 970.52 Organochlorine and Organophosphorous Pesticide Residue Method. General Multiresidue Method. 2005 AOAC International
- b) AOAC Official Method 955.22 Organochlorine and Organophosphorous Pesticide Residue Method
- c) EPA Method 8081A: Organochlorine Pesticides by Gas Chromatography (and ECD)
- d) ISO 6468 (1996) Water quality – Determination of certain organochlorine insecticides, polychlorinated biphenyls and chlorobenzenes – Gas chromatographic method after liquid-liquid extraction
- e) ISO 10382 (2002): Soil quality – Determination of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls – Gas-chromatographic method with electron capture detection

#### 2. DDT

- a) AOAC Official Method 970.52 Organochlorine and Organophosphorous Pesticide Residue Method. General Multiresidue Method. 2005 AOAC International
- b) AOAC Official Method 955.22 Organochlorine and Organophosphorous Pesticide Residue Method
- c) EPA Method 4042: Soil screening for DDT by immunoassay, EPA analytical chemistry guidance SW-846
- d) EPA Method 8081A: Organochlorine Pesticides by Gas Chromatography (and ECD)
- e) ISO 6468 (1996) Water quality – Determination of certain organochlorine insecticides, polychlorinated biphenyls and chlorobenzenes – Gas chromatographic method after liquid-liquid extraction
- f) ISO 10382 (2002): Soil quality – Determination of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls – Gas-chromatographic method with electron capture detection

#### 3. HCB

- a) AOAC Official Method 970.52 Organochlorine and Organophosphorous Pesticide Residue Method. General Multiresidue Method. 2005 AOAC International
- b) AOAC Official Method 955.22 Organochlorine and Organophosphorous Pesticide Residue Method
- c) EPA Method 8081A: Organochlorine Pesticides by Gas Chromatography (and ECD)
- d) ISO 6468 (1996) Water quality – Determination of certain organochlorine insecticides, polychlorinated biphenyls and chlorobenzenes – Gas chromatographic method after liquid-liquid extraction
- e) ISO 10382 (2002): Soil quality – Determination of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls – Gas-chromatographic method with electron capture detection

#### 4. PCB

- a) DIN 38414-20 (1996): German standard methods for the examination of water, waste water and sludge - Sludge and sediments (group S) - Part 20: Determination of 6 polychlorinated biphenyls (PCB) (P 20)
- b) EN 1948 (draft 2004) Stationary source emissions – determination of the mass concentration of PCDDs/PCDFs and dioxin-like PCBs. Part 1 Sampling, Part 2: Extraction and clean-up of PCDDs/PCDFs, Part 3: Identification and quantification of PCDDs/PCDFs
- c) EN 12766-1 (2000): Petroleum products and used oils – Determination of PCBs and related products – Part 1: Separation and determination of selected PCB congeners by gas chromatography (GC) using an electron capture detector (ECD)

- d) EN 12766-2 (2001): Petroleum products and used oils – Determination of PCBs and related products – Part 2: Calculation of polychlorinated biphenyl (PCB) content
- e) EN 61619 (2004): Insulating liquids – Contamination by polychlorinated biphenyls (PCBs) – Method of determination by capillary column gas chromatography
- f) EPA Method 1668, Revision A: Chlorinated Biphenyl Congeners in Water, Soil, Sediment, and Tissue by HRGC/HRMS, United States Office of Water, EPA No. EPA 821-R-00-002, Environmental Protection Agency (4303), December 1999
- g) EPA Method 4020: Screening for polychlorinated biphenyls by immunoassay ([www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/pdfs/4020.pdf](http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/pdfs/4020.pdf))
- h) EPA Method 8080: Organochlorine Pesticides and PCBs
- i) EPA Method 8082: Polychlorinated biphenyls (PCBs) by gas chromatography ([www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/pdfs/8082.pdf](http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/pdfs/8082.pdf))
- j) EPA Method 8275A: Semivolatile organic compounds (PAHs and PCBs) in soils/sludges and solid wastes using thermal extraction/gas chromatography/mass spectrometry (TE/GC/MS), EPA analytical chemistry guidance SW-846
- k) EPA Method 9078: Screening test method for polychlorinated biphenyls in soil ([www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/pdfs/9078.pdf](http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/pdfs/9078.pdf))
- l) EPA Method 9079: Screening test method for polychlorinated biphenyls in transformer oil ([www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/pdfs/9079.pdf](http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/pdfs/9079.pdf))
- m) ISO 6468 (1996) Water quality – Determination of certain organochlorine insecticides, polychlorinated biphenyls and chlorobenzenes – Gas chromatographic method after liquid-liquid extraction
- n) ISO 10382 (2002): Soil quality – Determination of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls – Gas-chromatographic method with electron capture detection
- o) JIS K 0093 (2002): Testing method for polychlorobiphenyl in industrial water and wastewater
- p) Methods for Examining Standards of General Wastes under Special Control and Industrial Waste under Special Control, Notice 192 of the Japan Ministry of Welfare and Labour, 3 July 1992
- q) NEN 7374 (2004): Leaching characteristics – Column test for the determination of the leaching of PAH, PCB, OCP and EOX, phenol and cresoles from granular materials - Solid earthy and stony materials
- r) Norm NBR N° 13882:1997: Electrical Insulating Liquids - Determination of PCB contents
- s) Norwegian Institute for Water Research method no. H 3-2: Determination of organochlorine compounds in sediments, water and biological material by gas chromatography
- t) NVN 7350 (1997): Leaching characteristics of solid earthy and stony building and waste materials – Leaching tests – Determination of the leaching of PAH, PCB and EOX from granular materials with the cascade test
- u) NVN 7376 (2004): Leaching characteristics – determination of the leaching of PAH, PCB, OCP and EOX, phenol and cresoles from building and monolithic waste materials with diffusion test – Solid earthy and stony materials

## 5. PCDD y PCDF

- a) EN 1948 (draft 2006): Stationary source emissions – determination of the mass concentration of PCDDs/PCDFs and dioxin-like PCBs. Part 1 Sampling, Part 2: Extraction and clean-up of PCDDs/PCDFs, Part 3: Identification and quantification of PCDDs/PCDFs, Part 4: Sampling and analysis of dioxin-like PCBs
- b) EN 1948 (1997): Stationary source emissions – determination of the mass concentration of PCDDs/PCDFs. Part 1 Sampling, Part 2: Extraction and clean-up, Part 3: Identification and quantification
- c) EPA Method 1613: Tetra-through Octa-Chlorinated Dioxins and Furans by Isotope Dilution HRGC/HRMS, October 1994, ([www.epa.gov/waterscience/methods/1613.pdf](http://www.epa.gov/waterscience/methods/1613.pdf))

- d) EPA Method 0023A: Sampling Method for Polychlorinated Dibenzo-*p*-Dioxins and Polychlorinated Dibenzofuran Emissions from Stationary Sources. Revision 1 December 1996 ([www.epa.gov/SW-846/pdfs/0023a.pdf](http://www.epa.gov/SW-846/pdfs/0023a.pdf))
- e) EPA Method 8290A: Polychlorinated Dibenzodioxins (PCDDs) and Polychlorinated Dibenzofurans (PCDFs) by High-Resolution Gas Chromatography/High-Resolution Mass Spectrometry (HRGC/HRMS), revision 1 January 1998
- f) EPA Method T09: Determination of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins (PCDDs) in ambient air using high-resolution mass spectrometry (HRGC/HRMS)
- g) EPA Method 8280A: The analysis of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and polychlorinated dibenzofurans by high resolution gas chromatography/low resolution mass spectrometry (HRGC/LRMS) (EPA analytical chemistry guidance SW-846)
- h) EPA Method 8290: Polychlorinated dibenzodioxins (PCDDs) and polychlorinated dibenzofurans (PCDFs) by high-resolution gas chromatography/high resolution mass spectrometry (HRGC/HRMS) (EPA analytical chemistry guidance SW-846)
- i) EPS (1990): A Method for the Analysis of Polychlorinated Dibenzo-*para*-Dioxins (PCDDs), Polychlorinated Dibenzofurans (PCDFs) and Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in Samples from the Incineration of PCB Waste. Reference Method 1/RM/2 and Reference Method 1/RM/3 (revised) May 1990
- j) ISO 18073 (2004): Water quality – Determination of tetra- to octa-chlorinated dioxins and furans – Method using isotope dilution HRGC/HRMS
- k) JIS K 0311 (1999): Method for determination of tetra- through octa-chlorodibenzo-*p*-dioxins, tetra- through octa-chlorodibenzofurans and coplanar polychlorobiphenyls in stationary source emissions
- l) JIS K 0312 (1999): Method for determination of tetra- through octa-chlorodibenzo-*p*-dioxins, tetra- through octa-chlorodibenzofurans and coplanar polychlorobiphenyls in industrial water and waste water
- m) Methods for Examining Standards of General Wastes under Special Control and Industrial Waste under Special Control (Notice 192 of the Japan Ministry of Welfare and Labour, July 3, 1992)

**6. Desechos sólidos, materiales en forma de partículas**

Nordtest: Method NT ENVIR 004; Solid Waste, Particulate Materials: Sampling, ISSN 1238-4445, 1996



## Anexo IV

### Economía de los métodos de destrucción y transformación irreversible

Cabe notar que la información que figura en los siguientes cuadros 1 y 2 tiene por objeto únicamente proporcionar una amplia referencia basada en las estimaciones de costos disponibles de los diferentes métodos de destrucción y transformación irreversible expuestos en las presentes directrices.

Esta información no es representativa, ya que los datos están influenciados por varios factores, por ejemplo, la escasez de datos, las diferentes fechas en que se estimaron los datos, las diversas monedas, las variaciones de los tipos de cambio de las monedas, los costos locales de la electricidad, la mano de obra y los materiales, así como la cantidad de desechos y el uso de la tecnología (teóricamente, el costo de la tecnología debería disminuir con el tiempo).

Se proporcionará información adicional en el informe “Inventario de la capacidad mundial de destrucción de PCB”. Se espera que la segunda edición se publique en un futuro próximo.

**Cuadro 1: Estimaciones de costos de los métodos de destrucción y transformación irreversible**

Métodos de destrucción y transformación irreversible	Estimaciones de costos	Origen
Reducción por metal alcalino <sup>1</sup>	i. aceites de transformador: 0,15 USD/L, 500GBP a 1000GBP/t, 1,06 CAD/L, 0,90 CAD/kg; y ii. aceites de desecho: 0,60 CAD/kg	Proveedores  UNEP, 2004b
Descomposición catalizada por bases (DCB) <sup>1</sup>	i. Varían los precios de las licencias; ii. Regalías operacionales: 5% - 10% de ingresos/ventas brutos; iii. Costos de capital (reactor para líquido CB de 9.462,5L): 800.000 USD a 1,4 millones USD; iv. Costos de funcionamiento: 728 USD a 1.772 USD según la concentración de COP.	Tomados en 2004 del sitio de la web de BCD Group Inc.
Declaración catalítica (DC)	No se dispone de datos	
Coincineración en horno rotatorio de cemento	No se dispone de datos	
Reducción química en base gaseosa (RQFG) <sup>2</sup>	i. 4.000 AUD a 6.000 AUD/t para plaguicidas sólidos organoclorados; ii. 4.000 AUD a 8.000 AUD/t para PCB y plaguicidas líquidos organoclorados; iii. 6.000 AUD a 11.000 AUD/t para condensadores contaminados con PCB	CMPS&F – Environment Australia, 1997
Incineración de desechos peligrosos	Véase el siguiente cuadro 2	
Reacción de declaración fotoquímica (DFQ) y reacción de declaración catalítica (DC)	Disponibles previa petición: i. Precios de la licencia ii. Regalías o costos operacionales	
Arco de plasma	Costo de capital <sup>1</sup> (unidad Plascon de 150 kW): 1 millón de USD, según la configuración. Costos de funcionamiento: menos de 3.000 AUD (incluida la mano de obra), normalmente oscilan entre 1.500 AUD y 2.000 AUD/t. Los costos dependen de factores tales como: i. Alimentación de desechos – estructura molecular, peso y concentración;	CMPS&F – Environment Australia, 1997; Rahuman et al., 2000; UNEP, 2004b

Métodos de destrucción y transformación irreversible	Estimaciones de costos	Origen
	ii. Costos de la energía eléctrica; iii. Costos del argón y del oxígeno; iv. Ubicación geográfica y cuestiones específicas del emplazamiento; v. Costos de los productos cáusticos; y vi. Límites de emisión exigidos	
Método del terc-Butoxido de potasio (t-BuOK)	No se dispone de datos	
Oxidación en agua supercrítica (OASC) y oxidación en agua subcrítica	Costos: 120 USD a 140 USD/t seca <sup>3</sup>	CMPS&F – Environment Australia, 1997

1. No está claro si en estas estimaciones se incluyen los costos potenciales que supone el tratamiento previo y/o la eliminación de residuos.

2. No está claro si las cifras incluyen los costos que supone el tratamiento previo de los desechos sólidos.

3. Suponiendo que se ha registrado cierto tratamiento previo. No está claro si esta estimación incluye los costos de capital o costos debidos a la eliminación de los residuos.

**Cuadro 2: Incineración de desechos peligrosos (para un incinerador que trate 70.000 toneladas anuales)**

	Costos de inversión (millones de euros)*	
	2004 <sup>a</sup>	1999 <sup>b</sup>
Tiempo de construcción	3	6,5
Trabajos eléctricos	10	20
Trabajos de infraestructura	6	12,5
Piezas de máquinas	16	32,5
Otros componentes	14	27,5
Planificación/aprobación	3	6
<b>Total costos de inversión</b>	<b>52</b>	<b>105</b>
Costos operacionales (millones de euros)		
Administración	0,3	0,5
Costos de financiación de capital	5	10,5
Mantenimiento	4	4
Recursos/energía operacionales	1,3	2,5
Otros costos	0,3	0,5
Personal	3	5,5
Eliminación de desechos	0,8	1,5
<b>Total costos operacionales</b>	<b>14,7</b>	<b>25</b>
<i>Costos por tonelada incinerada (sin ingresos)</i>	<i>200–300</i>	<i>350</i>

Se ha determinado que las tasas de salida de los incineradores de desechos en Europa oscilan entre 50 y 1.500 euros (Origen: Comisión Europea 2004).

\*Notas:

<sup>a</sup> Origen de las cifras de la primera columna: Comisión Europea, 2004.

<sup>b</sup> Origen de las cifras de la segunda columna: Valores medios de los costos específicos de incineración de desechos municipales y peligrosos (1999), VDI 3460: Control de emisiones del tratamiento térmico de desechos, Alemania, marzo de 2002.

## Anexo V

### Bibliografía

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological Profile Information Sheets. Se puede consultar en [www.atsdr.cdc.gov](http://www.atsdr.cdc.gov)
- Ariizumi, A.; Otsuka, T.; Kamiyama, M.; Hosomi, M., 1997, *Dechlorination and decomposition behaviour of PCBs by the sodium dispersion process*. J. Environ. Chem., 7, pages 793–799
- Australia Department of the Environment and Heritage, 2000. A Case Study of Problem Solving Through Effective Community Consultation. Se puede consultar en [www.deh.gov.au/industry/chemicals/scheduled-waste/community-consultation.html](http://www.deh.gov.au/industry/chemicals/scheduled-waste/community-consultation.html)
- Buttker, B., et al.: Full scale industrial recovery trials of shredder residue in a high temperature slagging-bed-gasifier in Germany. Sekundärrohstoff-Verwertungszentrum Schwarze Pumpe (SVZ), Technologie-Entwicklungs-GmbH für ökoefiziente Polymerverwertung (Tecpol), Association of Plastics Manufacturers (PlasticsEurope), 2005 ([www.tecpol.de/downloads/SVZ\\_TECPOL\\_REPORT\\_E.pdf](http://www.tecpol.de/downloads/SVZ_TECPOL_REPORT_E.pdf)).
- Buttker, B., et. al.: Stoffliche Verwertung kunststoffreicher Abfälle im Sustec Verwertungszentrum Schwarze Pumpe (SVZ), Technical lecture given at the VDI/DECHEMA-meeting, Neumünster 2006.
- Canadian Council of Ministers of the Environment, 1997. Guidance Document on the Management of Contaminated Sites in Canada. Se puede consultar en [www.ccme.ca](http://www.ccme.ca)
- Canadian Council of Ministers of the Environment, 2002. Canadian Environmental Quality Guidelines. Se puede consultar en [www.ccme.ca](http://www.ccme.ca)
- CEPE, 2003a. Recomendaciones relativas al transporte de mercancías peligrosas (Reglamentación Modelo). Se puede consultar en [www.unece.org](http://www.unece.org)
- CEPE, 2003b. Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA). Se puede consultar en [www.unece.org](http://www.unece.org)
- CMPS&F – Environment Australia, 1997. *Appropriate Technologies for the Treatment of Scheduled Wastes Review Report Number 4*. Se puede consultar en [www.deh.gov.au](http://www.deh.gov.au)
- Comisión Europea, 2001. Reference Document on Best Available Techniques in the Cement and Lime Manufacturing Industries. Se puede consultar en <http://europa.eu.int/comm/environment/ipcc/>
- Comisión Europea, 2001. Reference Document on Best Available Techniques in the Cement and Lime Manufacturing Industries. Se puede consultar en <http://europa.eu.int/comm/environment/ipcc/>
- Comisión Europea, 2001a. Reference Document on Best Available Techniques in the Non Ferrous Metals Industry. Se puede consultar en <http://europa.eu.int/comm/environment/ipcc/>
- Comisión Europea, 2001b. Reference Document on Best Available Techniques on the Production of Iron and Steel. Se puede consultar en <http://europa.eu.int/comm/environment/ipcc/>
- Comisión Europea, 2003. *Reference Document on the General Principles of Monitoring, July 2003*. Se puede consultar en <http://europa.eu.int/comm/environment/ipcc/>.
- Comisión Europea, 2004. Draft Reference Document on Best Available Techniques for Waste Incineration, March, 2004. Se puede consultar en <http://europa.eu.int/comm/environment/ipcc/>.
- Convenio de Basilea, 1994. *Documento marco sobre la preparación de directrices técnicas para el manejo ambientalmente racional de los desechos sujetos al Convenio de Basilea*. Document no. 94/005. Secretaría del Convenio de Basilea, Ginebra
- Costner, P., D. Luscombe and M. Simpson, 1998. Technical Criteria for the Destruction of Stockpiled Persistent Organic Pollutants. Greenpeace International Service Unit
- EPA, 1993. Technology Alternatives for the Remediation of PCB-Contaminated Soil and Sediment. Se puede consultar en [www.epa.gov](http://www.epa.gov)
- EPA, 2000. The Bioremediation and Phytoremediation of Pesticide-contaminated Sites. Se puede consultar en [www.epa.gov](http://www.epa.gov)
- EPA, 2002. RCRA Waste Sampling Draft Technical Guidance. Se puede consultar en [www.epa.gov](http://www.epa.gov)

- FAO, 1996. *Pesticide Storage and Stock Control Manual. No.3*. Se puede consultar en [www.fao.org](http://www.fao.org)
- FAO, 2000. *Assessing Soil Contamination: a Reference Manual No. 8*. Se puede consultar en [www.fao.org](http://www.fao.org)
- FAO, 2001. Training manual on inventory taking of obsolete pesticides, Series No 10 and reference No X9899. Se puede consultar en [www.fao.org](http://www.fao.org)
- FRTR, 2002. *Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide, Version 4.0*. Se puede consultar en [www.frtr.gov/matrix2/top\\_page.html](http://www.frtr.gov/matrix2/top_page.html)
- IPCS INCHEM, no date. Health and Safety Guide (HGSs). Se puede consultar en [www.inchem.org](http://www.inchem.org)
- Japan Industrial Waste Management Foundation, 1999: Technical Guideline for Treatment of PCBs
- Karstensen, K.H., 2001. Disposal of obsolete pesticides in cement kilns in developing countries. Lessons learned – How to proceed. *6<sup>th</sup> International HCH & Pesticides Forum Book*, 20-22 March 2001, Poznan, Poland, November 2001.
- Kümmling, K., D.J. Gray, J. P. Power and S. E. Woodland, 2001 Gas-phase chemical reduction of hexachlorobenzene and other chlorinated compounds: Waste treatment experience and applications. *6<sup>th</sup> International HCH & Pesticides Forum Book*, 20-22 March 2001, Poznan, Polonia, noviembre de 2001.
- Ministry of the Environment of Japan, 2004. Report on study of the treatment standards for POPs waste in fiscal year 2003.
- Noma Y., Sakai. S., Oono M., 2002, *Dechlorination pathways of PCBs by photochemical reaction and catalytic hydro-dechlorination*. *Organohalogen Compd.* 56, pages 413–416
- Noma Y., Sakai. S., Oono M., 2003, *Dechlorination pathways and kinetics in photochemical reaction and catalytic hydro-dechlorination*. *Organohalogen Compd.* 63, pages 276–279
- Noma Y., Sakai. S., Oono M., 2003, *Pathways for the degradation of PCBs by palladium-catalyzed dechlorination, Fresenius Environ. Bull.* 12, 3, pages 302–308
- OCDE, various years. Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos Series on Principles of Good Laboratory Practise and Compliance Monitoring (various volumen). OCDE Principles on Good Laboratory Practice (as revised 1997-1999), OECD, Available at [www.oecd.org/ehs/](http://www.oecd.org/ehs/)
- OCDE, 2001. Harmonised Integrated Classification System for Human Health and Environmental Hazards of Chemical Substances and Mixtures. Se puede consultar en [www.oecd.org](http://www.oecd.org)
- OCDE, 2003. *Guiding Principles for Chemical Accident Prevention, Preparedness and Response, Second Edition*. Se puede consultar en [www.oecd.org](http://www.oecd.org)
- OCDE, 2004. Recommendation of the Council on the Environmentally Sound Management (ESM) of Waste C(2004)100. Adopted June 9, 2004. Se puede consultar en [www.oecd.org](http://www.oecd.org)
- OIT, 1999a. Basics of Chemical Safety. Se puede consultar en [www.ilo.org](http://www.ilo.org)
- OIT, 1999b. Safety in the use of chemicals at work: Code of Practice. Se puede consultar en [www.ilo.org](http://www.ilo.org)
- OMI, 2002. Código Internacional Marítimo de Mercancías Peligrosas. Se puede consultar en [www.imo.org](http://www.imo.org)
- OMS, 1995. Global Strategy on Occupational Health for All. The Way to Health at Work. Se puede consultar en [www.who.int](http://www.who.int)
- OMS, Programa internacional de seguridad de las sustancias químicas, 1995. A Review of the Persistent Organic Pollutants -- An Assessment Report on: DDT, Aldrin, Dieldrin, Endrin, Chlordane, Heptachlor, Hexachlorobenzene, Mirex, Toxaphene, Polychlorinated Biphenyls, Dioxins and Furans. Se puede consultar en [www.pops.int](http://www.pops.int)
- OMS, 1999. Teacher's guide on basic environmental health. Se puede consultar en [www.who.int](http://www.who.int)
- Oono M. Kaneda M., and Hirata Y., 1997, *Destruction of PCBs by reaction with potassium tert-butoxide*, *Organohalogen Compd.* 31, pages 415–419
- Oono M. and Kaneda M., 1997, *Complete destruction of PCBs by a catalytic hydrogenation and t-BuOK method in a bench scale plant*, *Organohalogen Compd.* 31, pages 405–409

- Organismo Danés de Protección del Medio Ambiente, 2004. Detailed review of selected non-incineration and incineration POPs Elimination Technologies for the CEE Region. Se puede consultar en [www.mst.dk/publications/](http://www.mst.dk/publications/)
- Piersol, P. 1989. *The Evaluation of Mobile and Stationary Facilities for the Destruction of PCBs*. Environment Canada Report EPS 3/HA/5, May 1989.
- PNUMA, 1993. Storage of Hazardous Materials: A Technical Guide for Safe Warehousing of Hazardous Materials. Se puede consultar en [www.uneptie.org](http://www.uneptie.org)
- PNUMA, 1994. Guidance Document on the Preparation of Technical Guidelines for the Environmentally Sound Management of Wastes Subject to the Basel Convention. Se puede consultar en [www.basel.int](http://www.basel.int)
- PNUMA, 1995a. Model National Legislation on the Management of Hazardous Wastes and Other Wastes as well as on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Other Wastes and their Disposal. Se puede consultar en [www.basel.int](http://www.basel.int)
- PNUMA, 1995b. Basel Convention: Manual for Implementation. Se puede consultar en [www.basel.int](http://www.basel.int)
- PNUMA, 1995c. Technical Guidelines on Incineration on Land (D10). Se puede consultar en [www.basel.int](http://www.basel.int)
- PNUMA, 1995d. Technical Guidelines on Specially Engineered Landfill (D5). Se puede consultar en [www.basel.int](http://www.basel.int)
- PNUMA, 1998a. Basel Convention: Guide to the Control System. Se puede consultar en [www.basel.int](http://www.basel.int)
- PNUMA, 1998b. Inventory of World-Wide PCB Destruction Capacity. Se puede consultar en [www.chem.unep.ch](http://www.chem.unep.ch)
- PNUMA, 2000a. Methodological Guide for the Undertaking of National Inventories of Hazardous Wastes Within the Framework of the Basel Convention. Se puede consultar en [www.basel.int](http://www.basel.int)
- PNUMA, 2000b. Survey of Currently Available Non-Incineration PCB Destruction Technologies. Se puede consultar en [www.chem.unep.ch](http://www.chem.unep.ch)
- PNUMA, 2001. Guía Metodológica para realizar inventarios nacionales de desechos peligrosos en el marco del Convenio de Basilea. Se puede consultar en [www.basel.int](http://www.basel.int)
- PNUMA, 2003. Orientaciones provisionales para elaborar un plan de aplicación nacional del Convenio de Estocolmo. Se puede consultar en [www.pops.int](http://www.pops.int)
- PNUMA, 2004a. Directrices para el Programa de Vigilancia Mundial de contaminantes orgánicos persistentes. Primera edición, junio de 2004, División de Productos Químicos del PNUMA. Se puede consultar en [www.chem.unep.ch/gmn/GuidanceGPM.pdf](http://www.chem.unep.ch/gmn/GuidanceGPM.pdf)
- PNUMA, 2004b. Review of the Emerging, Innovative Technologies for the Destruction and Decontamination of POPs and the Identification of Promising Technologies for Use in Developing Countries. Se puede consultar en [www.unep.org/stapgef](http://www.unep.org/stapgef)
- PNUMA, 2005: Proyecto del PNUMA/FMAM sobre capacidad existente y necesidades de creación de la capacidad para analizar COP en los países en desarrollo. Se puede consultar en [www.chem.unep.ch/pops/laboratory/default.htm](http://www.chem.unep.ch/pops/laboratory/default.htm)
- PNUMA, 2006a. Proyecto de Directrices sobre Mejores Técnicas Disponibles y orientación provisional sobre Mejores Prácticas Ambientales. Se puede consultar en [www.pops.int](http://www.pops.int)
- PNUMA, 2006b. Draft Guidance for Analysis of Persistent Organic Pollutants (POPS). Se puede consultar en [www.chem.unep.ch/pops/laboratory/default.htm](http://www.chem.unep.ch/pops/laboratory/default.htm).
- Programa de Acción Mundial para la protección del medio marino frente a las actividades realizadas en tierra. Mecanismo de intercambio de información del PAM. Se puede consultar en <http://pops.gpa.unep.org>
- Rahuman, M.S.M. Mujeebur; L.Pistone; F. Trifirò and S. Miertu, 2000. Destruction Technologies for Polychlorinated Biphenyls (PCBs). Se puede consultar en [www.unido.org](http://www.unido.org)
- Ray, I. D., 2001. Management of chlorinated wastes in Australia. *6<sup>th</sup> International HCH & Pesticides Forum Book*, 20-22 March 2001, Poznan, Poland, November 2001.

- Sakai S., Peter. A. B., Oono M. 2001. *PCB destruction by catalytic hydrodechlorination (CHD) and t-BuOK method: Combinatorial bio/chemical analysis*. Organohalogen Compd. 54, pages 293–296
- Sasaki Satoshi, A. Masaaki, A. Watanabe, O. Nishida, H. Fujita, W. Harano, S. Nagata, H. Mimura. 2003. *Dioxin formation and PCB Emissions in a Pool Combustion of a PCB Mixed oil – Simulation of Fires in PCB Degradation Facilities*. Organohalogen Compounds, 63, pages 171–175
- Stobiecki, S., J. Cieszkowski, A. Silowiecki and T. Stobiecki. Disposal of pesticides as an alternative fuel in cement kiln: project outline. *6<sup>th</sup> International HCH & Pesticides Forum Book*, 20-22 March 2001, Poznan, Poland, November 2001.
- Takigami H., Sakai S., and Oono M., 2002, *Validation study for practical bio-monitoring of waste PCB samples during their destruction treatment using DR-CALUX assay and PCB immunoassay*, Organohalogen Compd. 58, pages 397–400
- Takigami H., Sakai S., and Oono M., 2002, *Practical CALUX-monitoring of PCB wastes during their chemical treatments*, Organohalogen Compd. 58, pages 397–400
- United States Army Corps of Engineers, 2003. Safety and Health Aspects of HTRW Remediation Technologies. Se puede consultar en [www.usace.army.mil](http://www.usace.army.mil)
- Vijgen, J., 2002. NATO/CCMS Pilot Study: Evaluation of Demonstrated and Emerging Technologies for the Treatment of Contaminated Land and Groundwater. Se puede consultar en [www.unep.org/stapgef](http://www.unep.org/stapgef)
- Watanabe Atsuo, A. Ohara, and N. Tajima 2002. *Basic Analysis on Severe Accident for Chemical PCB Detoxification Plant using the UV/Catalyst Method*. Journal of Chemical Engineering of Japan, 35, pages 729–736
- Watanabe Atsuo, A. Ohara, N. Tarima, S. Yoneki, and Y. Hosoya, 2003. *PSA application for PCBs detoxification plant*. Journal of Material Cycle and Waste Management, 5, No. 1 pages 39–48
- Weber, Roland, 2004. Relevance of PCDD/PCDF Formation for the Evaluation of POPs Destruction Technologies – Necessity and Current Status. Organohalogen Compd. 66: 1282-1288.
-