



Distr. general
29 de junio de 2017

Español
Original: inglés

Conferencia de las Partes en el Convenio de Basilea sobre el control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación
13ª reunión

Ginebra, 24 de abril a 5 de mayo de 2017
Tema 4 b) i) del programa

Cuestiones relacionadas con la aplicación del Convenio:
asuntos científicos y técnicos: directrices técnicas

Directrices técnicas

Adición

Directrices técnicas generales sobre el manejo ambientalmente racional de los desechos consistentes en contaminantes orgánicos persistentes, que los contengan o estén contaminados con ellos

Nota de la Secretaría

En su 13ª reunión, la Conferencia de las Partes en el Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación aprobó, mediante su decisión BC-13/4 sobre las directrices técnicas para la gestión ambientalmente racional de los desechos consistentes en contaminantes orgánicos persistentes, que los contengan o estén contaminados con ellos, las directrices técnicas generales sobre el manejo ambientalmente racional de los desechos consistentes en contaminantes orgánicos persistentes, que los contengan o estén contaminados con ellos, sobre la base del proyecto de directrices técnicas contenido en el documento UNEP/CHW.13/6/Add.1. Las directrices técnicas a que se hace referencia anteriormente fueron elaboradas por el Canadá, en consulta con el pequeño grupo de trabajo entre reuniones sobre la elaboración de las directrices técnicas sobre desechos consistentes en contaminantes orgánicos persistentes, y teniendo en consideración las observaciones recibidas de las Partes y otras entidades, así como las observaciones formuladas en la décima reunión del Grupo de Trabajo de composición abierta del Convenio de Basilea. Las directrices técnicas volvieron a revisarse el 6 de marzo de 2017, teniendo en consideración las observaciones recibidas de las Partes y otras entidades hasta el 28 de febrero de 2017, así como los resultados de la reunión presencial del pequeño grupo de trabajo entre reuniones sobre la elaboración de las directrices técnicas relativas a los desechos consistentes en contaminantes orgánicos persistentes, celebrada del 20 al 22 de febrero de 2017 en Bonn, Alemania (véase el documento UNEP/CHW.13/INF/60). El texto de la versión final de las directrices técnicas, tal como fue aprobado, figura en el anexo de la presente nota, la cual, incluido su anexo, no ha sido editada formalmente.

Anexo

Directrices técnicas generales sobre el manejo ambientalmente racional de los desechos consistentes en contaminantes orgánicos persistentes, que los contengan o estén contaminados con ellos

Versión final revisada (5 de mayo de 2017)

Índice

Abreviaturas y siglas	5
Unidades de medida.....	5
I. Introducción.....	6
A. Ámbito de aplicación	6
B. Generalidades de los COP y de los desechos COP	8
II. Disposiciones pertinentes de los Convenios de Basilea y Estocolmo	9
A. Convenio de Basilea	9
1. Disposiciones generales.....	9
2. Disposiciones relacionadas con los COP.....	10
B. Convenio de Estocolmo	11
1. Disposiciones generales.....	11
2. Disposiciones relacionadas con los desechos	11
III. Cuestiones previstas en el Convenio de Estocolmo que deberán abordarse en cooperación con el Convenio de Basilea	13
A. Bajo contenido de COP.....	13
B. Niveles de destrucción y transformación irreversible	15
C. Métodos que constituyen una eliminación ambientalmente racional.....	15
IV. Orientación sobre la gestión ambientalmente racional	16
A. Consideraciones generales	16
B. Marco legislativo y reglamentario	17
1. Fechas para la eliminación de la producción y el uso de los COP.....	17
2. Requisitos relativos a los movimientos transfronterizos	17
3. Especificaciones para contenedores, equipo, contenedores a granel y lugares de almacenamientos que contengan COP.....	18
4. Salud y seguridad	18
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.....	19
7. Necesidad general de participación del público	19
8. Lugares contaminados	19
9. Otros controles legislativos	19
C. Prevención y minimización de los desechos	19
D. Determinación de los desechos	20
1. Consideraciones generales.....	20
2. Inventarios	22
E. Muestreo, análisis y vigilancia.....	22
1. Muestreo.....	23
2. Análisis.....	24
3. Vigilancia	26
F. Manipulación, recolección, embalaje, etiquetado, transporte y almacenamiento	27
1. Manipulación.....	28
2. Recolección	28
3. Embalaje.....	29
4. Etiquetado.....	29
5. Transporte.....	30
6. Almacenamiento.....	30

G.	Eliminación ambientalmente racional.....	31
1.	Tratamiento previo	31
a)	Adsorción y absorción	32
b)	Batido.....	32
c)	Desorción	32
d)	Extracción de agua.....	32
e)	Desmantelamiento/desmontaje	32
f)	Disolución	32
g)	Destilación	33
h)	Secado.....	33
i)	Separación mecánica.....	33
j)	Filtración por membranas	33
k)	Mezcla.....	33
l)	Separación del agua y el aceite	33
m)	Ajuste del pH	33
n)	Sedimentación	33
o)	Reducción del tamaño.....	33
p)	Depuración con disolventes	34
q)	Estabilización y solidificación	34
r)	Gasificación	34
s)	Reducción del volumen.....	34
2.	Métodos de destrucción y transformación irreversible.....	34
a)	Reducción de metales alcalinos	36
b)	Incineración avanzada de desechos sólidos	37
c)	Descomposición catalizada por bases	39
d)	Hidrodecloración catalítica	41
e)	Coincineración en hornos de cemento	42
f)	Reducción química en fase gaseosa	44
g)	Incineración de desechos peligrosos	46
h)	Arco de plasma	47
i)	Método de descomposición por fusión del plasma	49
j)	Oxidación en agua supercrítica y oxidación en agua subcrítica	49
k)	Producción térmica y metalúrgica de metales	51
3.	Otros métodos de eliminación cuando la opción ambientalmente preferible no es la destrucción ni la transformación irreversible	53
a)	Vertedero de relleno.....	54
b)	Almacenamiento permanente en minas y formaciones subterráneas	54
4.	Otros métodos de eliminación cuando el contenido de COP es bajo.....	55
H.	Descontaminación de lugares contaminados	55
1.	Detección de lugares contaminados.....	55
2.	Descontaminación ambientalmente racional	56
I.	Salud y seguridad.....	57
1.	Situaciones de mayor riesgo	57
2.	Situaciones de menor riesgo	58
J.	Cómo actuar en situaciones de emergencia	59
K.	Participación del público.....	60
	Annex I: International instruments.....	61
	Annex II: Examples of pertinent national legislation	62
	Annex III: Bibliography	65

Abreviaturas y siglas

AOAC	Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (Estados Unidos de América)
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CENELEC	Comité Europeo de Normalización Electrotécnica
CEPE	Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas
CFC	clorofluorocarbonos
COP	contaminante orgánico persistente
DDT	1,1,1-tricloro-2,2-bis(4-clorofenil)etano (diclorodifeniltricloroetano)
ED	eficacia de la destrucción
EED	eficacia de eliminación de la destrucción
EPA	Agencia para la Protección del Medio Ambiente (Estados Unidos de América)
EQT	Equivalencia de toxicidad
ESWI	<i>Expert Team to Support Waste Implementation</i>
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FMAM	Fondo para el Medio Ambiente Mundial
FRTR	<i>Federal Remediation Technologies Roundtable</i> (Estados Unidos de América)
FRX	fluorescencia de rayos X
GEMS	Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente
HBB	hexabromobifenilo
HBCD	hexabromociclododecano
HCB	hexaclorobenceno
HCBD	hexaclorobutadieno
HCH	hexaclorociclohexano
IATA	Asociación de Transporte Aéreo Internacional
IPCS	Programa Internacional sobre Seguridad de las Sustancias Químicas
ISO	Organización Internacional de Normalización
JESCO	<i>Japan Environmental Storage & Safety Corporation</i>
OACI	Organización de Aviación Civil Internacional
OCDE	Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos
OIT	Organización Internacional del Trabajo
OMI	Organización Marítima Internacional
OMS	Organización Mundial de la Salud
PBB	bifenilos polibromados
PCB	bifenilos policlorados
PCD	decoloración fotoquímica
PCDD	dibenzoparadioxinas policloradas
PCDF	dibenzofuranos policlorados
PCP	pentaclorofenol
PCT	terfenilo policlorado
Pd/C	paladio sobre carbono
PeCB	pentaclorobenceno
PFOS	ácido sulfónico de perfluorooctano
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
SGA	Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos
TEAP	<i>Technology and Economic Assessment Panel</i> (del Protocolo de Montreal)
UE	Unión Europea

Unidades de medida

µg/kg	microgramo(s) por kilogramo. Corresponde a partes por mil millones (ppb) en masa.
mg/kg	miligramo(s) por kilogramo. Corresponde a partes por millón (ppm) en masa.
ng	nanogramo
mg	miligramo
kg	kilogramo
Mg	megagramo (1.000 kg o 1 tonelada)
ms	milisegundo
Nm ³	metro cúbico normal; se refiere a gas seco, 101,3 kPa y 273,15 K
kW	kilovatio
kWh	kilovatio-hora
MJ	megajulio

I. Introducción

A. Ámbito de aplicación

1. Las presentes directrices técnicas generales imparten orientación sobre el manejo ambientalmente racional de los desechos consistentes en contaminantes orgánicos persistentes, que los contengan o estén contaminados con ellos (en adelante, “desechos de COP”), de conformidad con diferentes decisiones adoptadas por acuerdos ambientales multilaterales sobre productos químicos y desechos.¹ El presente documento sustituye a las *Directrices técnicas generales actualizadas para el manejo ambientalmente racional de desechos consistentes en contaminantes orgánicos persistentes (COP), que los contengan o estén contaminados con ellos*, de mayo de 2015.
2. Las presentes directrices técnicas son un documento “general” y se deben utilizar junto con las directrices técnicas específicas sobre desechos consistentes en los siguientes contaminantes orgánicos persistentes, que los contengan o estén contaminados con ellos:
 - a) Bifenilos policlorados, naftalenos policlorados (PCN) y hexabromobifenilo, estas directrices técnicas abarcan también los terfenilos policlorados y los bifenilos polibromados, con excepción del HBB, que están incluidos en el Convenio de Basilea, pero no son COP sujetos al Convenio de Estocolmo (Directrices técnicas sobre los bifenilos policlorados) (PNUMA, 2017a);
 - b) Los plaguicidas aldrina, alfa hexaclorociclohexano, beta hexaclorociclohexano, clordano, clordecona, dieldrina, endrina, heptacloro, hexaclorobenceno (HCB), hexaclorobutadieno, lindano, mirex, pentaclorobenceno (PeCB), pentaclorofenol y sus sales, ácido sulfónico de perfluorooctano, endosulfán técnico y sus isómeros conexos o toxafeno o hexaclorobenceno como producto químico industrial que son COP (PNUMA, 2017b);
 - c) 1,1,1-tricloro-2,2-bis(4-clorofenil)etano (DDT) (directrices técnicas sobre el DDT), (PNUMA, 2006a);
 - d) Dibenzoparadioxinas policloradas (PCDD), dibenzofuranos policlorados (PCDF), hexaclorobenceno (HCB), PCB, PeCB y PCN producidos de forma no intencional (directrices técnicas sobre los COP no intencionales) (PNUMA, 2017c);
 - e) Éter de hexabromodifenilo (hexaBDE) y éter de heptabromodifenilo (heptaBDE) o éter de tetrabromodifenilo (tetraBDE) y éter de pentabromodifenilo (pentaBDE) (directrices técnicas sobre los BDE que son COP) (PNUMA, 2015b);
 - f) Hexabromociclododecano (HBCD) (directrices técnicas sobre el HBCD) (PNUMA, 2015c);
 - g) Ácido sulfónico de perfluorooctano (PFOS), sus sales y fluoruro de perfluorooctano sulfonilo (PFOSF) u otras sustancias que guardan relación con el PFOS y son sus precursoras (directrices técnicas sobre el PFOS) (PNUMA, 2015d).
 - h) Hexaclorobutadieno (HCBd) (Directrices técnicas sobre el HCBd), (PNUMA, 2017d); e
 - i) Pentaclorofenol (PCP) y sus sales y ésteres (directrices técnicas sobre el PCP) (PNUMA, 2017e).
3. La finalidad de las directrices técnicas generales es:
 - a) Impartir orientación general y común sobre el manejo ambientalmente racional de desechos de COP; y

¹ Decisiones de la Conferencia de las Partes en el Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de Desechos Peligrosos y su Eliminación IV/17, V/26, VI/23, VII/13, VIII/16, IX/16, BC-10/9, BC-11/3, BC-12/3 y BC-13/4; decisiones del Grupo de Trabajo de composición abierta del Convenio de Basilea I/4, II/10, III/8, IV/11, V/12, VI/5, VII/8, OEWG-8/5, OEWG-9/3 y OEWG-10/4; resolución 5 de la Conferencia de Plenipotenciarios del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes; decisiones del Comité Intergubernamental de Negociación de un instrumento internacional jurídicamente vinculante para la aplicación de medidas internacionales respecto de ciertos contaminantes orgánicos persistentes INC-6/5, INC-7/6 y decisiones de la Conferencia de las Partes en el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes SC-1/2, SC-2/6, SC-3/7, SC-4/10 a 18, SC-5/3, SC-6/13, SC-7/12, SC-7/13 y SC-7/14.

b) Aplicar las disposiciones estipuladas en el párrafo 2 del artículo 6 del Convenio de Estocolmo (véase la subsección II.B.2 de las presentes directrices relativas a las cláusulas del Convenio de Estocolmo sobre desechos) sobre:

- i) Los niveles de destrucción y transformación irreversible;
- ii) Los métodos que se consideren como eliminación ecológicamente racional; y
- iii) los niveles de las concentraciones que definen el bajo contenido de COP.

4. En las directrices también se imparte orientación sobre la reducción o eliminación de las liberaciones de COP al medio ambiente a partir de procesos de eliminación y tratamiento de desechos. Las consideraciones relativas a la eliminación ecológicamente racional de desechos de COP analizadas en estas directrices son opciones de tratamiento previo, ya que este puede ser importante a la hora de determinar un método de eliminación.

5. Cabe señalar que en el Convenio de Estocolmo se proporciona orientación sobre las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales en lo relativo a la prevención o reducción al mínimo de la formación y liberación no intencionales de COP resultantes de las fuentes antropogénicas enumeradas en el anexo C del Convenio de Estocolmo. Las directrices sobre las mejores técnicas disponibles y la orientación provisional sobre las mejores prácticas ambientales relativas al artículo 5 y al anexo C del Convenio de Estocolmo, fueron aprobadas por la Conferencia de las Partes en el Convenio en su tercera reunión celebrada en 2007.

6. En el cuadro 1 se indica las directrices técnicas específicas de los COP que abordan cada uno de los 26 COP incluidos en los anexos A, B o C del Convenio de Estocolmo.

Cuadro 1: COP incluidos en los anexos A, B o C del Convenio de Estocolmo, examinados en directrices técnicas específicas del Convenio de Basilea

Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes	Directrices técnicas sobre COP del Convenio de Basilea								
	Directrices técnicas generales								
	Directrices técnicas sobre los PCB	Directrices técnicas sobre los plaguicidas	Directrices técnicas sobre el DDT	Directrices técnicas sobre COP de producción no intencional	Directrices técnicas sobre los BDE que son COP	Directrices técnicas sobre el HBCD	Directrices técnicas sobre el PFOS	Directrices técnicas sobre el HCBD	Directrices técnicas sobre el PCP
1,1,1-tricloro-2,2-bis(4-clorofenol)etano (DDT)			x						
Ácido sulfónico de perfluorooctano (PFOS), sus sales y fluoruro sulfonilo de perfluorooctano (PFOSF)		x					x		
Aldrina		x							
Alfa hexaclorociclohexano (alfa-HCH)		x							
Beta hexaclorociclohexano (beta-HCH)		x							
Bifenilos policlorados (PCB)	x			x					
Clordano		x							
Clordecona		x							
Dibenzofuranos policlorados (PCDF)				x					
Dibenzoparadioxinas policloradas (PCDD)				x					
Dieldrina		x							
Endosulfán técnico y sus isómeros conexos		x							

Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes	Directrices técnicas sobre COP del Convenio de Basilea								
	Directrices técnicas generales								
	Directrices técnicas sobre los PCB	Directrices técnicas sobre los plaguicidas	Directrices técnicas sobre el DDT	Directrices técnicas sobre COP de producción no intencional	Directrices técnicas sobre los BDE que son COP	Directrices técnicas sobre el HBCD	Directrices técnicas sobre el PFOS	Directrices técnicas sobre el HCB	Directrices técnicas sobre el PCP
Endrina		x							
Éter de hexabromodifenilo (hexaBDE) y éter de heptabromodifenilo (heptaBDE)					x				
Éter de tetrabromodifenilo (tetraBDE) y éter de pentabromodifenilo (pentaBDE)					x				
Heptacloro		x							
Hexabromobifenilo (HBB)	x								
Hexabromociclododecano (HBCD)						x			
Hexaclorobenceno (HCB)		x		x					
Hexaclorobutadieno		x						x	
Lindano		x							
Mirex		x							
Naftalenos policlorados (PCN)	x			x					
Pentaclorobenceno (PeCB)		x		x					
Pentaclorofenol (PCP) y sus sales y ésteres		x							x
Toxafeno		x							

B. Generalidades de los COP2 y de los desechos de COP

7. Muchos de los COP que abundan son de origen antropógeno. En el caso de algunos COP, como el HCB, los PCN, el PeCB, el PCDD y el PCDF, incluidos en el anexo C del Convenio de Estocolmo, se generan algunas cantidades de forma no intencional que son liberadas a partir de fuentes antropógenas. Las características de los COP (toxicidad, persistencia y bioacumulación), su potencial de transporte a larga distancia y su ubicuidad en el medio ambiente, en particular en los ecosistemas y en los seres humanos, fueron el móvil para el Convenio de Estocolmo.

8. Los contaminantes orgánicos persistentes se utilizan o se han utilizado en los procesos industriales, en productos y en artículos. Debido a sus características, los COP incluidos en los anexos del Convenio de Estocolmo requieren gestionarse de manera que se evite su entrada en el medio ambiente. Si bien se necesitan medidas para abordar los COP que se han incluido recientemente en los anexos, es igualmente importante continuar la gestión de los otros COP y evitar su perpetuación (Weber *et al.*, 2015).

9. Es importante reconocer que incluso cuando los COP se gestionen adecuadamente para “cerrar el grió” al inicio del ciclo de vida de los COP, es necesario realizar esfuerzos continuados en la gestión de

² Se puede obtener información adicional sobre las características de los COP de varias fuentes como la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (Estados Unidos de América), 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 (1995) de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

desechos ya que los COP pueden perdurar en los productos y en las corrientes de desechos durante muchas décadas. Además, la gestión incorrecta de desechos que son contaminantes orgánicos persistentes puede dar lugar a la liberación de COP en el medio ambiente. Asimismo, algunas tecnologías de eliminación pueden propiciar la formación y liberación no intencional de COP.

10. La reciente inclusión en el Convenio de Estocolmo de productos químicos, como los PBDE que son COP, PFOS y HBCD, ha hecho que se preste atención al uso de contaminantes orgánicos persistentes en productos y artículos, incluyendo los artículos y productos de consumo. El manejo de esos productos y artículos cuando se convierten en desechos ha planteado nuevos retos a las Partes y a las entidades interesadas en la tarea de definir estrategias y enfoques para su gestión ambientalmente racional y en los esfuerzos para evitar, reducir o eliminar las liberaciones.

II. Disposiciones pertinentes de los Convenios de Basilea y Estocolmo

11. Algunos acuerdos ambientales multilaterales constituyen marcos para prevenir y reducir al mínimo las liberaciones de productos químicos tóxicos y desechos peligrosos. Los Convenios de Basilea, Estocolmo y Rotterdam forman los cimientos que se conjugan para crear un amplio enfoque de la gestión de los productos químicos y los desechos peligrosos basado en su ciclo de vida. En conjunto, estos convenios guían las acciones de los responsables de adoptar decisiones con miras a la reducción al mínimo y la gestión de los riesgos para el medio ambiente que representan diversas sustancias químicas, productos y desechos.

12. En el anexo I figura una lista completa de instrumentos internacionales relacionados con los COP. En las secciones que siguen se ofrece una explicación sucinta y una descripción de los artículos pertinentes de los Convenios de Basilea y Estocolmo que demuestran su complementariedad, además de los principales compromisos de sus Partes.

13. Las disposiciones del Convenio de Estocolmo complementan las relativas al manejo de desechos peligrosos previstas en el Convenio de Basilea y forman en conjunto un régimen integral para el manejo de los desechos que son COP. Las disposiciones de los dos convenios se aplicarán a los desechos que son COP al adoptar decisiones sobre su manejo ambientalmente racional.

A. Convenio de Basilea

1. Disposiciones generales

14. La finalidad del Convenio de Basilea, que entró en vigor el 5 de mayo de 1992, es proteger la salud humana y el medio ambiente frente a los efectos adversos resultantes de la generación, el manejo, los movimientos transfronterizos y la eliminación de desechos peligrosos y de otra índole. Esto se logra mediante un conjunto de disposiciones en relación con los movimientos transfronterizos de desechos y su gestión ambientalmente racional. En particular, en el Convenio de Basilea se estipula que cualquier movimiento transfronterizo (exportación, importación o tránsito) de desechos es permisible únicamente cuando el propio movimiento y la eliminación de los desechos peligrosos u otros desechos de que se trate tenga lugar de forma ambientalmente racional.

15. A continuación se señala el conjunto de disposiciones del Convenio de Basilea, en las que se establecen las obligaciones de las Partes de garantizar el manejo ambientalmente racional de desechos que son contaminantes orgánicos persistentes. Estas disposiciones figuran en los párrafos 16 a 18 *infra*.

16. En el párrafo 1 del artículo 2 (“Definiciones”) del Convenio de Basilea, 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 4, se entiende por eliminación “cualquiera de las operaciones especificadas en el anexo IV” del Convenio. En el párrafo 8 se define el manejo ambientalmente racional de los desechos peligrosos o de otros desechos “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 desechos.”

17. En el párrafo 1 del artículo 4 (“Obligaciones generales”) se establece el procedimiento mediante el cual las Partes, que ejerzan su derecho a prohibir la importación de desechos peligrosos y otros desechos para su eliminación, comunicarán a las demás Partes su decisión. En el párrafo 1 a) se dispone 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 párrafo 1 b) se estipula que: “las Partes prohibirán o no permitirán la exportación de desechos peligrosos y 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)”.

18. Los párrafos 2 a) a e) y 2 g) del artículo 4 contienen las disposiciones fundamentales del Convenio de Basilea relativas al manejo ambientalmente racional, la reducción al mínimo de desechos y prácticas de eliminación de desechos que tienen como propósito mitigar los efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente:

En los párrafos 2 a) a e) y 2 g) se dispone lo siguiente: “Cada Parte tomará las medidas apropiadas para:

- a) Reducir al mínimo la generación de desechos en ella, teniendo en cuenta los aspectos sociales, tecnológicos y económicos;
- 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 participen 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 se protejan la salud humana y el medio ambiente de los efectos nocivos que puedan derivarse de ese movimiento;
- e) No permitir la exportación de desechos peligrosos y otros desechos a un Estado o grupo de Estados pertenecientes a una organización de integración económica y/o política que sean Partes, particularmente a países en desarrollo, que hayan prohibido en su legislación todas las importaciones, o si tiene razones para creer que tales desechos no serán sometidos a un manejo ambientalmente racional, de conformidad con los criterios que adopten las Partes en su primera reunión.” y
 - “g) Impedir la importación de desechos peligrosos y otros desechos si tiene razones para creer que tales desechos no serán sometidos a un manejo ambientalmente racional.”

Según el párrafo 8 de ese artículo: “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.”

2. Disposiciones relacionadas con los COP

19. En el artículo 1 (“Alcance del Convenio”) figuran las definiciones de los tipos de desechos que están sujetos al Convenio de Basilea. En el apartado a) del párrafo 1 de ese artículo se establece el proceso en 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”).

20. Para consultar la lista de desechos incluidos en los anexos I y II, que pueden consistir en un COP específico, contenerlo o estar contaminado con él, remítase a las directrices técnicas específicas de dicho contaminante orgánico persistente.

21. Los desechos incluidos en el anexo I presumiblemente poseen una o más de las características peligrosas descritas en el anexo III, que pueden ser H4.1 “Sólidos inflamables”, H6.1 “Tóxicos (venenos) agudos”, H11 “Sustancias tóxicas (con efectos retardados o crónicos)”, H12 “Ecotóxicos” o H13 “Sustancias que pueden, por algún medio, después de su eliminación, dar origen a otra sustancia, por ejemplo, un producto de lixiviación, que posee alguna de las características arriba expuestas”, a menos que, por medio de ensayos nacionales, se pueda demostrar que no tienen esas características. Los ensayos nacionales pueden ser útiles para detectar una característica peligrosa en particular incluida en el anexo III hasta el momento en que se defina plenamente la característica peligrosa. A título provisional la Conferencia de las Partes en el Convenio de Basilea aprobó, en sus reuniones sexta y séptima, los documentos de orientación relativos a las características peligrosas H11, H12 y H13 del anexo III.

22. En la lista A del anexo VIII del Convenio se enumeran los desechos que “están caracterizados como peligrosos de conformidad con el apartado a) del párrafo 1 del artículo 1 del presente Convenio.” Sin embargo, “su inclusión en el anexo VIII no obsta para que se use el anexo III “Lista de características peligrosas” 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.”

23. Si necesita consultar la lista del anexo VIII relativa a las características de los desechos que son aplicables a un COP específico, remítase a las directrices técnicas específicas de dicho COP.

24. Como se establece en el párrafo 1 b) 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

25. El Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP) es un tratado mundial que tiene como propósito proteger la salud humana y el medio ambiente frente a los contaminantes orgánicos persistentes.

26. 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.”

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

- a) Los COP producidos intencionalmente, cuya producción y uso habrá que:
 - i) Eliminar de conformidad con las disposiciones del artículo 3 y el anexo A; o
 - ii) Restringir de conformidad con lo dispuesto en el artículo 3 y el anexo B; y

b) Los 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.

28. El párrafo a) i) del artículo 5 del Convenio de Estocolmo estipula la preparación y mantenimiento de inventarios de fuentes y estimaciones de liberaciones derivadas de la producción no intencional de COP.

29. En el párrafo b) del artículo 5 se promueve la aplicación de las medidas disponibles, viables y prácticas que permitan lograr rápidamente un grado realista y significativo de reducción de las liberaciones o de eliminación de fuentes.

30. En 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 relacionadas con los desechos

31. El artículo 6 (“Medidas para reducir o eliminar las liberaciones derivadas de existencias y desechos”) establece las siguientes disposiciones relacionadas con los desechos:

- “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 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 lo contengan 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 manipulen, 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 la gestión de los desechos peligrosos;
 - iii) No se permita que sean 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) Procurar 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 párrafo 1 d) ii)."

32. En el párrafo 2 a) i) 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 6³. Por lo mismo, en el párrafo 2) b) i) 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 párrafo 1 d) del artículo 6³”.

33. 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 mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales.

III. Cuestiones previstas en el Convenio de Estocolmo que deberán abordarse en cooperación con el Convenio de Basilea

A. Bajo contenido de COP

34. Como se estipula en el inciso c) del párrafo 2 del artículo 6 del Convenio de Estocolmo, la Conferencia de las Partes en el Convenio de Estocolmo 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 párrafo 1 d) ii).”

35. Con arreglo a lo dispuesto en el párrafo 1 d) ii) del artículo 6 del Convenio de Estocolmo, los desechos que son COP deberán eliminarse de tal manera que el contenido de COP se destruya o se transforme en forma irreversible para que no muestren características de contaminantes orgánicos persistentes o que, de no ser así, se eliminen de manera ambientalmente racional cuando la destrucción o la transformación irreversible no representen la opción ambientalmente más conveniente o cuando el contenido de COP sea bajo, teniendo en cuenta las normas, reglas y directrices internacionales, en particular las que se formulen de conformidad con el párrafo 2, así como los regímenes mundiales o regionales pertinentes que rijan la gestión de los desechos peligrosos.

36. El bajo contenido de COP descrito en el Convenio de Estocolmo es independiente de las disposiciones sobre los desechos peligrosos del Convenio de Basilea.

37. Con arreglo al Convenio de Estocolmo, los desechos que contienen COP en cantidad superior a lo que se define como bajo contenido deben eliminarse de manera tal que ese contenido sea destruido o irreversiblemente transformado de conformidad con los métodos descritos en la sección IV.G.2. De no ser así, deberán eliminarse de forma ambientalmente racional cuando la destrucción o la transformación irreversible no sean la mejor opción para el medio ambiente, según los métodos descritos en la sección IV.G.3.

38. Los desechos con un contenido de COP igual o inferior a la definición de bajo contenido deberán eliminarse conforme a los métodos mencionados en la sección IV.G.4.

39. Las definiciones de bajo contenido de COP deben establecerse teniendo en consideración los principales objetivos de los convenios de Basilea y Estocolmo, los cuales consisten en proteger el medio ambiente y la salud humana. Para determinar el bajo contenido de COP se han reconocido los siguientes aspectos (véase Comisión Europea, 2011, Oficina Federal Alemana del Medio Ambiente, 2015, UNEP/CHW/OEWG.9/INF/9/Add.1³ y /Add.2⁴) y UNEP/CHW13/INF/66⁵:

³ Proyecto de directrices técnicas generales actualizadas sobre la gestión ambientalmente racional de desechos que consisten en contaminantes orgánicos persistentes, que los contienen o están contaminados con ellos: documento de apoyo para la elaboración de la sección III de las directrices técnicas generales para la gestión ambientalmente racional de desechos que consisten en contaminantes orgánicos persistentes, que los contienen o están contaminados con ellos.

⁴ Proyecto de directrices técnicas generales actualizadas sobre la gestión ambientalmente racional de desechos que consisten en contaminantes orgánicos persistentes, que los contienen o están contaminados con ellos: metodología para el establecimiento del bajo contenido de contaminantes orgánicos persistentes y su aplicación en la Unión Europea.

⁵ Información justificativa sobre los niveles de concentración que definen los valores del bajo contenido de contaminante orgánico persistente incluidos en los anexos A, B y C del Convenio de Estocolmo.

- a) Las consideraciones relativas al medio ambiente y la salud humana;
- b) La disponibilidad de capacidad suficiente para el análisis;
- c) El rango de concentraciones en artículos, materiales y desechos;
- d) Los valores límite con arreglo a la legislación nacional;
- e) La disponibilidad de capacidad de tratamiento;
- f) La falta de conocimientos y datos; y
- g) Las consideraciones socioeconómicas.

40. Se deberán aplicar las definiciones provisionales de bajo contenido de COP que figuran en el cuadro 2, las cuales se han determinado de acuerdo con los métodos y normas nacionales o internacionales, excepto en el caso de las PCDD y los PCDF.

Cuadro 2: Definiciones provisionales de bajo contenido de COP⁶

COP	Bajo contenido de COP
Aldrina	50 mg/kg
Alfa-HCH, beta-HCH y lindano	50 mg/kg como suma ⁷
Clordano	50 mg/kg
Clordecona	50 mg/kg
DDT	50 mg/kg
Dieldrina	50 mg/kg
Endosulfán técnico y sus isómeros conexos	50 mg/kg
Endrina	50 mg/kg
Éter de hexabromodifenilo y éter de heptabromodifenilo y éter de tetrabromodifenilo y éter de pentabromodifenilo	50 mg/kg o 1000 mg/kg como suma ⁸
Heptacloro	50 mg/kg
HBB	50 mg/kg
HBCD	100 mg/kg o 1000 mg/kg
HCBD	100 mg/kg
HCB	50 mg/kg
Mirex	50 mg/kg
PCB	50 mg/kg
PCDD y PCDF ⁹	TEQ 15 µg/kg
PCP y sus sales y ésteres	100 mg/kg
PCN	10 mg/kg
PeCB	50 mg/kg
PFOS, sus sales y PFOSF	50 mg/kg
Toxafeno	50 mg/kg

⁶ Cabe señalar que el trabajo de revisión de los valores provisionales de bajo contenido de COP se realizará conforme a la decisión BC-13/4.

⁷ El valor límite se ha establecido para la suma de lindano y sus subproductos alfa-HCH y beta-HCH, ya que estos pueden estar contenidos conjuntamente en plaguicidas y desechos procedentes de la producción

⁸ El valor límite se ha establecido para la suma de tetra, penta, hexa y hepta-BDE, ya que las mezclas comerciales tienen composiciones variables de los congéneres (véase la sección I.B.1 de las directrices sobre los BDE que son COP, y para la eficacia analítica.

⁹ TEQ según se indica en el párrafo 2 de la parte IV del anexo C del Convenio de Estocolmo, pero solamente para las PCDD y los PCDF.

B. Niveles de destrucción y transformación irreversible

41. La eficacia de la destrucción¹⁰ (ED) es el porcentaje de COP que se destruyen o sufren una transformación irreversible al aplicarse un método o una tecnología específicos. La eficacia de eliminación de la destrucción¹¹ (EED) solo considera las emisiones a la atmósfera y es el porcentaje de COP originales que se transforma irreversiblemente o se elimina de las emisiones gaseosas.
42. La definición provisional establecida en el párrafo 43 infra reconoce lo siguiente:
- a) Tanto la ED como la EED están en función del contenido inicial de COP y no incluyen la fracción de ningún otro COP producido de forma no intencional durante la destrucción o transformación irreversible;
 - b) La ED es un criterio importante para determinar las cualidades técnicas de las tecnologías de destrucción y transformación irreversible, pero puede ser difícil de medir de forma tal que se pueda reproducir y comparar;
 - c) Se cuenta con las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales para garantizar el logro del rendimiento ambiental previsto, incluida la eficacia de la eliminación; y
 - d) A estas operaciones se aplican la legislación nacional pertinente¹² y las normas, reglas y directrices internacionales;
43. Se deberían aplicar las definiciones provisionales siguientes para los niveles de destrucción y transformación irreversible, sobre la base de niveles absolutos (por ejemplo, volumen de corrientes de desechos de procesos de tratamiento):
- a) Emisiones a la atmósfera:
 - i) PCDD y PCDF: 0,1 ng EQT/Nm³ ¹³ ;
 - ii) 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 debería ser inferior a la definición de bajo contenido de COP que figura en la sección A de este capítulo. Sin embargo, si el contenido de COP es superior al bajo contenido de COP definido en la sección A, los residuos sólidos deberán ser tratados de conformidad con lo dispuesto en la sección IV.G.
44. Además, las tecnologías para la destrucción y la transformación irreversible deberían ponerse en funcionamiento de conformidad con las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales.

C. Métodos que constituyen una eliminación ambientalmente racional

45. En la sección G del capítulo IV más adelante figura una descripción de los métodos que se considera que constituyen eliminación ambientalmente racional de desechos consistentes en COP.

¹⁰ 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, sólidos y líquidos, dividida por la masa del contenido de COP de los desechos; es decir, $ED = (\text{contenido de COP del desecho} - \text{contenido de COP del gas, líquido o sólido residual}) / \text{contenido de COP de los desechos}$.

¹¹ 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 (emisiones acumuladas), dividida por la masa del contenido de COP de los desechos; es decir, $EED = (\text{contenido de COP de los desechos} - \text{contenido de COP del gas residual}) / \text{contenido de COP de los desechos}$.

¹² Por ejemplo, en el Japón, el Ministerio de Medio Ambiente publicó en 2010 la "Directriz técnica para el tratamiento ambientalmente racional de los desechos de PFOS", donde se afirma que los niveles de destrucción del PFOS y sus sales tiene que ser superior al 99,999 % (Ministerio de Medio Ambiente del Japón, 2013b).

¹³ Equivalente de toxicidad mencionado en el párrafo 2 de la parte IV del anexo C del Convenio de Estocolmo, pero solo en el caso de las PCDD y los PCDF. Nm³ se refiere a gas seco, 101,3 kPa y 273,15 K. Normalización del O₂ al 11 %. Normalización del O₂ al 10 % durante la coincineración en hornos de cemento.

IV. Orientación sobre la gestión ambientalmente racional

A. Consideraciones generales

46. El manejo ambientalmente racional es un concepto amplio en materia de política que se interpreta y aplica de distinta manera por los diferentes países, entidades interesadas u organizaciones. Las disposiciones y los documentos de orientación relacionados con el manejo ambientalmente racional de desechos peligrosos en los que atañe a los desechos de COP en el marco de los convenios de Basilea y Estocolmo, junto con los elementos del desempeño básico de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), constituyen el fundamento del criterio común y la orientación internacional para apoyar e implementar el manejo ambientalmente racional de desechos peligrosos y otros desechos.

47. El *Marco para la gestión ambientalmente racional de los desechos peligrosos y otros desechos*¹⁴ de 2013, fue aprobado en la 11ª reunión de la Conferencia de las Partes en el Convenio de Basilea (PNUMA, 2013a). El marco establece un criterio común sobre el concepto de gestión ambientalmente racional y determina los instrumentos y las estrategias para apoyar y promover la aplicación de la gestión ambientalmente racional. Su propósito es convertirse en una guía práctica para los gobiernos y otros interesados que participan en la gestión de los desechos peligrosos y otros desechos y constituye la orientación más completa sobre gestión ambientalmente racional que complementa las directrices técnicas del Convenio de Basilea.

48. El artículo 4 del Convenio de Basilea que se presenta en el párrafo 17 de este documento, contiene disposiciones relacionadas con la gestión ambientalmente racional de los desechos peligrosos y otros desechos. El manejo ambientalmente racional también es objeto de las siguientes declaraciones:

a) La Declaración de Basilea sobre la gestión ambientalmente racional de 1999, adoptada en la quinta reunión de la Conferencia de las Partes en el Convenio de Basilea, llama a las Partes a mejorar y vigorizar sus esfuerzos y su colaboración para lograr una gestión ambientalmente racional mediante la prevención, la reducción al mínimo, el reciclado, la recuperación y la eliminación de los desechos peligrosos y otros desechos, 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;

b) La Declaración de Cartagena sobre prevención, minimización y valorización de los desechos peligrosos y otros desechos, la cual fue aprobada en 2011 en la décima reunión de la Conferencia de las Partes en el Convenio de Basilea, reafirma que el Convenio de Basilea es el instrumento legal primordial a nivel mundial que rige el manejo ambientalmente racional de los desechos peligrosos y otros desechos y su eliminación.

49. En el Convenio de Estocolmo no figura una definición del término “gestión ambientalmente racional”. Ahora bien, la Conferencia de las Partes, en colaboración con los órganos pertinentes del Convenio de Basilea, deberá determinar los métodos ambientalmente racionales de eliminación de desechos consistentes en COP.

50. La OCDE ha adoptado una recomendación sobre la gestión ambientalmente racional de los desechos que incluye, entre otras cosas elementos básicos de la efectividad de las correspondientes directrices, que se aplican a las instalaciones de recuperación de desechos, incluidos los elementos de funcionamiento que preceden a la recolección, 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 (OCDE, 2004).

51. Las Partes deberán elaborar toda una serie de medidas (estrategias, políticas, leyes, reglamentos y programas) y supervisar su aplicación con vistas a ayudar a cumplir los objetivos de la gestión ambientalmente racional. La ejecución de estrategias, políticas y programas nacionales son una vía eficaz de complementar la aplicación de las leyes y reglamentos, vigilancia y aplicación, incentivos y sanciones, tecnologías y otros instrumentos en que todos los principales interesados participen y cooperen (PNUMA, 2013a). Al establecer, aplicar o evaluar la gestión ambientalmente racional, deberán tenerse en cuenta las explicaciones de las secciones que siguen.

¹⁴ Véase el marco en <http://www.basel.int/Implementation/CountryLedInitiative/EnvironmentallySoundManagement/ESMFramework/tabid/3616/Default.aspx>.

B. Marco legislativo y reglamentario

52. Las Partes de los Convenios de Basilea y Estocolmo también deben analizar sus estrategias, políticas, controles, normas y procedimientos nacionales para asegurarse de que cumplen con los dos convenios y con las obligaciones que de ellos se desprenden, incluyendo los relativos a la gestión ambientalmente racional de los desechos peligrosos.

53. La mayoría de los países ya cuentan con algún tipo de legislación que estipula principios, facultades y derechos amplios de protección ambiental. Esa legislación debería instrumentar la funcionalidad de la gestión ambientalmente racional e incluir los requisitos de protección tanto de la salud humana como del medio ambiente. Ese marco legislativo puede facultar a los gobiernos para promulgar y hacer cumplir los reglamentos y normas específicos sobre los desechos peligrosos, realizar inspecciones y establecer sanciones para las violaciones.

54. En esa legislación sobre desechos peligrosos se deberá establecer también una definición de desechos peligrosos. Los desechos cuyos contenidos de COP sean superiores al índice de bajo contenido a que se hace referencia en la sección III.A deberían incluirse en la definición, si procede.

55. Los textos legislativos podrían definir el manejo ambientalmente racional y exigir la adhesión a los principios del manejo ambientalmente racional, velando por que los países cumplan las disposiciones relacionadas con el manejo ambientalmente racional de los desechos consistentes en COP, incluso su eliminación ambientalmente racional, como se describe en las presentes directrices y en el Convenio de Estocolmo. A continuación se analizan los componentes o características específicos del marco de reglamentación que se ajustarían al Convenio de Basilea y el Convenio de Estocolmo y otros acuerdos internacionales.¹⁵

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

56. En las leyes y los compromisos voluntarios, según proceda, se deberá establecer la distinción entre las fechas de eliminación de la producción de COP y de uso de COP¹⁶ en productos y artículos (fabricante final) y la fecha de eliminación de los COP (si se usa tal cual o en una mezcla) o del producto/artículo cuando se convierte en desecho. Además, se debe establecer un plazo límite para la eliminación de los desechos consistentes en COP, teniendo en cuenta que estos productos y artículos pueden tener un prolongado período de servicio, a fin de impedir la creación de existencias que no tengan fechas definidas de eliminación. En el anexo II pueden consultarse ejemplos de leyes nacionales pertinentes.

2. Requisitos relativos a los movimientos transfronterizos¹⁷

57. En la medida en que ello sea compatible con la gestión ambientalmente racional, los desechos peligrosos y otros desechos deberán eliminarse en el país en que se hayan generado. Solo se permitirán los movimientos transfronterizos de esos desechos cuando:

- a) Se realicen en condiciones que no pongan en peligro la salud humana y el medio ambiente;
- b) Las exportaciones se manejen 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 de que se trate de una manera ambientalmente racional y con eficacia;
- d) Los desechos de que se trata se requieren como materia prima para las industrias de reciclado o recuperación en el país de importación; o
- e) Esos movimientos transfronterizos se ajustan a los demás criterios que hayan decidido las Partes.

¹⁵ En los documentos que se indican a continuación figura orientación adicional sobre los marcos reglamentarios del Convenio de Basilea: Manual de Aplicación del Convenio de Basilea (PNUMA, 2015f) y Convenio de Basilea: Guía para el Sistema de Control (PNUMA, 2015g). 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 sobre contaminantes orgánicos persistentes (PNUMA, 2014).

¹⁶ Obsérvese que en las partes I y II del anexo A y en el anexo B del Convenio de Estocolmo se hace referencia a la eliminación y restricción de la producción y el uso de COP.

¹⁷ Esto se aplica solo a las Partes en el Convenio de Basilea.

58. 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.

59. Además, los desechos peligrosos y otros desechos objeto de movimientos transfronterizos deberán ser empacados, etiquetados y transportados de conformidad con las normas y reglamentos internacionales.¹⁸

60. Cuando no se pueda completar un 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) como consecuencia de la conducta del exportador o del generador, 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 otro modo de conformidad con lo dispuesto en el Convenio de Basilea (según lo dispuesto en el párrafo 2 del artículo 9).

61. 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.

3. Especificaciones para contenedores, equipo, contenedores a granel y lugares de almacenamientos que contengan COP

62. A fin de cumplir los requisitos de la gestión ambientalmente racional y las cláusulas específicas de los Convenios de Basilea y 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 y sus corrientes de desechos correspondientes.¹⁹ 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 seguridad²⁰

63. 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. Si bien ni el Convenio de Basilea ni el Convenio de Estocolmo exigen específicamente que las Partes cuenten con una legislación relativa a la salud y la seguridad de los trabajadores, la protección de la salud humana consituye el fundamento de muchos de los objetivos de ambos convenios.

64. 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 en dicha legislación. 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.

65. En el párrafo 1 e) 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

¹⁸ En este sentido, deben utilizarse las Recomendaciones de las Naciones Unidas relativas al Transporte de Mercancías Peligrosas (Reglamentación Modelo) de 2003 (CEPE, 2003a) o versiones posteriores.

¹⁹ Las Partes deberían consultar las directrices relativas al almacenamiento de plaguicidas y desechos de plaguicidas que fueron elaboradas por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 1996).

²⁰ Véase la sección IV.I.

seguridad deberá incluir disposiciones para la manipulación y el almacenamiento en condiciones de seguridad de los desechos consistentes en COP.

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

66. Se han elaborado varios métodos y protocolos de muestreo y análisis para fines diversos. Solo podrán generarse datos fiables y útiles cuando se utilicen métodos de muestreo y analíticos adecuados para los desechos. Las Partes en los Convenios de Basilea y Estocolmo deberían contar con una legislación o con directrices normativas firmes que determinen los métodos de muestreo y análisis aceptables para cada desecho consistente en COP, incluso la forma en que se presenta y la matriz en que se ha encontrado. Los procedimientos especificados deben ser convenidos o aceptados antes del muestreo o el análisis. Se recomienda el uso de procedimientos internacionalmente aceptados. De esta manera se asegurará que los resultados notificados sean aceptables y comparables. En la sección E del presente capítulo figura información adicional.

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

67. 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 dichas aprobaciones sigan siendo válidas. Tal vez sea necesario añadir requisitos específicos para los desechos consistentes en COP, a fin de cumplir las instrucciones relativas a la gestión ambientalmente racional y requisitos específicos de los convenios de Basilea y Estocolmo.

7. Necesidad general de participación del público

68. La participación del público es un principio fundamental reflejado en la Declaración de Basilea de 1999 sobre la gestión ambientalmente racional y muchos otros acuerdos internacionales. La participación del público de la que se trata en la sección IV.K más adelante puede contemplarse en la legislación y las políticas.

8. Lugares contaminados

69. 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 (párrafo 1 e) del artículo 6 del Convenio de Estocolmo).

9. Otros controles legislativos

70. Entre los ejemplos de otros aspectos de la gestión del ciclo de vida de los desechos consistentes en COP, que podrían estipularse en la legislación cabe mencionar:

- a) Disposiciones y requisitos de los sitios 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 de la puesta fuera de servicio y durante ella;
 - ii) Procedimientos a seguir 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 sitios después de la puesta fuera de servicio;
- c) Planificación de la respuesta ante situaciones de emergencia, derrames y accidentes, en particular:
 - i) Procedimientos de limpieza y las concentraciones máximas admisibles después de la limpieza;
 - ii) Capacitación de los trabajadores y requisitos de seguridad; y
- d) Planes de prevención, reducción al mínimo y gestión de los desechos.

C. Prevención y minimización de los desechos

71. La prevención y minimización de los desechos consistentes en COP es la primera y más importante etapa de todo el proceso de manejo ambientalmente racional de esos desechos. En el párrafo 2 del artículo 4, el Convenio de Basilea exhorta a las Partes a “reducir al mínimo la generación

de desechos peligrosos y otros desechos”. La prevención debería ser la opción preferida en toda política de manejo de los desechos. Con arreglo al marco para la gestión ambientalmente racional de desechos peligrosos y otros desechos, la necesidad de gestionar los desechos y los riesgos y costos que ello entraña se reducen si no se generan desechos y se garantiza que estos sean menos peligrosos (PNUMA, 2013a).

72. Según el marco del Convenio de Basilea para la gestión ambientalmente racional, las empresas que generan desechos (generadoras de desechos) tienen la responsabilidad de garantizar la aplicación de las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales cuando realicen actividades que generen desechos. Al hacerlo, tienden a reducir al mínimo los desechos generados y apoyar la investigación, la inversión en diseño, la innovación y el desarrollo de nuevos productos y procesos que utilicen menos recursos y energía y produzcan, sustituyan o eliminen el uso de materiales peligrosos.

73. Podría requerirse de las entidades generadoras de desechos e importantes usuarios finales del sector industrial (por ejemplo, formuladores de plaguicidas) de productos y artículos que contienen COP que elaboren planes de manejo de desechos. Esos planes deben abarcar todos los desechos peligrosos y todos los desechos de COP.

74. 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 posiblemente producen los COP de forma no intencional (por ejemplo, la incineración) y determinación de si se aplican las Directrices del Convenio de Estocolmo sobre las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales;
- b) Determinación de los procesos que utilizan COP y generan desechos que contienen COP:
 - i) Determinar si las modificaciones de los procesos, incluida la modernización de equipos o materiales más antiguos, podría reducir la producción de desechos; y
 - ii) Seleccionar procesos alternativos que no estén vinculados a la producción de desechos de COP;
- c) Determinación de productos y artículos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos y alternativas que no utilicen COP; y
- d) Minimización del volumen de desechos generados 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 los contenedores y del equipo que contenga desechos de COP;
 - iv) El aislamiento de los desechos de COP a fin de evitar la contaminación de otros materiales; y
 - v) La adopción de procedimientos apropiados para el desmantelamiento de instalaciones.

75. No es ambientalmente racional mezclar y batir 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 igual o inferior al bajo contenido definido. Con todo, tal vez sea necesario mezclar o batir los materiales antes de proceder al tratamiento de los desechos a fin de posibilitar el tratamiento u optimizar su eficacia.

D. Determinación de los desechos

1. Consideraciones generales

76. La detección de desechos de COP es el punto de partida para su eficaz gestión ambientalmente racional. Los desechos de COP pueden generarse mediante distintos procesos y actividades que puedan tener lugar durante todo el ciclo de vida de los contaminantes orgánicos persistentes, por ejemplo:

- a) Mientras se fabrican (instalaciones de producción);
- b) Por ser subproductos de procesos industriales y de otro tipo que utilizan COP (por ejemplo, plantas de producción de artículos y otros bienes, tales como plásticos, tapicería, textiles,

materiales de embalaje, equipo eléctrico/electrónico, pigmentos, perdigones, materiales de poliestireno expandido, pinturas, pegamentos, etc.);

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, transferencia o eliminación;

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 COP;

e) Cuando se utilizan productos o artículos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos, no correspondan a las especificaciones, son inadecuados para su uso original o han sido prohibidos o cuando se ha retirado la licencia para fabricarlos; o

f) Cuando se han eliminado productos o artículos consistentes en COP, que los contengan o estén contaminados con ellos (por ejemplo, incineración que crea ceniza contaminada con COP producidos de manera no intencional).

77. Los desechos consistentes en COP se presentan en forma sólida y líquida (acuosa, semiacuosa, contenidos en solventes y emulsiones) y pueden liberarse en forma de gases (gases reales, como dispersión líquida o aerosoles), o adsorbidos en contaminantes atmosféricos. En el cuadro 3 se ofrecen ejemplos de esos desechos.

Cuadro 3: Formas físicas y tipos de desechos de COP generados

Forma física de los desechos	Tipo de desechos
Líquidos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Existencias líquidas obsoletas de COP puros 2. Aguas residuales industriales 3. Aguas residuales municipales 4. Líquidos de lixiviación de vertederos 5. Líquidos industriales (por ejemplo, solventes) 6. Productos líquidos de uso doméstico 7. Fluidos líquidos (por ejemplo, aceites aislantes y líquidos hidráulicos) 8. Lodos industriales 9. Lodos urbanos
Sólidos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Existencias líquidas obsoletas de COP 2. Suelos, sedimentos, rocas y áridos de minas contaminados; 3. Fangos industriales 4. Aguas cloacales municipales 5. Aguas residuales de la limpieza (por ejemplo, tratamiento de residuos con carbón activado) 6. Residuos del sistema de control de la contaminación atmosférica (por ejemplo, cenizas volantes) 7. Polvo 8. Tapicerías, textiles, alfombra, caucho 9. Equipo eléctrico y electrónico 10. Contenedores y material de embalaje 11. Materiales contaminados (por ejemplo, ropa) 12. Pelusa de vehículos y pelusa triturada 13. Plástico, papel, metal, madera 14. Materiales de demolición (materiales pintados, pisos a base de resinas, selladores, ventanas selladas, paneles aislantes) 15. Equipo de extinción de incendios a base de espumas
Gaseosos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Gases de vertedero 2. Gases de plantas de incineración 3. Gases de plantas de reciclado 4. Gases de determinados procesos (industriales)

78. En el párrafo 1 del artículo 6 del Convenio de Estocolmo se estipula que cada Parte:

a) Elaborará estrategias apropiadas para la detección de las existencias que consistan en productos químicos o contengan productos químicos incluidos en los anexos A o B, y productos y

artículos en uso, así como desechos consistentes en un producto químico incluido en el anexo A, B, o C, que lo contengan o estén contaminados con él; y

b) Determinará, en la medida de lo posible, de las existencias consistentes en productos químicos incluidos en el anexo A o en el anexo B, o que contengan esos productos químicos, sobre la base de las estrategias a que se hace referencia en el apartado a).

79. La lista de las categorías de fuentes de COP que figura en el anexo C del Convenio de Estocolmo podrá ayudar a los gerentes industriales y a las autoridades reguladoras gubernamentales, así como al público en general, a reconocer los desechos de COP producidos de forma no intencional.

2. Inventarios

80. Los inventarios son instrumentos importantes para detectar, cuantificar y caracterizar los desechos que son COP.

81. El párrafo a) del artículo 5, el apartado a) del párrafo 1 del artículo 6 y el párrafo 1 del artículo 11 del Convenio de Estocolmo proporcionan elementos que contribuyen a la determinación de fuentes de desechos que consisten en COP. A los fines del manejo ambientalmente racional de los desechos, tal vez sea necesario un inventario más específico y completo.

82. Al elaborar el inventario, deberá darse prioridad a la determinación de las corrientes de desechos importantes por su gran volumen y sus elevadas concentraciones de COP. Los inventarios nacionales pueden utilizarse para:

- a) Establecer una cantidad de productos, artículos y desechos de COP que sirva de referencia;
- b) Establecer un registro de información que apoye las inspecciones reglamentarias y de la seguridad;
- c) Obtener la información exacta necesaria para elaborar planes de estabilización de los sitios;
- d) Apoyar la preparación de planes de respuesta en casos de emergencia; y
- e) Seguir de cerca los progresos logrados en la reducción al mínimo y la eliminación gradual de los COP.

83. Si necesita más información sobre la elaboración de los inventarios nacionales, consulte la *Guía metodológica para la elaboración de inventarios de desechos peligrosos y otros desechos del Convenio de Basilea* (PNUMA, 2015j). La guía versa fundamentalmente sobre las medidas que hay que adoptar a nivel nacional para establecer los sistemas nacionales de información que proporcionen la información necesaria para que los países puedan cumplir su obligación de presentar informes en relación con el Convenio de Basilea.

84. También se dispone de documentos de orientación para la elaboración del inventario de contaminantes orgánicos persistentes específicos (por ejemplo, PCB, PFOS y PBDE que son COP)²¹ como orientación para elaborar los inventarios de liberaciones de COP producidos de manera no intencional [véase *el Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de dioxinas, furanos y otros contaminantes orgánicos persistentes no intencionales conforme al artículo 5 del Convenio de Estocolmo* (PNUMA, 2013b)].

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

E. Muestreo, análisis y vigilancia

86. El muestreo, el análisis y la vigilancia son actividades importantes en el manejo de los desechos consistentes en COP, que permiten al encargado de su gestión y a los funcionarios reguladores determinar la concentración de COP en algunas corrientes de desechos y seleccionar el método de

²¹ Se dispone de los proyectos de documento de orientación para elaborar el inventario de estos COP específicos, los cuales pueden consultarse en:

<http://chm.pops.int/Implementation/BATandBEP/Guidance/tabid/3636/Default.aspx>
y <http://chm.pops.int/Implementation/NIPs/Guidance/tabid/2882/Default.aspx>.

gestión apropiado. Es posible que esas actividades también sean necesarias para observar si los métodos de destrucción seleccionados están funcionando con las normas establecidas y garantizar que no se liberen COP al medio ambiente. La observación y supervisión sirven como elementos para determinar las cuestiones ambientales y los riesgos para la salud humana y seguirlos de cerca. La información que proporcionan los programas de observación se incorpora en los procesos de adopción de decisiones con fundamento científico y se utiliza para la evaluación de la eficacia de las medidas de gestión de riesgos, en particular los reglamentos.

87. El muestreo, el análisis y la vigilancia deberán estar a cargo de profesionales capacitados, según un programa 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 aplicarse medidas rigurosas de garantía y control de la 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.

88. Cada Parte debería determinar sus necesidades de muestreo, análisis y observación y garantizar que tiene la capacidad de laboratorios que cumplan las normas de funcionamiento establecidas. Se deberá impartir capacitación y establecer protocolos que garanticen que estas normas puedan cumplirse y que se pueda obtener la calidad de los datos y resultados significativos. La creación de esta capacidad puede ser necesaria en algunos países donde no exista.

89. Se podrán utilizar diferentes métodos analíticos según la finalidad de la actividad de muestreo u observación y la forma física de los desechos. Si necesita información sobre buenas prácticas de laboratorio, puede consultar la serie de la OCDE (OCDE, varios años) y el Manual de buenas prácticas de la OMS para laboratorios de control de calidad (OMS, 2009); en relación con cuestiones metodológicas generales, se pueden utilizar las Directrices para el Programa de Vigilancia Mundial de contaminantes orgánicos persistentes (PNUMA, 2015a). 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 la capacidad necesaria para analizar COP en <https://www.thegef.org/project/assessment-existing-capacity-and-capacity-building-needs-analyze-pops-developing-countries>.

1. Muestreo²²

90. El objetivo general de cualquier actividad de muestreo es obtener una muestra que se pueda usar con el fin previsto, por ejemplo, la caracterización de los desechos, el cumplimiento de normas reglamentarias o la idoneidad del tratamiento o de los métodos de eliminación propuestos. Este objetivo debe determinarse antes de comenzar la toma de muestras. Es indispensable que se cumplan los requisitos de calidad del equipo, el transporte y la trazabilidad.

91. Antes de comenzar las actividades de muestreo (tanto de la matriz como de COP específicos) se deberían establecer y acordar procedimientos de muestreo normalizados. Esos procedimientos constan de los siguientes elementos:

- a) La 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 del lugar o los lugares y el momento de tomar la muestra (incluida la descripción y la ubicación geográfica);
- c) Identidad de la persona que toma la muestra y condiciones durante el muestreo;
- d) Descripción completa de las características de la muestra – etiquetado;
- e) Preservación de la integridad de las muestras durante el transporte y almacenamiento (antes del análisis);
- f) Cooperación estrecha entre el empleado que toma las muestras y el laboratorio analítico; y
- g) Personal de muestreo debidamente capacitado.

²² En *RCRA Waste Sampling Draft Technical Guidance* figura información adicional sobre muestreo (Agencia para la Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA), 2002, y *Nordtest method*).

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

- a) Elaboración de un procedimiento operacional uniforme para muestreo de cada una de las matrices para un posterior análisis de los COP;
- b) Aplicación de procedimientos de muestreo reconocidos, tales como los elaborados por la ISO, la Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales (ASTM), la Unión Europea, el Organismo de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA), el Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente (GEMS) y el Comité Europeo de Normalización Electrotécnica (CENELEC). (Véase la norma *Requisitos para la recogida, logística y tratamiento de los RAAE* [residuos de aparatos eléctricos y electrónicos] - *Parte 1: Requisitos generales de tratamiento, en particular las especificaciones para la descontaminación*, y del Comité Europeo de Normalización (CEN) (véase UNE-EN 14899:2005 Caracterización de residuos – Toma de muestras de residuos - Esquema para la preparación y aplicación de un plan de muestreo y las series de CEN/TR 15310 1-5: 2006 Caracterización de residuos – Muestreo de residuos).
- c) Establecer procedimientos de garantía y control de la calidad.

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

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

- a) Líquidos:
 - i) Lixiviado de basureros y vertederos;
 - ii) Líquido recogido de derrames;
 - iii) Agua (agua superficial, agua potable y efluentes industriales y municipales);
- b) Sólidos:
 - i) Existencias, productos y formulaciones consistentes en COP, que los contengan o que estén contaminados con estos;
 - ii) Sólidos de fuentes y procesos industriales de tratamiento o eliminación (cenizas volantes, cenizas depositadas, líquidos residuales, sedimentos, otros residuos, ropa, 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 recolección de muestras;
 - iv) Suelos, sedimentos, escombros y abono orgánico;
 - v) Artículos y productos de consumo;
- c) Gaseosos:
 - i) Aire (interiores);
 - ii) Aire (emisiones).

2. Análisis

95. Por regla general, el análisis de los COP se lleva a cabo en un laboratorio especializado. En algunas situaciones, por ejemplo, en zonas apartadas, se pueden posibilitar los ensayos en el terreno utilizando equipos de ensayo diseñados para fines de detección sobre el terreno.

96. Para el análisis en laboratorios se dispone de varios métodos analíticos, aunque en el caso de algunos COP todavía se están elaborando esos métodos analíticos. Por consiguiente, las Partes deberán verificar la disponibilidad y los costos de los métodos aplicables a los COP que desean controlar antes de formular su programa de vigilancia y muestreo. La Organización Internacional de Normalización, el Comité Europeo de Normalización, la EPA, la AOAC y la ASTM han establecido métodos para analizar las diversas matrices de los COP. La mayoría de los métodos internos son variaciones de éstos y después de validarse, esos métodos internos también son aceptables.

97. La detección de un COP puede ser una tarea difícil, en particular cuando el POP consiste en algunos congéneres o incluso isómeros.

98. Se recomienda llevar a cabo un análisis escalonado (con el objetivo de la identificación y cuantificación de un POP); esto comenzaría con medidas sencillas y, posteriormente, se aplicarían métodos más complejos. Lo primero que hay que hacer es determinar los desechos que puedan contener COP a fin de reducir el número de muestras (y posteriormente las cantidades de desechos que se van a eliminar). Los métodos de inspección son especialmente valiosos en situaciones en que hay que adoptar decisiones rápidamente o cuando la capacidad es limitada y también para reducir los costos. En general, hay tres medidas que se adoptan consecutivamente, a saber:

a) Inspección general para detectar la presencia de halógenos contenidos en un COP; se trata de cloro (Cl), bromo (Br) o flúor (F). Con esto se trata de determinar en una gran cantidad de muestras las que contienen cloro, bromo o flúor. Se dispone de instrumentos portátiles para analizar estos halógenos sin “destruir” la muestra; por ejemplo, la fluorescencia de rayos X (FRX) tiene la ventaja de no ser destructiva, analiza múltiples elementos y es rápida y rentable. La FRX se puede aplicar a muy diversas concentraciones desde 100 % hasta unas pocas partes por millón (ppm). Su principal desventaja es que los análisis, por lo general, se limitan a elementos más pesados que el flúor (Br, Cl) y no puede detectar una sustancia específica.

b) Métodos de inspección biológica o química (aplicados si la muestra da positivo en la primera inspección): se dispone de equipos de análisis o de métodos de detección sencillos que utilizan instrumentos menos costosos para seguir reduciendo el número de muestras que pueden contener COP incluidos en el Convenio de Estocolmo. La determinación del cloro orgánico con los equipos de análisis DEXSIL²³ o el analizador L2000²⁴ gozan de buena reputación, ya que ambos métodos son capaces de analizar COP en muestras de petróleo o suelo. Los métodos bioanalíticos, como CALUX²⁵ están reconocidos para la detección de equivalentes tóxicos parecidos a la dioxina, etc. También se pueden utilizar métodos de extracción rápida y columnas cortas del cromatógrafo de gases y un simple detector de COP clorados.

c) Lo último que se hace es confirmar el análisis químico, que suele ser obligatorio para todas las muestras que den un resultado positivo en el análisis. Este último análisis se lleva a cabo en laboratorios químicos, que suelen estar especializados en determinado grupo de COP (por ejemplo, plaguicidas que son COP, COP parecidos a las dioxinas, pirorretardantes bromados que son COP, PFOS) y se especializan en determinada matriz. Hay organizaciones internacionales y nacionales que han elaborado métodos de confirmación mediante análisis químicos, por ejemplo:

- i) En el caso de plaguicidas que son COP y bifenilos policlorados: cromatografía de gases con columna capilar (CG) + detector de captura de electrones (ECD), espectrometría de masas (MS) o espectrometría de masas tándem (MS/MS);
- ii) En el caso de los BDE que son COP, los COP similares a la dioxina: CG con columna capilar + MS (en el caso de COP similares a la dioxina preferiblemente de alta resolución);
- iii) En el caso del PFOS: cromatografía de líquidos (LC) + MS/MS;
- iv) En el caso del HBCD: GC/MS, LC-MS y HPLC-MS, GC- detector de ionización de llama (FID) que utiliza una referencia de HBCD, también es capaz de determinar y cuantificar el HBCD;
- v) En el caso del HCBd: GC/MS y GC+ECD;
- vi) En el caso del PCP y sus sales y ésteres: La detección típica mediante análisis utiliza GC+ECD, detectores selectivos de masa, así como métodos LC/MS;
- vii) En el caso de los PCN: GC/MS para análisis de agua.

99. Es importante que en las etapas descritas anteriormente en los apartados a) y b) del párrafo 98, no se generen resultados negativos falsos y que cualquier método que se utilice esté acorde con el grado de interés en el análisis.

100. 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 evaluaciones internacionales de intercalibración). Es importante también es que un órgano

²³ Si necesita información sobre equipos de análisis DEXSIL consulte <http://www.dexsil.com/products/>.

²⁴ Analizador L2000: http://www.dexsil.com/products/detail.php?product_id=13.

²⁵ CALUX: <http://www.crl-freiburg.eu/dioxin/bioanalytical.html>.

independiente haya acreditado al laboratorio de acuerdo con la norma ISO 17025 u otras normas. Los criterios indispensables para obtener resultados de gran calidad incluyen:

- a) Especificación de la técnica analítica utilizada;
- b) Mantenimiento del equipo analítico;
- c) Validación de todos los métodos utilizados (incluidos los métodos internos); y
- d) Capacitación del personal de laboratorio.

101. Por regla general, el análisis de los COP se lleva a cabo en un laboratorio especializado. En situaciones específicas se dispone de aparatos de ensayo que se pueden usar en la práctica para examinar las muestras.

102. Para los análisis de laboratorio de COP no existe un método analítico único. La Organización Internacional de Normalización, el Comité Europeo de Normalización, la EPA, la AOAC y la ASTM han establecido métodos para analizar las diversas matrices de los COP. La mayoría de los métodos internos son variaciones de éstos y después de validarse, esos métodos internos también son aceptables.

103. Además, se deberán establecer los procedimientos y los criterios de aceptación para la manipulación y preparación de la muestra en el laboratorio, por ejemplo, la homogeneización.

104. Las distintas etapas de la determinación analítica son:

- a) Extracción, por medio de Soxhlet, extracción por solventes a alta presión, líquido a líquido, etc.;
- b) Purificación, por ejemplo, por cromatografía en columna o con Florisil. La purificación debe ser lo suficientemente eficaz para que la retención cromatográfica no quede expuesta a la influencia de la matriz;
- c) La separación mediante cromatografía de gases en columnas capilares, que proporcionará una separación suficiente de los analitos;
- d) La identificación con detectores adecuados, como un ECD o un detector selectivo de masas o por un espectrómetro de masas de baja resolución (LRMS) o de alta resolución (HRMS);
- e) La cuantificación de acuerdo con las metodologías estándar internas (para referencia, véase PNUMA, 2015d y PNUMA, 2006b); y
- f) Presentación de informes con arreglo a las normas.

3. Vigilancia

105. En el párrafo 2 b) del artículo 10 (“Cooperación internacional”), el Convenio de Basilea dispone que las Partes deberán “cooperar 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, dentro de sus capacidades, alentarán o efectuarán a los niveles nacional e internacional actividades de vigilancia adecuadas respecto de los COP.

106. Deberán ponerse en práctica programas de vigilancia en relación con las plantas de tratamiento de desechos que contienen COP, ya que ofrecen indicios de si una operación de gestión de los desechos peligrosos está funcionando de conformidad con su diseño y las normas ambientales.

107. En los programas de vigilancia ambiental y humana, podrán incluirse tanto las matrices bióticas como las abióticas:

- a) Materiales vegetales y plantas;
- b) Peces y vida silvestre
- c) Fluidos biológicos (por ejemplo, leche materna, sangre, orina);
- d) Aire (ambiental, deposición húmeda o seca tal como nieve, hielo, polvo);
- e) Agua (ppor ejemplo, lixiviados, aguas residuales);
- f) Suelo;
- g) Sedimento.

108. La información proporcionada por el programa de vigilancia debe servir para:

- a) Detectar cualquier liberación o cambio en la calidad de su entorno;

- b) Cerciorarse de que en la operación de gestión de los desechos se están manipulando los tipos adecuados de desechos peligrosos; y
- c) Detectar posibles problemas relacionados con la liberación o exposición y determinar si sería procedente introducir ajustes en el método de gestión.

109. En la ejecución del programa de vigilancia, los gobiernos, los funcionarios reguladores, los gobiernos municipales y los administradores de plantas de reciclado y tratamiento de desechos pueden detectar problemas y adoptar las medidas apropiadas para eliminarlos. Si necesita más información sobre vigilancia, consulte los siguientes documentos: *Monitoring and Research under the Chemicals Management Plan* (Gobierno del Canadá, 2011; *Environment Canada*, 2011); *General Principles of Monitoring* (Comisión Europea, 2003); Orientación para un programa de vigilancia mundial de los contaminantes orgánicos persistentes (PNUMA, 2015a), Ministerio de Medio Ambiente del Japón, 2013a; y Base de datos Federal y de los Estados Federados sobre dioxinas (Organismo Federal del Medio Ambiente de Alemania, Dessau-Roßlau, 2014).

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

110. La manipulación, la recolección, el embalaje, el etiquetado, el transporte y el almacenamiento son etapas especialmente importantes ya que el riesgo de derrames, fugas o incendios puede ser tan grande como en cualquier otra etapa del ciclo de vida de un COP.

111. En las directrices técnicas sobre COP específicos se especifican las consideraciones y disposiciones específicas de esas corrientes de desechos, cuando procede. Conviene aplicar un enfoque adaptado a determinadas corrientes de desechos contaminantes orgánicos persistentes (por ejemplo, los artículos y productos que se han convertido en desechos) tomando en consideración sus diversas fuentes, los tipos de desechos, los volúmenes y las concentraciones de los contaminantes orgánicos persistentes. Esto permite a los encargados de adoptar decisiones examinar los riesgos que pueden plantear las diversas corrientes de desechos en las diferentes etapas de su manejo, y las medidas apropiadas que sean necesarias para evitar, eliminar o reducir al mínimo sus efectos sobre el medio ambiente. Las mejores prácticas de gestión, en algunos casos, se encuentran en el proceso inicial de elaboración o fundamentación.

112. Según resulte apropiado, los procedimientos y procesos de gestión de desechos peligrosos deben ser considerados para la manipulación, recolección, embalaje, etiquetado, transporte y almacenamiento de desechos que presenten un contenido de COP superior a lo establecido como bajo contenido de COP en la sección III.A, a fin de evitar derrames y fugas que causen la exposición de los trabajadores, liberaciones al medio ambiente o la exposición de la comunidad.

113. Se deberá recopilar y analizar la información pertinente sobre las características peligrosas y los riesgos de los desechos que contienen COP con vistas a planificar su adecuada manipulación, por ejemplo, mediante la consulta y respeto de las instrucciones impartidas respecto de los productos químicos que contienen y de los datos de las hojas de seguridad. Para el etiquetado y embalaje deberá tenerse en consideración debidamente el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA).

114. En relación con el transporte y el movimiento transfronterizo de desechos que son COP y que reúnan los criterios de los desechos peligrosos, se deberán consultar los documentos siguientes para determinar los requisitos específicos:

- a) Manual para la aplicación del Convenio de Basilea (PNUMA, 2015h);
- b) Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas (OMI, 2002);
- c) Instrucciones técnicas para el transporte sin riesgos de mercancías peligrosas por vía aérea de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI 2001); y
- d) Recomendaciones de las Naciones Unidas sobre el Transporte de Mercaderías Peligrosas.²⁶

115. Para las secciones siguientes (1 a 6), se puede encontrar información detallada en las tecnologías de destrucción y descontaminación de PCB y otros desechos de COP conforme al Convenio de Basilea: Manual de capacitación para administradores de proyectos sobre desechos peligrosos) del Convenio de Basilea (PNUMA, 2002a).

²⁶ Acuerdo Europeo sobre el Transporte Internacional de Mercaderías Peligrosas por Carretera (ADR); Acuerdo Europeo sobre el Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Vías de Navegación Interior (ADN); Reglamento relativo al transporte internacional de mercancías peligrosas por ferrocarril (RID).

1. Manipulación²⁷

116. Las principales preocupaciones relativas a la manipulación de desechos consistentes en COP son la exposición humana, las liberaciones accidentales al medio ambiente y la contaminación de otras corrientes de desechos con COP. Los desechos con COP también deberán manipularse separadamente de otros tipos de desechos a fin de evitar la contaminación de otras corrientes de desechos. La gestión de corrientes de desechos líquidos, en particular, y otras corrientes de desechos, según proceda, debe contemplar las siguientes prácticas recomendadas:

- 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 con otros fines para trasvasar los desechos líquidos;
- g) Limpieza de todo líquido derramado con paños, papel absorbente u otro material absorbente;
- h) Triple enjuague de las superficies contaminadas con un disolvente;
- i) Tratamiento de todos los absorbentes y solventes del triple enjuague, ropas de protección desechables y revestimientos plásticos como desechos que contengan COP o estén contaminados con ellos, cuando proceda; y
- j) Capacitación del personal en los métodos correctos de manipulación de los desechos de COP.

2. Recolección

117. Aunque tal vez las grandes industrias sean responsables de la debida gestión de los desechos de COP que generan o poseen, muchas entidades de menor envergadura también poseen dichos desechos. Entre los desechos de COP que poseen las pequeñas entidades pueden incluirse los desechos domésticos o los contenedores de plaguicidas de tamaño comercial, el balasto eléctrico de las lámparas fluorescentes que contiene PCB, los contenedores pequeños de conservantes de la madera a base de pentaclorofenol contaminados con PCDD y PCDF, pequeñas cantidades de COP “puros” en laboratorios e instalaciones de investigación y semillas impregnadas con plaguicidas empleadas en la agricultura o en investigaciones. Para hacer frente a este variado surtido de desechos peligrosos, muchos gobiernos han establecido depósitos para los propietarios de pequeñas cantidades de esos desechos sin costo alguno 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 bien un tercero pudiera ponerlos a disposición de un país en desarrollo.

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

- a) Dar a conocer el programa, los lugares de depósito y el calendario de recogida a todos los posibles poseedores de esos desechos;
- b) Conceder tiempo suficiente para la ejecución de los programas de recolección con vistas a lograr la recolección total de los desechos de COP;²⁸

²⁷ Ejemplos de directrices sobre la manipulación segura de materiales peligrosos y prevención de accidentes son las preparadas por la Organización Internacional del Trabajo (OIT, 1999a y 1999b) y la OCDE (OCDE, 2003).

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

- c) Incluir, siempre que sea viable, todos los desechos de COP en el programa;
- 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; e
- i) Asegurar que las corrientes de desechos de COP estén separadas de las de otros desechos.

3. Embalaje

119. Todos los desechos de COP, sean o no peligrosos, se deberán empaquetar de manera adecuada a fin de facilitar el transporte y como medida de seguridad para reducir el riesgo de salideros y derrames.

120. El embalaje de desechos peligrosos se divide en dos categorías: embalaje para el transporte y embalaje para el almacenamiento. 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.

121. Algunos preceptos generales del embalaje para el almacenamiento de desechos de COP son las siguientes:

- a) En la mayoría de los casos el embalaje adecuado para el transporte es apropiado para el almacenamiento, a menos que se especifiquen requisitos de almacenamiento más restrictivos;
- b) Por lo general, los desechos embalados en sus contenedores originales serán seguros para el almacenamiento, si el embalaje se encuentra en buenas condiciones;
- c) Los desechos de COP no deberán almacenarse jamás en contenedores de productos que no estaban destinados a contener dichos desechos, o cuyas etiquetas no identifican correctamente su contenido;
- d) Los contenedores en proceso de deterioro o considerados inseguros deberán vaciarse o colocarse en un embalaje exterior en condiciones (sobre envase). Cuando se vacíen contenedores que no ofrezcan seguridad, el contenido deberá colocarse en contenedores nuevos o reacondicionados que sean idóneos. En todos los contenedores nuevos o reacondicionados deberán colocarse etiquetas correspondientes a su contenido que no den lugar a confusión;
- e) Los contenedores de menores dimensiones pueden embalarsse juntos, en contenedores de mayores dimensiones separados por material absorbente;
- f) El equipo fuera de servicio que contenga COP puede ser o no ser adecuado como embalaje. Su grado de seguridad se determinará en cada caso particular.

4. Etiquetado²⁹

122. El etiquetado de productos que contienen COP puede ser una medida necesaria con miras a la gestión eficaz de los productos cuando se conviertan en desechos.

123. El etiquetado de los contenedores de desechos de COP es una característica de su seguridad básica y un elemento importante para el éxito de cualquier sistema de gestión de los desechos. Cada contenedor de desechos deberá etiquetarse de manera que se identifique el contenedor (por ejemplo, con el número de identificación), el COP presente y su grado de peligro.

²⁹ Se han elaborado normas internacionales para el etiquetado e identificación correctos de desechos. La CEPE ha elaborado directrices para la identificación y el etiquetado correctos de los desechos peligrosos (2003b). Véase también FAO, 2001; PNUMA, 2015h y PNUMA, ONUDI *et al.*, 2012.

5. Transporte

124. Los desechos que COP deberán transportarse de manera ambientalmente racional a fin de evitar derrames accidentales y determinar su recorrido y su destino final debidamente. 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, embalarse y transportarse con arreglo las “Recomendaciones relativas al Transporte de Mercancías Peligrosas: Reglamentación Modelo de las Naciones Unidas (Libro Naranja)”. Los encargados del transporte de esos desechos deberán poseer la calificación o certificación, o ambas, de transportistas de materiales y desechos peligrosos.

125. 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.

126. Las empresas que transportan desechos dentro de sus propios países deberán tener certificación como transportadores de materiales y desechos peligrosos y contar con personal calificado.

127. Se puede solicitar orientación sobre el transporte de materiales peligrosos en condiciones seguras a la IATA, la OMI, la CEPE y la OACI.

6. Almacenamiento³⁰

128. Los desechos consistentes en COP que hayan sido debidamente embalados (véase la sección 3 sobre embalaje) se deben almacenar en forma segura, de preferencia en espacios específicos lejos de otros materiales y desechos y de zonas de captación de aguas. 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 de proveedores de prestigio, conforme a lo aprobado por las autoridades, según proceda.

129. De ser necesario, los desechos de COP deberán separarse en la fuente con vistas a garantizar arreglos adecuados en cuanto a la recolección, incluyendo el uso de tanques de recolección, teniendo en consideración sus características peligrosas y el riesgo de exposición que estos representan.

130. Algunos de los principios básicos de la seguridad del almacenamiento de desechos de COP son los siguientes:

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 destinados al almacenamiento (los contenedores de transporte se utilizan a menudo para 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 sitios 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 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:

³⁰ Se puede consultar información adicional en *Storage of Hazardous Materials: A Technical Guide for Safe Warehousing of Hazardous Materials* (PNUMA, 1993) y *Pesticide Storage and Stock Control Manual* (FAO, 1996). Para las referencias completas véase el anexo III (Bibliografía).

- 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 planchas 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 de contención o en un área a prueba de salideros y que tenga un borde 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 (recipiente para residuos) o en envases o 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 previo³¹

131. 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 subsecciones 2 y 3 más adelante. Hay también otras operaciones de tratamiento previo que pueden llevarse a cabo. Las operaciones de tratamiento previo antes de la eliminación de conformidad con las subsecciones IV.G.2 y IV.G.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

³¹ Se puede consultar información adicional sobre el tratamiento previo en las directrices técnicas sobre desechos peligrosos del Convenio de Basilea – Tratamiento físico-químico/tratamiento biológico. PNUMA, 2000a.

subsección IV.G.2. Cuando solamente parte de un producto o desecho, como un equipo de desecho, contiene COP o está contaminado con ellos, deberá ser separado y posteriormente eliminado, como se especifica en las subsecciones IV.G.1 a 4, según proceda.

a) Adsorción y absorción

132. “Sorci3n” es el t3rmino general que se aplica a los dos procesos de adsorción y absorci3n. La sorci3n es un m3todo de tratamiento previo en el que se utilizan s3lidos para eliminar sustancias de los l3quidos o los gases. Adsorción es la separaci3n de una sustancia (l3quido, aceite, gas) de una fase y su acumulaci3n en la superficie de otra (carb3n activado, zeolita, s3lice, etc.). Absorci3n es el proceso mediante el cual un material transferido de una fase a otra penetra en la segunda fase; por ejemplo, cuando los contaminantes se transfieren de una fase l3quida a carb3n granular activado. El carb3n granular activado se aplica en general en la eliminaci3n de contaminantes org3nicos en las aguas de desecho debido a su eficacia, versatilidad y relativo bajo costo.

133. Los procesos de adsorción y absorci3n pueden servir para extraer contaminantes de los desechos l3quidos y de las corrientes de gas. Es posible que el concentrado y el adsorbente o absorbente necesiten ser tratados antes de su eliminaci3n.

b) Batido

134. Para posibilitar el tratamiento o lograr resultados 3ptimos tal vez sea apropiado antes del tratamiento batir los desechos hasta crear un material homog3neo. Sin embargo, no es ambientalmente racional batir desechos cuyos contenidos de COP son superiores al contenido definido como bajo con otros materiales a fin de crear una mezcla que tenga un contenido de COP igual o menor que el establecido en la definici3n de bajo contenido.

c) Desorción

135. La desorción abarca la desorción qu3mica y la t3rmica. La desorción t3rmica (por ejemplo, mediante el reciclado t3rmico al vacío o utilizando un reactor de lecho toroidal o un precalentador de desechos l3quidos) es una tecnología que utiliza calor para incrementar la volatilidad de los contaminantes de manera que se puedan eliminar (separar) de la matriz s3lida (por regla general suelos, fangos o torta de filtro). Existen desorbedores de fuego directo y de fuego indirecto. Los procesos de desorción t3rmica se clasifican en procesos de desorción a alta temperatura (HTTD) y de desorción t3rmica a baja temperatura (LTTD). En la HTTD los desechos se calientan a temperaturas de entre 320 °C y 550 °C y en la LTTD los desechos se calientan a temperaturas de entre 90 °C y 350 °C. La LTTD, conocida tambi3n como volatilizaci3n t3rmica a baja temperatura, purga t3rmica y calcinaci3n de suelos, se utiliza para compuestos y elementos vol3tiles y semivol3tiles (habitualmente petr3leo e hidrocarburos) de los medios contaminados (casi siempre suelos excavados). Esos procesos se han utilizado para la descontaminaci3n de las superficies no porosas del equipo el3ctrico, como el esqueleto de los transformadores que antes contenían fluidos diel3ctricos con bifenilos policlorados o las l3mparas fluorescentes que contenían mercurio. La desorción t3cnica de los desechos de COP puede dar lugar a la formaci3n no intencional de COP, lo que obligaría a aplicar otro tratamiento a los desechos tratados o a los efluentes gaseosos liberados.

d) Extracci3n de agua

136. La extracci3n de agua es un proceso de tratamiento previo que elimina parte del agua de los desechos que ser3n tratados. La extracci3n de agua se puede emplear para las tecnologías de eliminaci3n que no son apropiadas para los desechos acuosos. Por ejemplo, el agua reaccionar3 explosivamente con el sodio o las sales licuadas. Seg3n el tipo de contaminante, los vapores resultantes pueden requerir condensaci3n o depuraci3n y recibir tratamiento ulterior.

e) Desmantelamiento/desmontaje

137. El desmantelamiento o desmontaje es un tratamiento previo en el que se desmonta el equipo, los componentes o unidades de piezas para separar los materiales a fin de aumentar las opciones de reutilizaci3n, reconstrucci3n, reciclado, recuperaci3n y eliminaci3n final.

f) Disoluci3n

138. Tratamiento previo mediante el cual un desecho (l3quido, s3lido o gaseoso) se disuelve en un solvente.

g) Destilación

139. Proceso mediante el cual se separa un solvente de una mezcla al aplicarse energía térmica y gasificar componentes y luego condensar el vapor en una etapa subsiguiente. Mediante este proceso se separa el solvente, permitiendo así la recuperación subsiguiente del solvente y la reducción del volumen de los desechos destinados a su eliminación definitiva utilizando otros procesos.

h) Secado

140. El secado es un tratamiento previo que elimina el agua o un disolvente de los desechos sólidos, semisólidos o líquidos mediante evaporación. En general, una corriente gaseosa, por ejemplo, el aire, aplica el calor por convección y arrastra el vapor en la forma de humedad. El secado al vacío también puede usarse cuando el calor se suministra por conducción o radiación (o microondas), mientras que el vapor producido se puede eliminar mediante un sistema al vacío.

i) Separación mecánica

141. 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.

j) Filtración por membranas

142. La filtración por membranas es la separación de una película fina de dos o más componentes en un líquido y se utiliza como opción en el caso del tratamiento convencional de las aguas residuales. Se trata de un proceso de separación a presión o al vacío, en el que los contaminantes pueden ser rechazados por una barrera tecnológica, primordialmente gracias a un mecanismo de exclusión por tamaños. La nanofiltración y la osmosis inversa son diferentes clasificaciones del tratamiento por membranas aplicables a los COP.

k) Mezcla

143. Mezclar materiales, sin batirlos, antes del tratamiento de los desechos tal vez sea conveniente para posibilitar el tratamiento u optimizar su eficacia. Sin embargo, no es un tratamiento ambientalmente racional mezclar otros materiales con desechos cuyo contenido de COP es mayor que lo que se ha definido como bajo contenido de COP solo con el fin de generar una mezcla con igual o menor contenido de COP.

l) Separación del agua y el aceite

144. 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.

m) Ajuste del pH

145. 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 CO₂ para controlar los niveles de pH. Hay algunas tecnologías que incluso exigen un ajuste del pH después del tratamiento.

n) Sedimentación

146- La sedimentación es un proceso físico mediante el cual las partículas se asientan por gravedad. Se pueden añadir agentes químicos para facilitar el proceso de sedimentación.

o) Reducción del tamaño

147. Algunas tecnologías pueden utilizarse para procesar solamente desechos que no sobrepasan un tamaño determinado. Por ejemplo, algunas tecnologías pueden utilizarse para manipular desechos sólidos contaminados con COP solo si su diámetro es inferior a los 200 mm. En estos casos es aconsejable reducir el tamaño de los componentes de los desechos hasta un diámetro determinado. El tamaño se puede reducir mediante compresión, fractura y trituración. Otras tecnologías de eliminación exigen su preparación en forma de pasta o barros líquidos antes de colocarlos en el reactor principal. Es importante señalar que las plantas de tratamiento pueden contaminarse cuando se reduce el tamaño de los desechos de COP. Por esa razón, se deben adoptar medidas de precaución para evitar que otras corrientes de desechos que no contienen COP vayan a contaminarse.

p) Depuración con disolventes

148. La depuración con disolventes se puede utilizar para eliminar los COP de equipos eléctricos 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.

q) Estabilización y solidificación

149. Se utilizarán la estabilización y la solidificación conjuntamente para que sean ambientalmente racionales. La estabilización de los desechos es la conversión química de los elementos peligrosos de los desechos en materiales menos solubles, móviles o tóxicos. La solidificación de los desechos significa que cambian las propiedades físicas de los desechos para aumentar su resistencia a la compresión, disminuir su permeabilidad y encapsular sus componentes peligrosos. Muchas corrientes de desechos exigen un tratamiento previo o aditivos especiales antes de la estabilización y la solidificación. Es aconsejable realizar ensayos de aplicabilidad y pruebas de durabilidad antes de la estabilización y la solidificación.

r) Gasificación

150. La conversión de sustancias líquidas o sólidas a estado gaseoso, antes del tratamiento de los desechos, posiblemente sea conveniente para facilitar u optimizar la eficacia de los tratamientos.

s) Reducción del volumen

151. Es posible que la reducción del volumen de los desechos mediante compresión o compactación para hacerlos más condensados sea conveniente para facilitar la manipulación, el transporte, el almacenamiento y la eliminación de los desechos.

2. Métodos de destrucción y transformación irreversible

152. 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:

- a) D9: Tratamiento físico-químico;
- b) D10: Incineración en la tierra;
- c) R1: Utilización como combustible (que no sea en la incineración directa) u otros medios de generar energía;
- d) R4: Reciclado o recuperación de metales y compuestos metálicos, pero restringidos a las actividades de metalurgia primaria y secundaria descritas en el epígrafe k) más adelante.

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

154. En las siguientes subsecciones a) a k) se explican las operaciones disponibles en el mercado para la destrucción y la transformación irreversible ambientalmente racional del contenido de COP en los desechos, con las que se pueden lograr los niveles de destrucción y transformación irreversible a que se hace referencia en la sección III.B.³² En el cuadro 4 figura una descripción sucinta de esas operaciones. El cuadro 4 debe utilizarse junto con las siguientes subsecciones para obtener una comprensión más completa de los diversos factores que se deben considerar antes de adoptar decisiones sobre el uso de los métodos de destrucción y transformación irreversible. Cabe señalar que la legislación nacional pertinente se aplica a esas operaciones y que estas se deben llevar a cabo conforme a las normas sobre las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales elaboradas por el Convenio de Estocolmo, que se presentan en las *Directrices sobre mejores técnicas disponibles y la orientación provisional sobre mejores prácticas ambientales de conformidad con el artículo 5 y el anexo C del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes* (PNUMA, 2007). De no realizarse las operaciones de acuerdo con las normas descritas en la orientación sobre las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales, podrían producirse y liberarse al medio ambiente contaminantes orgánicos persistentes.

³² Si necesita más información sobre las tecnologías existentes y emergentes, puede consultar PNUMA, 2004a; volúmenes A y B de PNUMA, 2002a (actualmente en proceso de actualización) y en STAP, 2011; PNUMA, 2007. Para las referencias completas véase el anexo III (Bibliografía).

155. Las tecnologías emergentes no aparecen descritas en la presente subsección debido a que su disponibilidad en el mercado y su rendimiento en cuanto a la destrucción y transformación irreversible no están documentados.

156. Para evaluar los resultados de las operaciones señaladas en las siguientes subsecciones a) a k), un mínimo del 99,999 % de eficacia de destrucción y 99,9999 % de eficacia de destrucción y eliminación como requisito complementario, cuando proceda, constituyen parámetros de referencia prácticos para evaluar los resultados de las tecnologías de eliminación. Tal vez sea preferible una eficacia de destrucción más alta, según el caso. La eficacia de la destrucción y la eficacia de destrucción y eliminación deberán utilizarse en conjunto para demostrar el grado de destrucción y de transformación irreversible; dado que ni la ED ni la EED tienen en cuenta el potencial de transformación del COP original en un COP de producción no intencional, las liberaciones potenciales de COP producidos de manera no intencional deberían tomarse en consideración al seleccionar una operación en particular.

Cuadro 4: Resumen de las tecnologías para la destrucción y transformación irreversible de los COP en los desechos

Tecnología	COP									
	BDE que son COP	Plaguicidas que son COP	HBB	HBCD	HCBD	PCB	PCDD/PCDF	PCN	PCP	PFOS
a) Reducción de metales alcalinos	n.d.*	Sí, para determinados plaguicidas: clordano, HCH	n.d.	n.d.	n.d.	Sí	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
b) Incineración avanzada de desechos sólidos	Sí	n.d.	n.d.	Sí	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Sí	n.d.
c) Descomposición catalizada por bases	n.d.	Sí, para determinados plaguicidas: clordano, HCH, DDT, HCB	n.d.	n.d.	n.d.	Sí	Sí	n.d.	Sí	n.d.
d) Hidrodecloración catalítica	n.a.**	n.d.	n.d.	n.a.	n.d.	Sí	Sí	n.d.	n.d.	n.a.
e) Coincineración en hornos de cemento	Sí	Sí, para todos los plaguicidas	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
f) Reducción química en fase gaseosa	Sí	Sí, para todos los plaguicidas	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
g) Incineración de desechos peligrosos	Sí	Sí, para todos los plaguicidas	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
h) Arco de plasma	n.d.	Sí, para la mayoría de los plaguicidas, incluyendo clordano, clordecona, DDT, endosulfán, heptacloro	n.d.	n.d.	n.d.	Sí	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
i) Método de descomposición por fusión de plasma	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Sí	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
j) Oxidación en agua supercrítica y oxidación en agua subcrítica	n.d.	Sí, para determinados plaguicidas: clordano y DDT	n.d.	n.d.	n.d.	Sí	Sí, para las PCDD	n.d.	n.d.	n.d.
k) Producción térmica y metalúrgica de metales	Sí	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Sí	n.d.	n.d.	n.d.

* n.d. (no determinado) significa que no se dispone de información que confirme el uso de esa tecnología en el caso de ciertos COP.

** n.a.: no aplicable

a) **Reducción de metales alcalinos³³**

157. *Descripción del proceso:* La reducción por metal alcalino supone el tratamiento de los desechos con metales alcalinos dispersos. Los metales alcalinos reaccionan con el cloro en los desechos halogenados para producir sales y desechos no halogenados. Es característico que el proceso funcione a presión atmosférica y a temperaturas entre 60 °C y 180 °C.³⁴ El tratamiento puede tener lugar ya sea *in situ* (por ejemplo, en el caso de transformadores contaminados con bifenilos policlorados) o *ex situ* en recipientes de reacción. Este proceso admite diversas variantes (Piersol, 1989). Si bien se han utilizado el potasio y la aleación de potasio y sodio como agentes reductores, el agente reductor más comúnmente utilizado es el sodio metálico. La información analizada en el resto de esta subsección se basa en experiencias obtenidas con el uso del sodio metálico.

158. *Eficacia:* Se ha informado de valores de eficacia de la destrucción (ED) superiores al 99,999 % y de valores de eficacia de eliminación de la destrucción del 99,9999 % para el clordano, el hexaclorobenceno y los bifenilos policlorados (Ministerio de Medio Ambiente del Japón, 2004). Se ha demostrado que el proceso de reducción del sodio cumple los criterios reglamentarios en Australia, el Canadá, los Estados Unidos de América, el Japón, Sudáfrica y la Unión Europea en el tratamiento del aceite de transformadores que contiene BPC, es decir menos de 2 mg/kg en residuos sólidos y líquidos (PNUMA, 2004b).

159. *Tipos de desechos:* Se ha ensayado el proceso de reducción por sodio en aceites contaminados con PCB con concentraciones de hasta 10.000 mg/kg. Algunos proveedores han afirmado que este proceso tiene la capacidad de servir como tratamiento de condensadores y transformadores en su totalidad (PNUMA, 2004a). También se ha referido que la reducción de metales alcalinos es aplicable al clordano y al HCH como plaguicidas de desecho (Ministerio de Medio Ambiente del Japón, 2004).

160. *Tratamiento previo:* Se podrá proceder al tratamiento *ex situ* tan pronto se hayan extraído los BPC con disolventes. El tratamiento de condensadores y transformadores completos podría realizarse después de haberlos cortado para reducir su tamaño. El tratamiento previo debe incluir la extracción de agua por fases de separación, evaporación u otros métodos (ONUDI, 1987) para evitar reacciones explosivas con el sodio metálico. El equipo deberá lavarse con disolventes orgánicos. De la misma manera, los COP que sean sólidos o hayan sido adsorbidos tendrán que ser disueltos hasta la concentración requerida o extraídos de sus matrices (Piersol, 1989 y PNUMA, 2004a).

161. *Emisiones y residuos:* Las emisiones a la atmósfera incluyen las de gases de nitrógeno e hidrógeno. Previsiblemente las emisiones de compuestos orgánicos tienen relativamente menos importancia (Piersol, 1989). Se ha señalado, no obstante, que a temperaturas tan bajas como 150 °C se pueden formar PCDD y PCDF a partir de los clorofenoles en condiciones alcalinas (Weber, 2004). Los residuos que se producen durante el proceso son cloro, hidróxido de sodio, polifenilos y agua. En algunas variaciones se ha formado un polímero solidificado (PNUMA, 2000).

162. *Control de las liberaciones y tratamiento posterior:* Tras una reacción, los subproductos se pueden separar del aceite combinando el filtrado y la centrifugación. El aceite descontaminado puede ser reutilizado, el cloruro de sodio puede ser reutilizado o eliminado en un vertedero y el polímero solidificado se puede eliminar en un vertedero (PNUMA, 2000) sin tratamiento posterior o en todo caso con un tratamiento mínimo. Según la tecnología aplicada, la combinación de la filtración y la centrifugación puede ser el tratamiento y la neutralización de gases de exhaustación o la conservación de los residuos. El exceso de sodio que no se neutraliza posiblemente haya que recuperarlo. Los productos líquidos que no se reutilicen y los productos poliméricos solidificados, por regla general, deberán quemarse en incineradores y habrá que eliminar las sales inorgánicas. Mediante el uso de carbón activado se podrán absorber pequeñas cantidades de compuestos orgánicos volátiles (ONUDI, 2007).

163. *Necesidades de energía:* Se prevé que las necesidades de energía inmediatas sean relativamente pocas dado que el proceso de reducción por sodio tiene lugar a bajas temperaturas.

164. *Necesidad de materiales:* Para que este proceso funcione hace falta sodio (PNUMA, 2004a).

165. *Movilidad:* Este proceso existe en configuraciones fijas y transportables (PNUMA, 2000)

166. *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, que es un gas inflamable y explota

³³ Puede consultarse información adicional en PNUMA, 1998, PNUMA, 2000 y Pnuma, 2004a.

³⁴ Ariizumi *et al.*, 1997.

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 contacto del agua (o algunas otras sustancias) con el sodio metálico.

167. *Capacidad:* Las plantas móviles pueden procesar hasta 15.000 litros diarios de aceites de transformadores contaminados con PCB (PNUMA, 2000).

168. *Otras cuestiones prácticas:* La reducción por sodio utilizada para el tratamiento in situ de los aceites de transformadores contaminados con PCB posiblemente no destruya todos los bifenilos policlorados contenidos en las partes porosas internas del transformador. Algunos autores han señalado que no hay suficiente información sobre la caracterización de los residuos (PNUMA, 2000).

169. *Estado de la comercialización:* La reducción de metales alcalinos se ha utilizado comercialmente durante unos 25 años y todavía se utiliza en la actualidad. En el Japón se instalaron tres plantas a escala comercial en 2004, 2005 y 2009 que actualmente están en funcionamiento (JESCO, 2009a; JESCO, 2009b; JESCO, 2013).

b) Incineración avanzada de desechos sólidos

170. *Descripción del proceso:* Existen diversos tipos de incineradores de desechos urbanos y no todas las tecnologías de estos incineradores o instalaciones son capaces de destruir adecuadamente los COP contenidos en los desechos. Los incineradores avanzados de desechos están concebidos para tratar de manera segura los contaminantes presentes en los desechos sólidos urbanos y en otros desechos comerciales e industriales similares, usualmente en hornos de rejillas que funcionan a altas temperaturas, y que emplean tecnología de punta de control de la contaminación. Los procesos de incineración avanzada de desechos sólidos (ASWI) presuponen el mantenimiento de una temperatura mínima de 850°C en las cámaras de combustión con un tiempo de residencia en la fase gaseosa de al menos dos segundos. También existen plantas de incineración para desechos de madera que son capaces de incinerar desechos de madera que contengan o estén contaminados con PCP en las mismas condiciones antes descritas (Comisión Europea, 2011). Las condiciones y requisitos de funcionamiento de los procesos antes descritos deben ser estrictos y cumplir los niveles de destrucción y de transformación irreversible estipulados en la subsección IV.G.2. Ciertos países han incluido estos requisitos en sus respectivas legislaciones nacionales.³⁵

171. Con vistas a destruir adecuadamente el HBCD contenido en los desechos se requieren temperaturas superiores a los 850°C. En el caso de un ensayo de prueba a gran escala del tratamiento de desechos de espuma de poliestireno (EPS y XPS) que contiene HBCD en el incinerador municipal de desechos sólidos de Würzburg (Alemania), donde el material de entrada contenía de 1 a 2 %/peso de este desecho de espuma que contenía 6 000 a 21 000 mg/kg de HBCD, la temperatura de combustión necesaria fue de 900 a 1 000°C (Mark *et al.*, 2015). En el caso del ensayo de prueba a gran escala del tratamiento de desechos electrónicos en el incinerador municipal de desechos sólidos de Tamara (Alemania), donde el material de entrada contenía entre 2,5 y 3,5 % de bromo, incluyendo BDE que son COP, la temperatura fue de 1 000 °C (Vehlow, 2002). Los resultados de este ensayo fueron confirmados por un estudio en una instalación a gran escala que se realizó en Noruega, donde el total de material de entrada de pirorretardantes bromados fue inferior a 500 g/h (Borgnes & Rikheim, 2005). En el caso de la incineración o coincineración de desechos peligrosos con un contenido de más de 1 % de sustancias orgánicas halogenadas expresadas como cloro, se requiere una temperatura de, al menos, 1 100°C.

172. Durante la incineración se liberan gases de combustión que contienen la mayor parte de la energía combustible disponible en forma de calor. Las sustancias orgánicas de los desechos se queman una vez alcanzada la temperatura de ignición. Cabe señalar que puede resultar necesario agregar otros combustibles a fin de ajustar la temperatura durante la incineración, así como durante el encendido y el apagado de los hornos.

173. Debe tenerse en cuenta que los desechos residuales usualmente contienen pequeñas cantidades de metales pesados, azufre y cloro, y pueden contener pequeñas cantidades de pirorretardantes en el caso de los desechos de plástico o textiles. Estas sustancias se encuentran en prácticamente todas las fracciones de desechos residuales y en diversos compuestos químicos. Por tal razón, los requisitos

³⁵ Véase el capítulo 4 de la Directiva 2010/75/UE de la Unión Europea sobre emisiones industriales. Esta directiva sustituyó la Directiva 2008/1/CE (prevención y control integrados de la contaminación) y tiene como propósito reducir al mínimo la contaminación de diferentes fuentes industriales en toda la Unión Europea. Los operadores de las instalaciones industriales que realizan actividades contempladas en el anexo I de la Directiva están obligados a obtener un permiso integral de las autoridades de los países miembros de la Unión Europea.

técnicos de los sistemas que garantizan el tratamiento seguro de los desechos residuales son muy complejos.³⁶

174. La orientación sobre las MTD/MPA elaboradas por el Convenio de Estocolmo en relación con el artículo 5 y el anexo C, deben ser empleadas y aplicadas a esta tecnología (UNEP, 2007).

175. *Eficacia:* En condiciones apropiadas de combustión, los compuestos orgánicos se destruyen durante la incineración.³⁷ Informes del Panel de Evaluación Tecnológica y Económica (TEAP) del Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono, en particular un informe de 2002 del Grupo de trabajo especial del TEAP sobre las Tecnologías de Destrucción (TFDT), demostró la alta eficacia de destrucción de la ASWI en el caso de sustancias halogenadas tales como los CFC y los HCFC en espumas de poliestireno.

176. En el ensayo de prueba a gran escala realizado en el incinerador de desechos sólidos urbanos de Würzburg se demostró que la ASWI era capaz de destruir el HBCD con una eficacia del 99,999 % en el caso de espumas de EPS y XPS.³⁸ Ha quedado demostrado que la combustión controlada puede lograr un DE superior al 99,9 % en el caso de la madera tratada que contiene PCP.³⁹

177. *Tipos de desechos:* Los incineradores avanzados de desechos sólidos están concebidos para incinerar MSW, incluidos los desechos residuales, pero también pueden tratar algunos desechos provenientes de la industria y del comercio.⁴⁰ Un ensayo de prueba a gran escala demostró que una ASWI es apropiada para la incineración de desechos de espuma de poliestireno (EPS y XPS) que contienen HBCD.⁴¹ La ASWI ha demostrado poder tratar desechos que contienen BDE que son COP (Borgnes & Rikheim, 2005; Vehlow, 2002; OECD, 1998; Comisión Europea, 2011). Los desechos de madera que contienen o están contaminados con PCP pueden incinerarse en instalaciones de incineración especiales para desechos de madera (Comisión Europea, 2011).

178. *Tratamiento previo:* Los desechos se pueden mezclar en un bunker para mantener constante su valor calorífico. La reducción de volumen (por compresión o trituración) es necesaria en el caso de desechos a granel.

179. *Emisiones y residuos:* Entre las emisiones se encuentran el dióxido de carbono, vapor de agua, cloruro de hidrógeno, fluoruro de hidrógeno, dióxido sulfúrico y otros óxidos de sulfuro, partículas, óxidos de nitrógeno, carbón orgánico total (TOC), PCDD/PCDF, metales pesados y monóxido de carbono,⁴² y pueden presentarse también PBDD y PBDF (PNUMA, 2007). Otras emisiones son el bromuro de hidrógeno y el PXDD/PXDF.⁴³ Los incineradores que aplican las MTD y BAT que, entre otros fines, están concebidos para funcionar a altas temperaturas a fin de reducir al mínimo la nueva formación de PCDD y PCDF y de eliminar PCDD y PCDF (por ejemplo, con el uso de filtros de carbón activado), han arrojado emisiones de PCDD y PCDF al aire y descargas al agua muy bajas.⁴⁴

180. En los residuos, las PCDD y los PCDF se encuentran principalmente en las cenizas volantes y en residuos de la limpieza de gas de combustión, en cantidades que oscilan entre 0,0008 y 35 ng TEQ/g, mientras las cenizas de fondo (que representan el mayor flujo de masa de residuos de la incineración de desechos) y el lodo de agua de lavado contienen una cantidad comparativamente pequeña de PCDD y PCDF.⁴⁵ De conformidad con el estudio de planta realizado en Noruega, la emisión al aire de éteres de difenilo polibromado fue de 3,5 ng/Nm³ (Borgnes & Rikheim, 2005).

181. *Control de liberaciones y tratamiento posterior:* Los gases de proceso por regla general necesitan un tratamiento para eliminar el cloruro y el fluoruro de hidrógeno, el sulfuro y los óxidos de nitrógeno, metales pesados y materias en partículas, así como para evitar la formación de COP producidos de manera no intencional o para eliminarlos. Esto puede lograrse mediante el uso combinado de equipos de limpieza, incluidos precipitadores electrostáticos, filtros textiles, depuradores, de la reducción selectiva catalítica o no catalítica y de la adsorción de carbono. En dependencia de sus

³⁶ Véase Ministerio Federal de Agricultura, Silvicultura, Medio Ambiente y Ordenación de los Recursos Hídricos de Austria, 2010.

³⁷ Véase BiProBiPRO GmbH, 2005.

³⁸ Véase Mark *et al.*, 2015.

³⁹ Véase Comisión Europea, 2011.

⁴⁰ Véase Comisión Europea, 2006.

⁴¹ Véase Mark *et al.*, 2015.

⁴² Véase Comisión Europea, 2006.

⁴³ Véase Mark *et al.*, 2015.

⁴⁴ Véase PNUMA, 2001.

⁴⁵ Véase BiPRO GmbH, 2005.

características, es posible que las cenizas de fondo y las cenizas volantes necesiten eliminarse dentro de un vertedero de diseño especial o almacenarse de forma permanente en minas y formaciones subterráneas o ser utilizadas como relleno en minas de sal.⁴⁶

182. *Necesidades de energía:* La cantidad de combustible de combustión necesario depende de la composición de los desechos que se vayan a tratar y de las tecnologías de tratamiento del gas de combustión que se empleen.
183. *Necesidad de materiales:* Podrá hacer falta cal, bicarbonato de sodio, carbón activado y otros materiales apropiados para la eliminación de gases ácidos y otros contaminantes.
184. *Movilidad:* Todas las instalaciones de incineración avanzada son estacionarias.
185. *Salud y seguridad:* Con vistas a garantizar que se tomen las medidas sanitarias y de seguridad adecuadas, las plantas de incineración avanzada deben estar concebidas y operadas de conformidad con los capítulos pertinentes de la Directiva 2010/75/EU de la Unión Europea sobre emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación) y el Documento de Referencia (BREF) sobre Mejores Técnicas Disponibles (MTD) sobre Incineración de Residuos (véase la sección 2.8.5 “Visión general de dispositivos y medidas de seguridad”) (Comisión Europea, 2006).
186. *Capacidad:* Cada instalación de incineración avanzada puede tratar entre 30 000 y más de 1 millón de toneladas de desechos al año. Debido al gran volumen de espumas de poliestireno que contienen HBCD (las cuales poseen altos volúmenes y densidades de entre 15 y 40 kg/m³), se recomienda el uso de 1 a 2 % por peso de estas espumas, lo cual representa entre el 15 y el 30 % por volumen (Mark *et al.*, 2015).
187. *Otras cuestiones prácticas:* No hay cuestiones prácticas que informar por el momento.
188. *Estado de la comercialización:* La experiencia con la incineración de desechos urbanos tiene una larga historia.⁴⁷ Actualmente en Europa hay algunas instalaciones en funcionamiento.

c) Descomposición catalizada por bases⁴⁸

189. *Descripción del proceso:* Este proceso supone el tratamiento de los desechos en presencia de una mezcla de reactivos que consiste en un aceite donador de hidrógeno, un hidróxido de metales alcalinos y un catalizador patentado. Cuando la mezcla se calienta a más de 300 °C, el reactivo produce hidrógeno atómico altamente reactivo. El hidrógeno atómico reacciona con el desecho eliminando los constituyentes que aportan toxicidad a los compuestos.
190. *Eficacia:* Se ha informado una ED de 99,99 a 99,9999 % para el diclorodifeniltricloroetano, el HCB, los PCB, las PCDD y los PCDF (PNUMA, 2000), el HCH y el PCP (PNUMA, 2004c). En el caso del clordano y del HCH se han informado ED superiores al 99,999 % y EDE superiores al 99,9999 % (Ministerio de Medio Ambiente del Japón, 2004). También hay informes de que se puede lograr una reducción de los componentes orgánicos clorados de menos de 2 mg/kg (PNUMA, 2001).
191. *Tipos de desechos:* La descomposición catalizada por bases debería ser aplicable a otros COP, además de los mencionados en el párrafo anterior, por ejemplo, DDT, PCB, PCDD Y PCDF. (PNUMA, 2004a y Vijgen, 2002). Se deberá poder tratar mediante descomposición catalizada por bases los desechos que tengan una alta concentración de COP, cuya aplicabilidad a los desechos con un contenido de PCB superior al 30 % por peso haya sido demostrada (Vijgen, 2002). Pese a que existen informes de que la formación de sal en la mezcla tratada podría limitar la concentración de material halogenado que se pudiera tratar mediante descomposición catalizada por bases, informes más recientes sugieren que este problema ha sido eliminado (véase párrafo 202 *infra*).
192. *Tratamiento previo:* Los suelos pueden ser tratados directamente. No obstante, para ello quizás sea necesario aplicar diferentes tipos de tratamiento previo:
- a) Habría que eliminar las partículas mayores tamizándolas y triturándolas para reducir su tamaño; o
 - b) Quizás se deba ajustar el pH y el grado de humedad.

⁴⁶ Véase Comisión Europea, 2006.

⁴⁷ Véase Comisión Europea, 2006.

⁴⁸ Se puede obtener información adicional de *CMPS&F – Environment Australia*, 1997; Costner, Luscombe y Simpson, 1998; *Danish Environmental Protection Agency (EPA)*, 2004; Rahuman, Pistone, Trifirò y Miertu, 2000; PNUMA, 1998; PNUMA, 2001; PNUMA, 2004a y Vijgen, 2002.

193. 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 sódico antes de ser introducido en el dispositivo de desorción térmica. Se deberá evaporar el agua del medio acuoso, incluso del lodo húmedo, antes del tratamiento. Los condensadores pueden ser sometidos a tratamiento luego de haberse reducido su tamaño mediante trituración. En presencia de disolventes volátiles, como en el caso de los plaguicidas, habrá que eliminarlos mediante destilación antes del tratamiento (*CMPS & F – Environment Australia 1997*).
194. *Emisiones y residuos*: Cabe esperar que las emisiones a la atmósfera tengan una importancia relativa mínima. Sin embargo, se ha observado que se pueden formar PCDD a partir de los clorofenoles en condiciones alcalinas a temperaturas tan bajas como 150 °C (Weber, 2004). Otros residuos que se producen durante la reacción a la descomposición catalizada por bases son fangos que contienen principalmente agua, sal, aceite donador de hidrógeno no usado y residuos de carbono. El proveedor afirma que los residuos de carbono son inertes y no tóxicos. Para más información remítase a las publicaciones de *BCD Group Inc.*
195. *Control de liberaciones y tratamiento posterior*: Según el tipo de aceite donador de hidrógeno que se utilice, la suspensión acuosa puede ser tratada de diferentes maneras. Si se ha utilizado fueloil núm. 6, los fangos se pueden eliminar como combustible en un horno de cemento. Si se utilizan aceites más refinados, la extracción de los fangos puede hacerse por gravedad o centrifugación. Los aceites se pueden volver a utilizar y los fangos restantes se pueden volver a tratar para utilizarlos como agente neutralizante o eliminarse en un vertedero (PNUMA, 2004a). Además, las plantas de descomposición catalizada por bases están equipadas con trampas de carbón activado para reducir al mínimo las liberaciones de compuestos orgánicos volátiles en las emisiones gaseosas.
196. *Necesidades de energía*: Se prevé que las necesidades de energía sean relativamente bajas dadas las bajas temperaturas de operación asociadas con el proceso de descomposición catalizada por bases.
197. *Necesidad de materiales*:
- a) Aceite donador de hidrógeno;
 - b) Carbonato, bicarbonato o hidróxido de metal alcalino o alcalino térreo, como el bicarbonato sódico. La cantidad de álcali requerido depende de la concentración de contaminante halogenado contenido en el medio (*CMPS & F – Environment Australia, 1997*; Las cantidades oscilan entre el 1 % y aproximadamente el 20 % en peso del medio contaminado; y
 - c) Catalizador patentado que representa 1% por volumen de aceite donador de hidrógeno.
198. Se considera que ya se dispone del *equipo* apropiado para este proceso (Rahuman *et al.*, 2000).
199. *Movilidad*: Se han fabricado plantas modulares, móviles y fijas.
200. *Salud y seguridad*: En general, se consideran mínimos los riesgos para la salud y la seguridad relacionados con el funcionamiento de esta tecnología, aunque una planta de descomposición catalítica por bases en Melbourne (Australia) quedó fuera de servicio a raíz de un incendio en 1995. Se considera que el incendio se produjo durante la manipulación de una vasija de almacenamiento sin protector para el nitrógeno. Algunos otros tratamientos previos, como el tratamiento alcalino previo de los condensadores y la extracción de disolventes conllevan importantes riesgos de incendio y explosiones, aunque estos se pueden reducir al mínimo aplicando medidas de precaución apropiadas (*CMPS&F – Environment Australia, 1997*).
201. *Capacidad*: Mediante el proceso de descomposición catalítica por bases se pueden tratar hasta 2 500 galones de desechos por lote, y de dos a cuatro lotes por día (Vijgen, 2002).
202. *Otras cuestiones prácticas*: Dado que el proceso de descomposición catalítica por bases supone la extracción del cloro del compuesto de desechos, el proceso de tratamiento puede dar por resultado un aumento de la concentración de especies de menor cloración, lo que pudiera ser motivo de preocupación en el tratamiento de las PCDD y PCDF, donde los congéneres menos clorados son más tóxicos que los congéneres más clorados. De ahí la importancia de que se haga un seguimiento adecuado del proceso para asegurar que la reacción se realice completamente. En el pasado, se había informado de que el proceso de descomposición catalítica por bases no podía tratar desechos de alta concentración debido a la acumulación de sales (*CMPS&F – Environment Australia 1997*). Sin embargo, en los últimos tiempos se ha informado de que esto ha dejado de ser un problema (Vijgen, 2002 y PNUMA, 2004a).
203. *Estado de la comercialización*: El proceso de DCB se ha utilizado en dos establecimientos comerciales en Australia, uno de los cuales se encuentra aún en funcionamiento. Otro sistema comercial

ha estado funcionando en México desde 1999. Además, los sistemas de descomposición catalítica por bases se han utilizado en proyectos en Australia, República Checa, España y los Estados Unidos de América.

d) Hidrodechloración catalítica

204. *Descripción del proceso:* La hidrodechloración catalítica supone el tratamiento de los desechos con un catalizador de gas de hidrógeno y paladio sobre carbono (Pd/C) disperso en petróleo lampante. El hidrógeno reacciona con el cloro en los desechos halogenados para producir cloruro de hidrógeno (HCl) y desechos no halogenados. En el caso de los PCB, el bifenilo es el producto principal. El proceso funciona a una presión atmosférica y a temperaturas de 180 °C a 260 °C (Sakai, Peter y Oono, 2001; Noma, Sakai y Oono, 2002; y Noma, Sakai y Oono, 2003a y 2003b).

205. *Eficacia:* Se ha informado de ED del 99,98 al 99,9999 % para los PCB. Se ha informado también de que se puede lograr reducción del contenido de PCB a menos de 0,5 mg/kg.

206. *Tipos de desechos:* Se ha ensayado la hidrodechloración catalítica con PCB extraídos de condensadores usados. También se han dechlorado las PCDD y los PCDF contenidos en los PCB como impurezas. Un proveedor ha afirmado también que los desechos clorados en estado líquido o disueltos en los disolventes se pueden tratar mediante la hidrodechloración catalítica.

207. *Tratamiento previo:* Se deben extraer los bifenilos policlorados y las PCDD y los/PCDF utilizando disolventes o aislándolos mediante gasificación. Las sustancias que tienen un punto de ebullición bajo, como el agua o los alcoholes, se deben eliminar por destilación antes del tratamiento.

208. *Emisiones y residuos:* No se producirán emisiones durante la reacción de dechloración debido a que tiene lugar en un sistema cerrado de circulación de hidrógeno. No se descarga HCl de la reacción porque se recoge con agua en la forma de ácido clorhídrico en el sistema de circulación. El bifenilo aislado después de la reacción mediante destilación no contiene ningún material tóxico.

209. *Control de las liberaciones y tratamiento posterior:* El bifenilo, que es el producto principal, se separa del disolvente de la reacción mediante destilación después de la reacción, y el catalizador y el disolvente de la reacción se reutilizan en la siguiente reacción.

210. *Necesidades de energía:* Se espera que las necesidades de energía sean relativamente bajas debido a las bajas temperaturas de funcionamiento que requiere el proceso de hidrodechloración catalítica.

211. *Necesidad de materiales:* El proceso de hidrodechloración catalítica requiere el mismo número de átomos de hidrógeno que los de cloro en los PCB, y también 0,5% por peso del catalizador.

212. *Movilidad:* Hay configuraciones fijas y móviles para la hidrodechloración catalítica, según el volumen de PCB que se va a tratar.

213. *Salud y seguridad:* El uso de gases de hidrógeno requiere controles y salvaguardias adecuados para garantizar que no se formen mezclas explosivas de aire e hidrógeno.

214. *Capacidad:* En el Japón, se construyó y está en funcionamiento una planta capaz de tratar 2 Mg de PCB diarios mediante el proceso de hidrodechloración catalítica. También están funcionando plantas en Canton (Estados Unidos de América) y en Young (Australia). No existe información sobre las capacidades de tratamiento de esas plantas.

215. *Otras cuestiones prácticas:* Hay numerosos informes sobre la dechloración de los PCB mediante el uso de la hidrodechloración catalítica. Por regla general, los catalizadores de Pd/C muestran la tasa de degradación más alta frente a los demás catalizadores metálicos recomendados. Las temperaturas de reacción pueden aumentar hasta 260 °C cuando se utiliza petróleo lampante como disolvente de reacción.

216. *Estado de la comercialización:* En el Japón, se construyó en 2006 una planta de escala comercial en la instalación de Osaka de la *Japan Environmental Storage & Safety Corporation* (JESCO), y los PCB extraídos de los transformadores y condensadores son sometidos a tratamiento mediante un proceso de hidrodechloración catalítica (JESCO, 2009c).

e) **Coincineración en hornos de cemento**⁴⁹

217. *Descripción del proceso:* Por regla general, los hornos de cemento consisten en un cilindro largo de 50 a 150 metros de longitud, algo inclinados respecto de la horizontal (gradiente de 3 a 4 %), que rota a entre 1 y 4 revoluciones por minuto. En el extremo superior o “frío” de horno rotatorio se alimenta la materia prima, sea carbonato cálcico, sílice u óxidos de aluminio o hierro. La inclinación y la rotación hacen que los materiales se muevan hacia el extremo inferior o “caliente” del horno. El horno se enciende por el extremo inferior, donde la temperatura alcanza los 1.400 °C a 1.500 °C. A medida que los materiales se mueven dentro del horno, van experimentando reacciones de secado y tratamiento térmico hasta formar el clínker.

218. Posiblemente haya que modificar de alguna manera los hornos de cemento donde se tratan desechos.⁵⁰ Se deberán seleccionar puntos de alimentación suficientes, según las características de los desechos, ya sean físicas, químicas o toxicológicas. Por ejemplo, los compuestos tóxicos combustibles que contienen algunos desechos peligrosos, como las sustancias orgánicas halogenadas, tienen que ser destruidas totalmente aplicando la temperatura apropiada y el tiempo de permanencia en el horno que corresponda. En los hornos con precalentador o precalcinerador, los desechos peligrosos se alimentarán por regla general, ya sea al quemador principal o al secundario. Los haluros (por ejemplo, los cloruros, bromuros y fluoruros) influyen en la calidad del cemento, por lo que debe limitarse su presencia. El cloro puede hallarse en las materias primas utilizadas para fabricar el cemento, por lo que los niveles totales de halógenos (por ejemplo, cloro, bromo y fluor) en los desechos peligrosos pueden ser críticos (Comisión Europea, 2013). Sin embargo, si se han reducido suficientemente mediante batido, los hornos de cemento pueden tratar desechos peligrosos altamente clorados.

219. Un posible punto de alimentación para alimentar los desechos sería:

- a) El quemador principal situado en el conducto de salida del horno rotatorio;
- b) Una tolva de alimentación en la cámara de transición del conducto de admisión del horno rotatorio (para combustible a granel);
- c) Los quemadores secundarios del conducto ascendente;
- d) Los quemadores de precalcineración del precalcinerador;
- e) La tolva de alimentación del precalcinerador o precalentador (para el combustible a granel);
- f) La válvula situada en medio del horno en el caso de hornos profundos húmedos y secos (para el combustible sin quemar) (PNUMA, 2004b).

220. La orientación sobre las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales, elaborada por el Convenio de Estocolmo de conformidad con el artículo 5 y el anexo C relativas a la incineración de desechos peligrosos en hornos de cemento, deberá utilizarse y aplicarse en esta tecnología (PNUMA, 2007).

221. *Eficacia:* En varios países se ha informado de eficacias de eliminación de la destrucción superiores a 99,99998 % en el caso de los PCB. La planta debe demostrar su capacidad para destruir (por combustión) o eliminar (mediante depósito en los conductos o en dispositivos de control de la contaminación atmosférica) al menos 99,9999 % de los COP⁵¹ que se tratan de destruir. Informes sobre la eficacia de destrucción y de destrucción y eliminación del DDT indican valores que oscilan entre 99,9335 y 99,9998 % y entre 99,9984 y 99,9999 %, respectivamente (Yan *et al.*, 2014) y las EED superiores a 99,9999 % (Li *et al.*, 2012). Teniendo en cuenta las temperaturas muy altas y el largo tiempo de residencia encontrados en los hornos de cemento de alta tecnología de las plantas de coincineración, se prevé que también se destruyan el PCN, el PCP y el HCB (Agencia Federal de Medio Ambiente de Alemania, 2015). Las limitaciones para hacer que el proceso funcione pueden llegar a ser significativas cuando determinados compuestos, por ejemplo, elementos volátiles que circulan, como cloro, azufre o álcalis, están presentes en cantidades excesivas (Karstensen, 2008).

⁴⁹ Se dispone de información adicional de *CMPS&F – Environment Australia*, 1997; Costner *et al.*, 1998; *Danish Environmental Protection Agency*, 2004; Karstensen, 2001; Rahuman *et al.*, 2000; Stobiecki *et al.*, 2001 y PNUMA, 1998. Además, se dispone de información sobre las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales respecto de la incineración de desechos peligrosos en los hornos de cemento de la Comisión Europea.

⁵⁰ Véase *CMPS&F – Environment Australia*, 1997 y PNUMA, 2004b.

⁵¹ Karstensen *et al.*, 2009.

222. *Tipos de desechos*: Prácticamente todo compuesto orgánico puede destruirse a una temperatura mínima de 1 400 °C en un horno de cemento que funcione adecuadamente (PNUMA, 2002a). En los hornos de cemento se pueden tratar desechos líquidos y sólidos por igual.⁵²
223. *Tratamiento previo*: El tratamiento previo puede suponer:
- a) La desorción térmica de los desechos sólidos;
 - b) La homogeneización de los desechos sólidos y líquidos mediante secado, fracturación, batido, mezcla y trituración;
 - c) La reducción del volumen; y
 - d) El batido.
224. *Emisiones y residuos*: La coincineración en hornos de cemento de desechos peligrosos está recogida como una categoría de fuente industrial que posee una capacidad potencial relativamente alta para formar y liberar de manera no intencional los contaminantes orgánicos persistentes enumerados en el anexo C del Convenio de Estocolmo. Se pueden producir emisiones de, entre otros, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, 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, clorobenzenos y PCB (PNUMA, 2004b) y PCN (Liu *et al.*, 2016). Cabe señalar que los hornos de cemento pueden cumplir niveles de emisión a la atmósfera de PCDD y PCDF por debajo de 0,1 ng EQT/Nm³, a pesar de que los desechos con altos niveles de cloro deben ser alimentados junto con otros desechos para evitar niveles de emisión nocivos, en particular en hornos húmedos y secos (largos). Los residuos son el polvo de los hornos de cemento capturados por los sistemas de control de la contaminación del aire.
225. *Control de las liberaciones y tratamiento posterior*: Los gases del proceso tienen que ser tratados para eliminar el polvo del horno de cemento y los compuestos orgánicos, el dióxido de azufre y el óxido de nitrógeno; también tienen que ser calentados 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.⁵³ Los polvos del horno de cemento recuperados deben ser realimentados a los hornos, en la mayor medida posible, mientras que el resto tal vez deba ser eliminado en un vertedero de relleno o almacenado en forma permanente en una formación o mina subterránea.
226. *Necesidades de energía*: En el caso de las plantas nuevas y mayormente renovadas que utilizan hornos de proceso en seco con precalentamiento y precalcificación en varias etapas, el consumo de energía asociado a las mejores técnicas disponibles es de 2 900 a 3 200 MJ/t de clinker en condiciones de operación normales (excepto, por ejemplo, en puestas en marcha y paradas) y optimizadas (lo cual no se aplica a las plantas que producen clinker de cemento especial o cemento blanco que requieren temperaturas de proceso significativamente más altas debido a las especificaciones del producto). La capacidad de producción influye en la demanda de energía, donde las mayores capacidades arrojan ahorros de energía y las menores capacidades requieren más energía. El consumo de energía también depende del número de etapas del precalentador de ciclones, donde a mayor cantidad de etapas del precalentador de ciclones menor será el consumo de energía del proceso del horno. El número adecuado de etapas de precalentador de ciclones está determinado principalmente por el contenido de humedad de las materias primas (Comisión Europea, 2013).
227. *Necesidad de materiales*: La fabricación de cemento requiere grandes cantidades de materiales, en particular, carbonato cálcico, sílice, óxidos de aluminio y hierro y yeso.
228. *Movilidad*: Los hornos de cemento solo se fabrican en configuraciones fijas.
229. *Salud y seguridad*: El tratamiento de los desechos en hornos de cemento se puede considerar relativamente seguro, siempre que los hornos tengan el diseño correcto y funcionen como es debido.
230. *Capacidad*: Los hornos de cemento que coincineran desechos como combustible normalmente no pueden cubrir más del 40% de su demanda de calor con desechos peligrosos. No obstante, se ha señalado que los hornos de cemento con alto rendimiento total pueden tratar en principio cantidades significativas de desechos (CMPS&F – *Environment Australia*, 1997).
231. *Estado de la comercialización*: Los hornos de cemento en los Estados Unidos de América, algunos países europeos y países en desarrollo se han utilizado y se utilizan para el tratamiento de

⁵² Véase CMPS&F – *Environment Australia*, 1997; Rahuman *et al.*, 2000 y Karstensen *et al.*, 2006.

⁵³ Véase CMPS&F – *Environment Australia*, 1997; Karstensen *et al.*, 2006 y PNUMA, 2004b.

desechos contaminados con COP (*World Business Council, 2004: Formation and Release of POPs in the Cement Industry* y Kartensen, 2006).

232. *Información adicional:* Véanse las directrices técnicas del PNUMA sobre el coprocesamiento ambientalmente racional de los desechos peligrosos en hornos de cemento (PNUMA, 2011) y la Decisión de Ejecución de la Comisión 2013/163/UE por la que se establecen las conclusiones sobre las mejores técnicas disponibles (MTD) para la fabricación de cemento, cal y óxido de magnesio conforme a la Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre las emisiones industriales (Comisión Europea, 2013b).

f) Reducción química en fase gaseosa⁵⁴

233. *Descripción del proceso:* El proceso de reducción química en fase gaseosa supone la reducción termoquímica de los compuestos orgánicos. A temperaturas por encima de los 850 °C y a baja presión, el hidrógeno reacciona con los compuestos orgánicos clorados para formar principalmente metano, cloruro de hidrógeno (si los desechos son clorados) y cantidades insignificantes de hidrocarburos de bajo peso molecular (benceno y etileno). El ácido clorhídrico se neutraliza mediante la adición de sosa cáustica durante el enfriamiento inicial del gas de proceso o se puede extraer en forma de ácido para ser reutilizado. La tecnología de reducción química en fase gaseosa puede dividirse en tres operaciones unitarias básicas: un procesador central (donde los contaminantes se transforman para adoptar la forma idónea para su destrucción en el reactor), un reactor (que reduce los contaminantes en esta etapa a la fase gaseosa, usando hidrógeno y vapor) y un sistema de depuración y compresión de gases.

234. *Eficacia:* Se ha informado de eficacias de destrucción del 99,999 % para el DDT, el HCB, los PCB, las PCDD y los PCDF.⁵⁵

235. *Tipos de desechos:* La reducción química en fase gaseosa debería servir para tratar todos los desechos de COP,⁵⁶ incluidos los líquidos acuosos y oleosos, suelos, sedimentos, fangos, transformadores y condensadores.⁵⁷

236. *Tratamiento previo:* Los contaminantes deben estar en forma gaseosa para que el reactor de reducción en fase gaseosa los pueda reducir. Si bien los desechos líquidos pueden ser precalentados e inyectados directamente en el reactor en forma continua, los contaminantes en los sólidos primeramente deben volatilizarse a partir de los sólidos. Según el tipo de desechos, actualmente se utiliza una de las siguientes unidades de tratamiento previo para volatilizar los desechos antes de ser tratados en un reactor de reducción química en fase gaseosa:

- a) Procesadores de lotes por reducción térmica para sólidos a granel, incluidos los que se transportan en bidones;
- b) Reactores de lecho toroidal para suelos y sedimentos contaminados, pero adaptado también para los líquidos;
- c) Sistemas de precalentamiento para desechos líquidos.⁵⁸

237. Además, en el caso de condensadores grandes y escombros de la construcción se aplicarán otros tratamientos previos. Los condensadores grandes son perforados y drenados, mientras que el tamaño de los escombros y el concreto deberá reducirse a menos de un metro cuadrado.⁵⁹

238. *Emisiones y residuos:* Además del cloruro de hidrógeno y el metano, pueden producirse emisiones de hidrocarburos de bajo peso molecular. Los residuos del proceso de reducción química en fase gaseosa son soluciones y agua usadas. También se generarán residuos sólidos a partir de insumos de desechos sólidos.⁶⁰ Dado que el proceso de reducción química en fase gaseosa tiene lugar en una

⁵⁴ Se puede consultar más información en *CMPS&F – Environment Australia, 1997; Costner et al., 1998; Danish Environmental Protection Agency, 2004; Kümmling, et al., 2001; Rahuman et al., 2000; Ray, 2001; PNUMA, 2001; PNUMA, 2004a y Vijgen, 2002.*

⁵⁵ Véase *CMPS&F – Environment Australia, 1997; Kümmling et al., 2001; Rahuman et al., 2000; PNUMA, 2004a y Vijgen, 2002.*

⁵⁶ Véase *CMPS&F – Environment Australia, 1997; PNUMA, 2004a y Vijgen, 2002.*

⁵⁷ Ibid.

⁵⁸ Véase *CMPS&F – Environment Australia, 1997; Kümmling et al., 2001; PNUMA, 2001; PNUMA, 2004a.*

⁵⁹ Véase *CMPS&F – Environment Australia, 1997.*

⁶⁰ Véase *PNUMA, 2004a y Vijgen, 2002.*

atmósfera de reducción, es limitada la posibilidad de que se formen PCDD y PCDF.⁶¹ No se producen cenizas.

239. *Control de las liberaciones y tratamiento posterior:* Se limpian los gases que salen del reactor para eliminar el agua, el calor, los ácidos y el dióxido de carbono.⁶² Habrá que eliminar los residuos y las partículas de la limpieza en otro lugar.⁶³ Los residuos sólidos generados a partir de desechos sólidos deben poder eliminarse en un vertedero.⁶⁴

240. *Necesidades de energía:* El metano producido durante el proceso de reducción química en fase gaseosa puede aportar gran parte del combustible que se necesita en el proceso.⁶⁵ Se ha informado de que las necesidades de electricidad fluctúan entre 96 kWh por tonelada de sólidos tratados hasta cerca de 900 kWh por tonelada de contaminantes orgánicos puros tratados.⁶⁶

241. *Necesidad de materiales:* Harán falta suministros de hidrógeno, al menos durante la etapa inicial. Se ha informado de que el metano producido durante el proceso de reducción química en fase gaseosa se puede utilizar para formar hidrógeno suficiente para que el proceso siga funcionando en adelante.⁶⁷ Sin embargo, la unidad de producción de hidrógeno estuvo plagada de problemas de fiabilidad en el pasado.⁶⁸ Otros materiales necesarios son sosa cáustica para el lavado de ácidos.⁶⁹

242. *Movilidad:* El equipo de reducción química en fase gaseosa se fabrica en unidades fijas y móviles.⁷⁰

243. *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.⁷¹ La experiencia operacional acumulada hasta hoy indica que el proceso de RQFG se puede realizar en condiciones de seguridad.⁷² La reducción química en fase gaseosa se utiliza para tratar los fangos cloacales convirtiendo los desechos en agua limpia y en gas metano limpio enriquecido con hidrógeno, al tiempo que se destruyen químicamente todos los patógenos y productos farmacéuticos y se recupera el fósforo. No se producen fugas de emisiones de metano en el proceso.

244. *Capacidad:* La capacidad del proceso de reducción química en fase gaseosa depende de las capacidades de las tres unidades de tratamiento previo que se especifican a continuación:

a) Los procesadores de reducción térmica por lotes tienen una capacidad de hasta 100 toneladas de sólidos por mes o hasta cuatro litros por minuto de líquidos. Se pueden usar paralelamente dos procesadores de reducción térmica por lotes para duplicar esa capacidad;

b) Los reactores toroidales tienen una capacidad de hasta 5.000 toneladas de suelos y sedimentos por mes, aunque estos equipos de tratamiento previo se encuentran aún en etapa de desarrollo; y

c) Los sistemas precalentadores de desechos líquidos tienen una capacidad de tres litros por minuto (PNUMA, 2004a y Vijgen, 2002).

245. *Otras cuestiones prácticas:* Se ha llegado a la conclusión de que contaminantes como el azufre y el arsénico inhiben el tratamiento en las primeras etapas de desarrollo, aunque no está claro si este problema persiste.⁷³

246. *Estado de la comercialización:* Las plantas de reducción química en fase gaseosa a escala comercial han funcionado en Australia y el Canadá. La planta de reducción química en fase gaseosa de

⁶¹ Véase *CMPS&F – Environment Australia*, 1997 y Rahuman *et al.*, 2000.

⁶² Véase Kümmling *et al.*, 2001; *CMPS&F – Environment Australia*, 1997 y Rahuman *et al.*, 2000.

⁶³ Véase Rahuman *et al.*, 2000 y Vijgen, 2002.

⁶⁴ Véase PNUMA, 2004a.

⁶⁵ Véase *CMPS&F – Environment Australia*, 1997; Rahuman *et al.*, 2000; PNUMA, 2001; PNUMA, 2004a y Vijgen, 2002.

⁶⁶ *CMPS&F – Environment Australia*, 1997.

⁶⁷ Véase *CMPS&F – Environment Australia*, 1997; Rahuman *et al.*, 2000; PNUMA, 2004a y Vijgen, 2002.

⁶⁸ Véase *CMPS&F – Environment Australia*, 1997.

⁶⁹ Véase PNUMA, 2004a.

⁷⁰ Véase PNUMA, 2001; PNUMA, 2004a y Vijgen, 2002.

⁷¹ Véase *CMPS&F – Environment Australia*, 1997.

⁷² Véase *CMPS&F – Environment Australia*, 1997 y PNUMA, 2004a.

⁷³ Véase *CMPS&F – Environment Australia*, 1997.

Australia funcionó durante más de cinco años, hasta el año 2000.⁷⁴ En los Estados Unidos de América existe el plan de construir una planta de reducción química en fase gaseosa a base de combustible sintético en el condado de Fauquier, Virginia, con una capacidad de procesamiento diario de 200 Mg.

g) Incineración de desechos peligrosos⁷⁵

247. *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 o, si los desechos contienen más de 1 % de sustancias orgánicas halogenadas expresadas como cloro, a 1 000 °C con un tiempo de residencia de más de 2 segundos, en condiciones que garanticen una mezcla adecuada. Los incineradores destinados específicamente a los desechos peligrosos se fabrican en distintas configuraciones, entre ellos incineradores de horno rotatorio y hornos estáticos (solamente para líquidos). También se utilizan para la incineración conjunta de desechos peligrosos calderas de alto rendimiento y hornos rotatorios para agregados livianos.

248. La orientación sobre las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales, elaborada por el Convenio de Estocolmo conforme al artículo 5 y el anexo C, relativas a los incineradores de desechos, deben utilizarse y aplicarse en esta tecnología (PNUMA, 2007).

249. *Eficacia:* Se han reportado EED por encima de 99,9999 % para el tratamiento de PCB, PCDD y PCDF, clordano y HCB.⁷⁶ Se tiene noticias de ED superiores a 99,999 % y de EED por encima de 99,9999 % en el caso de la aldrina, la endrina, el HCH, el DDT y el PFOS (Ministerio de Medio Ambiente del Japón, 2004 y 2013b). En el caso del PCN se reportaron valores de ED y EED de 99,9974 y 99,9995 %, respectivamente (Yamamoto *et al.*, 2016). En el caso de una incineración de tecnología avanzada se han logrado tasas de destrucción de más de 99,9 % en el caso del HCB y del PCP, y de entre 99,32 y 99,96 en el caso de los PCN. (Agencia Federal del Medio Ambiente de Alemania, 2015).

250. *Tipos de desechos:* Los incineradores de desechos peligrosos pueden tratar desechos que constan en COP, los contengan o estén contaminados con ellos (PNUMA, 2002a). Los incineradores se pueden diseñar para admitir desechos de cualquier concentración o forma física, ya sean gases, líquidos, sólidos, fangos o suspensiones acuosas.⁷⁷

251. *Tratamiento previo:* Según el tipo de configuración, el tratamiento previo requerirá posiblemente el batido y la reducción del tamaño de los desechos.⁷⁸

252. En el caso de los desechos de espuma de poliestireno (EPS y XPS) que contienen HBCD, pueden requerirse una serie de pasos para separar el HBCD del poliestireno y posteriormente destruir el HBCD en los incineradores de desechos peligrosos. Entre las operaciones de pretratamiento pertinentes se incluyen la reducción de volumen, la reducción de tamaño, la disolución, la sedimentación y la destilación⁷⁹. En el caso de desechos XPS que contienen HBCD y que también pueden contener sustancias que agotan la capa de ozono controladas por el Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono⁸⁰, deben tomarse medidas para evitar la liberación de dichas sustancias al medio ambiente durante estas operaciones previas al tratamiento.

253. *Emisiones y residuos:* Se producen emisiones de monóxido de carbono, dióxido de carbono, HCB, cloruro de hidrógeno, partículas, PCDD, PCDF y PCB y vapor de agua.⁸¹ Los incineradores que aplican las mejores técnicas disponibles, entre otras cosas, diseñados para altas temperaturas y equipados con dispositivos de prevención de la formación de nuevos PCDD y PCDF y destinados a eliminarlos (por ejemplo con filtros de carbón activado) han producido emisiones a la atmósfera y

⁷⁴ Véase *CMPS&F – Environment Australia*, 1997; Kümmeling *et al.*, 2001; Ray, 2001; PNUMA, 2004a y Vijgen, 2002.

⁷⁵ Se puede obtener información adicional de *Danish Environmental Protection Agency*, 2004; *Federal Remediation Technologies Roundtable (FRTR)*, 2002; Rahuman *et al.*, 2000; PNUMA, 1995b; PNUMA, 1998; PNUMA, 2001 y Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, 2003. Además, se puede obtener información sobre las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales relativas a los incineradores de desechos peligrosos de PNUMA, 2015.

⁷⁶ Véase FRTR, 2002; Rahuman *et al.*, 2000; PNUMA, 1998 y PNUMA, 2001.

⁷⁷ Véase PNUMA, 1995b.

⁷⁸ Véase PNUMA, 1995b; PNUMA, 1998 y PNUMA, 2004b.

⁷⁹ <http://polystyreneloop.org/>

⁸⁰ <http://ozone.unep.org/en/treaties-and-decisions/montreal-protocol-substances-deplete-ozone-layer>

⁸¹ Véase PNUMA, 1995b; PNUMA, 1998 y PNUMA, 2004b.

descargas al agua de muy bajo contenido de PCDD y PCDF.⁸² En los residuos se encuentran PCDD y PCDF fundamentalmente en las cenizas volantes y la sal y hasta cierto punto, en las cenizas sedimentadas y los fangos del agua de la limpieza. Los niveles de PCDD/F en cenizas volantes de los incineradores de desechos peligrosos pueden oscilar entre 0,0002 y 124,5 ng TEQ/g.⁸³

254. *Control de las liberaciones y tratamiento posterior:* Posiblemente los gases de procesos requieran tratamiento para eliminar el cloruro de hidrógeno y las partículas y prevenir la formación de COP de producción no intencional y eliminarlos (óxidos de azufre y nitrógeno, metales pesados y microcontaminantes orgánicos como los hidrocarburos aromáticos policíclicos, parecidos al monóxido de carbono, que se utilizan como indicador de la eficacia de la combustión). Esto se puede lograr mediante una combinación de tipos de tratamientos posteriores, en particular separadores de polvo y recolectores de polvo múltiples, filtros electrostáticos, filtros de lecho estático, depuradores, reducción catalítica selectiva, sistemas de enfriamiento rápido y adsorción de carbono.⁸⁴ Según sus características, las cenizas de sedimentación y las volantes posiblemente requieran ser eliminadas en vertederos de relleno o almacenadas permanentemente en minas y formaciones subterráneas.⁸⁵

255. *Necesidades de energía:* La cantidad de combustible a utilizar dependerá de la composición y el valor calorífico de los desechos y también de las tecnologías que se apliquen para el tratamiento de los gases de combustión.

256. *Necesidad de materiales:* Se necesita agua de enfriamiento y cal u otro material idóneo, como el carbón activo, para eliminar gases ácidos y otros contaminantes.

257. *Movilidad:* Hay incineradores de desechos peligrosos móviles y fijos.

258. *Salud y seguridad:* Los peligros para la salud y la seguridad son los relacionados con las altas temperaturas a las que funcionan las plantas.⁸⁶

259. *Capacidad:* Los incineradores de desechos peligrosos pueden tratar entre 30.000 y 100.000 toneladas anuales.⁸⁷

260. *Otras cuestiones prácticas:* Nada que informar por el momento.

261. *Estado de la comercialización:* La experiencia con la incineración de desechos peligrosos tiene una larga historia.⁸⁸

h) Arco de plasma⁸⁹

262. *Descripción del proceso:* Se inyectan los desechos, en forma líquida o gaseosa, directamente en el plasma y rápidamente (<1 ms) se calientan hasta unos 3.100 °C y se aplica el tratamiento térmico durante unos 20 ms en la cámara de reacción enfriada por agua (conducto de escape). Las altas temperaturas hacen que los compuestos se disocien en sus iones y átomos elementales. La recombinación tiene lugar en una zona de temperatura más baja de la cámara de reacción, que produce un enfriamiento a partir del cual se forman moléculas simples.⁹⁰ El sistema por arco de plasma requiere un dispositivo de reducción de los monóxidos de nitrógeno ya que la alta temperatura de la llama produce cantidades importantes de NOx.

263. La orientación sobre las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales, elaborada por el Convenio de Estocolmo de conformidad con el artículo 5 y el anexo C, debe utilizarse y aplicarse en esta tecnología (PNUMA, 2007).

⁸² PNUMA, 2001.

⁸³ BiPRO GmbH, 2005; Petrlik, J. y R. Ryder (2005). *After Incineration: The Toxic Ash Problem*. Disponible en: http://ipen.org/sites/default/files/documents/ipen_incineration_ash-en.pdf. Prague, Manchester, IPEN Dioxin, PCBs and Waste Working Group, Arnika Association: 59.; Cobo, M., A. Gálvez, J. Conesa y C. Montes de Correa (2009). "Characterization of fly ash from a hazardous waste incinerator in Medellín, Colombia." *Journal of Hazardous Materials* 168: 1223-1232.

⁸⁴ PNUMA, 2004b.

⁸⁵ Véase Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, 2003.

⁸⁶ *Ibid.*

⁸⁷ Véase PNUMA, 2004b.

⁸⁸ Véase PNUMA, 2001.

⁸⁹ Se puede obtener información adicional de *CMPS&F – Environment Australia*, 1997; Costner *et al.*, 1998; Rahuman *et al.*, 2000; Ray, 2001; PNUMA, 1998; PNUMA, 2000; PNUMA, 2001 y PNUMA, 2004a.

⁹⁰ Véase *CMPS&F – Environment Australia*, 1997.

264. *Eficacia:* Los ensayos en banco de pruebas con aceites que contienen un 60 % de PCB han obtenido eficacias de eliminación de la destrucción que fluctúan entre 99,9999 % y 99,999999 %.⁹¹ También se puede lograr una eficacia de destrucción del 99,9999 % en el caso de la mayoría de los plaguicidas que son COP, entre ellos clordano, clordecona, DDT, endosulfán y heptacloro.
265. *Tipos de desechos:* Las plantas con el sistema de arco de plasma se han utilizado para tratar muy diversos PCB, plaguicidas que son COP, halones y clorofluorohidrocarburos. Los tipos de desechos que se tratarán deberán ser líquidos o gases, o sólidos si los desechos están contenidos en una suspensión acuosa poco espesa que se pueda bombear. Los líquidos o fangos muy viscosos con una densidad superior a la del aceite de motor de peso 30 a 40, no pueden ser procesados sin tratamiento previo. Tampoco podrán tratarse otros desechos sólidos a menos que reciban algún tipo de tratamiento previo.⁹²
266. *Tratamiento previo:* No hace falta someter a tratamiento previo a la mayoría de los líquidos. Los sólidos, como suelos contaminados, condensadores y transformadores, se pueden tratar previamente utilizando la desorción térmica o la extracción con disolventes.⁹³
267. *Emisiones y residuos:* Se producen emisiones de gases de argón, dióxido de carbono y vapor de agua. Los residuos son soluciones acuosas de sales sódicas inorgánicas, como el cloruro de sodio, el bicarbonato de sodio y el fluoruro de sodio. Se han detectado trazas de PCDD y PCDF en los gases efluentes de sistemas por arco de plasma. La concentración en esas trazas es inferior a 0,01 ng EQT/Nm³. Se desconocen las concentraciones de COP en los residuos sólidos.⁹⁴
268. *Control de las liberaciones y tratamiento posterior:* En estos momentos, hay poca información disponible en relación con las necesidades de tratamiento posterior.
269. *Necesidades de energía:* Un sistema de arco de plasma de 150 kW requiere de 1.000 a 3.000 kWh de electricidad por tonelada de desechos tratada.⁹⁵
270. *Necesidad de materiales:* En estos momentos, hay poca información disponible en relación con la necesidad de materiales. Sin embargo, se ha señalado que este proceso requiere gas argón, oxígeno, sosa cáustica y agua de enfriamiento.⁹⁶
271. *Movilidad:* Los sistemas de arco de plasma se fabrican tanto en unidades móviles como fijas.⁹⁷
272. *Salud y seguridad:* Dado que el proceso mediante el sistema de arco de plasma tiene un bajo rendimiento total, son pocos los riesgos que entraña la liberación de los desechos tratados parcialmente en caso de que falle el proceso.⁹⁸ En estos momentos se dispone de poca información adicional sobre salud y seguridad.
273. *Capacidad:* Un sistema de arco de plasma de 150 kW puede procesar de 1 a 3 Mg de desechos diariamente.⁹⁹
274. *Otras cuestiones prácticas:* Cabe señalar que los metales o los compuestos que parecen metales (por ejemplo, el arsénico) pueden interferir con los catalizadores o causar problemas al eliminar residuos. Por ejemplo, las sustancias arsenicales presentes en los desechos de plaguicidas exportados de las islas del Pacífico con el objeto de ser eliminados en Australia mediante el proceso de arco de plasma han causado problemas.
275. *Estado de la comercialización:* BCD Technologies Pty Ltd. cuenta con dos plantas de plasma que funcionan en Australia: una en Brisbane para los PCB y otros COP, y otra en Melbourne para el tratamiento de los CFC y los halones. BCD Technologies Pty Ltd. también tiene funcionando una planta de descomposición catalítica por bases para sustancias de bajo contenido de PCB y COP y dos desorbedores térmicos para el tratamiento de sólidos contaminados.

⁹¹ Véase Rahuman *et al.*, 2000 y PNUMA, 2004a.

⁹² Véase CMPS&F – Environment Australia, 1997 y PNUMA, 2004a.

⁹³ *Ibid.*

⁹⁴ *Ibid.* 92.

⁹⁵ Véase CMPS&F – Environment Australia, 1997.

⁹⁶ Véase CMPS&F – Environment Australia, 1997 y PNUMA, 2004a.

⁹⁷ Véase PNUMA, 2004a.

⁹⁸ Véase CMPS&F – Environment Australia, 1997 y PNUMA, 2004a.

⁹⁹ *Ibid.*

i) Método de descomposición por fusión del plasma

276. *Descripción del proceso:* El método de descomposición por fusión del plasma es un método de destrucción térmica de los desechos sólidos que contengan PCB o estén contaminados con ellos. Este tipo de desechos sólidos se envasa directamente en contenedores, como barriles o bidones, sin trituración ni desmontaje. En el horno de plasma, el soplete de plasma genera gas (aire) de plasma a alta temperatura, de manera que la temperatura del horno se mantenga hasta fundir los desechos junto con el propio contenedor. Todas las sustancias orgánicas, incluidos los PCB, se descomponen en CO₂, H₂O y HCl en condiciones de alta temperatura en el horno de plasma y la materia inorgánica, incluidos los metales, se oxidan hasta convertirse en escoria fundida. El horno de plasma llega a rebasar los 1.400 °C (Tagashira *et al.*, 2006).

277. *Eficacia:* En 2006, se puso a prueba en el Japón una planta piloto de descomposición por fusión del plasma para el tratamiento de PCB. El resultado indicó una ED de 99,9999454 % a 99,9999997 % y una EED de entre 99,9999763 % y 99,9999998 % (Tagashira *et al.*, 2006).

278. *Tipos de desechos:* En las plantas a escala comercial del Japón, los desechos sólidos que contienen PCB o están contaminados con ellos, tales como las bobinas de inductancia de lámparas fluorescentes, los fangos, el papel autocopiante y los contaminantes secundarios pueden tratarse mediante la descomposición por fusión del plasma (JESCO, 2009a).

279. *Tratamiento previo:* Las plantas a escala comercial del Japón usan contenedores, tales como bidones o recipientes de pequeña capacidad, en los que los desechos contaminados con PCB se mezclan con agentes de control de la alcalinidad, por ejemplo, piedra caliza o arena sílice, según sea necesario, y se introducen en el horno de plasma (JESCO, 2009).

280. *Emisiones y residuos:* La planta de tratamiento por fusión de plasma de JESCO puede lograr niveles de emisión de dioxinas a la atmósfera inferiores a 0,1 ng EQT/Nm³ (JESCO, 2009). Los niveles de emisión a la atmósfera de dioxinas fueron de 0,0000043 a 0,068 ng EQT/Nm³ en una planta a escala experimental (Tagashira *et al.*, 2006). Conjuntamente con el sistema mejorado de tratamiento de gases, se puede controlar el nivel de emisión de dioxinas en un rango de 0,00001 a 0,001 ng EQT/Nm³ (Tagashira *et al.*, 2007).

281. *Control de las liberaciones y tratamiento posterior:* En el Japón, como medida de control de la contaminación por gases de escape, se utilizan filtros de bolsa de dos fases con cal y la inyección de carbón activado pulverizado para eliminar el polvo, los gases ácidos, como el HCl y el SO_x, y las dioxinas, así como torres catalizadoras con inyección de gases de NH₃ que eliminan el NO_x. En la última etapa, se aplica el carbón activado (Tagashira *et al.*, 2006).

282. *Necesidad de materiales:* Según informes para el método de descomposición por fusión del plasma se necesita cal y carbón activado pulverizado (Tagashira *et al.*, 2006). También se pueden necesitar agentes de control de la alcalinidad, como la arena sílice o la piedra caliza, para aumentar la fluidez de la escoria fundida.

283. *Movilidad:* En el Japón, la descomposición por fusión del plasma solamente se realiza en equipos estacionarios (JESCO, 2009a).

284. *Capacidad:* Se ha demostrado que en el Japón las dos plantas de tratamiento por fusión del plasma de JESCO son capaces de procesar 10,4 toneladas y 12,2 toneladas de desechos diarios, respectivamente (JESCO, 2009a; JESCO, 2013).

285. *Estado de la comercialización:* En el Japón, la planta de tratamiento por fusión del plasma de JESCO en Kitakyushu ha utilizado la tecnología de descomposición por fusión del plasma desde julio de 2009 para el tratamiento de 10,4 toneladas diarias de desechos de PCB a escala comercial (JESCO, 2009a); el mismo tipo de instalación en Hokkaido tiene la capacidad de tratar 12,2 toneladas de desechos de PCB al día, y se esperaba que comenzara sus operaciones a escala comercial en el otoño de 2013 (JESCO, 2013).

286. *Información adicional:* Para más información visite el sitio web: <http://www.jesconet.co.jp/eg/pdf/plasma.pdf>.

j) Oxidación en agua supercrítica y oxidación en agua subcrítica¹⁰⁰

287. *Descripción del proceso:* Mediante oxidación en agua supercrítica y oxidación en agua subcrítica se tratan desechos en un sistema cerrado utilizando un oxidante (ya sea oxígeno, peróxido de

¹⁰⁰ Se puede obtener información adicional de CMPS&F – Environment Australia, 1997; Costner *et al.*, 1998; Rahuman *et al.*, 2000; PNUMA, 2001 y PNUMA, 2004a.

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 las condiciones subcríticas (370 °C y 262 atmósferas). En tales condiciones, las materias orgánicas se vuelven altamente solubles en el agua y se oxidan para producir dióxido de carbono, agua y ácidos o sales inorgánicas.

288. *Eficacia:* Se ha informado de ED superiores al 99,999 % y de EED por encima del 99,9999 % para el clordano, el DDT y el PCB aplicando oxidación en agua supercrítica (Ministerio de Medio Ambiente del Japón, 2004). Cuando se ha sometido a oxidación en agua subcrítica, se han registrado ED superiores a 99,999999 % y EED mayores que 99,9999999 % (Ministerio de Medio Ambiente del Japón, 2004). En ensayos realizados en bancos de prueba se han obtenido EED de hasta 99,9999 % en el caso de las PCDD.¹⁰¹ Se ha demostrado la eficacia de la oxidación en agua supercrítica en el tratamiento de sustancias químicas cloradas tóxicas como los bifenilos policlorados, los plaguicidas y los piroretardantes (Marrone y Hong, 2007). En sentido general, la oxidación en agua supercrítica suele registrar una eficacia de destrucción superior al 99,99 % para una amplia gama de compuestos orgánicos (Marrone y Hong, 2007).

289. *Tipos de desechos:* Se considera que se puede aplicar la oxidación en agua supercrítica y la oxidación en agua subcrítica a todos los COP.¹⁰² Los tipos de desechos a los que se puede aplicar son los desechos acuosos, aceites, disolventes y sólidos con un diámetro inferior a 200 µm. El contenido orgánico de los desechos se limita a menos del 20% en peso.¹⁰³

290. *Tratamiento previo:* Los desechos concentrados posiblemente haya que diluirlos antes del tratamiento de oxidación en agua supercrítica a fin de reducir su contenido orgánico a menos del 20 % en peso. Si hay sólidos presentes, se deberán reducir a menos de 200 µm de diámetro. Otras opciones de procesamiento son la adición de combustible a desechos de baja concentración, el coprocesamiento de desechos diluidos y concentrados, y la extracción parcial de agua de los fangos, entre otras. En el caso de la oxidación en agua subcrítica, no es necesario diluir los desechos.

291. *Emisiones y residuos:* En las condiciones de funcionamiento por debajo del rango crítico de 500 °C a 650 °C y 25 MPa con tiempos de residencia en el reactor de menos de un minuto para la destrucción total, en la oxidación en agua supercrítica no se forma PCDD/PCDF, NO_x ni ningún otro subproducto tóxico (Marrone, 2013). Sin embargo, durante la destrucción de PCB a escala de laboratorio, ha quedado demostrado que con la tecnología de oxidación en agua supercrítica se pueden formar altas concentraciones de PCDF mientras se degradan los PCB en experimentos donde la temperatura ha sido inferior a 450 °C (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.¹⁰⁴ La información recibida en relación con las posibles concentraciones de sustancias químicas destruidas es limitada.¹⁰⁵ El proceso se ha diseñado de manera tal que se puedan capturar las emisiones y los residuos para que se vuelvan a procesar, de ser necesario.¹⁰⁶

292. *Control de las liberaciones y tratamiento posterior:* En estos momentos no existe información específica disponible sobre las necesidades después del tratamiento.

293. *Necesidades de energía:* Previsiblemente las necesidades de energía serán relativamente grandes debido a la combinación de altas temperaturas y presiones. No obstante, se afirma que mientras esté presente en el material un contenido relativamente alto de hidrocarburos, no hará falta insumo de energía para calentar el material a temperaturas supercríticas.¹⁰⁷

294. *Necesidad de materiales:* Las cubetas de reacción mediante oxidación en agua supercrítica y oxidación en agua subcrítica deben construirse con materiales capaces de resistir la corrosión causada por los iones de halógeno.¹⁰⁸ La corrosión del material puede llegar a ser extrema a las temperaturas y presiones usadas en los procesos de oxidación en agua supercrítica y en agua subcrítica. Tiempos atrás, se había propuesto el uso de aleaciones de titanio para hacer frente a este problema. Los proveedores

¹⁰¹ Véase CMPS&F – *Environment Australia*, 1997; Rahuman *et al.*, 2000 y Vijgen, 2002.

¹⁰² Véase PNUMA, 2004a.

¹⁰³ Véase CMPS&F – *Environment Australia*, 1997; Rahuman *et al.*, 2000 y Vijgen, 2002.

¹⁰⁴ Véase CMPS&F – *Environment Australia*, 1997.

¹⁰⁵ Véase CMPS&F – *Environment Australia*, 1997 y PNUMA, 2004a.

¹⁰⁶ Véase PNUMA, 2004a.

¹⁰⁷ Véase Rahuman *et al.*, 2000.

¹⁰⁸ Véase Vijgen, 2002.

actuales afirman que ya el problema no existe gracias a que se están utilizando materiales y diseños técnicos más modernos.¹⁰⁹

295. *Movilidad*: En estos momentos el equipo de oxidación en agua supercrítica y oxidación en agua subcrítica se utiliza en estructuras fijas, pero se considera que puedan fabricarse unidades portátiles.¹¹⁰

296. *Salud y seguridad*: Las altas temperaturas y presiones utilizadas en los procesos de oxidación en agua supercrítica y oxidación en agua subcrítica obligan a adoptar medidas de precaución especiales en material de seguridad.¹¹¹

297. *Capacidad*: Los actuales equipos de prueba para el tratamiento por oxidación en agua supercrítica son capaces de procesar 500 kg/h, pero los equipos a plena escala pueden diseñarse para el tratamiento de hasta 10 000 kg/h (Marrone, 2013).

298. *Otras cuestiones prácticas*: Los diseños iniciales presentaban innumerables problemas de fiabilidad, corrosión y conexión. Los proveedores actuales afirman que esos problemas se han resuelto con el uso de diseños de reactores especiales y materiales anticorrosivos.¹¹²

299. *Estado de la comercialización*: En 2005 se instaló una planta de oxidación en agua supercrítica de tamaño natural con una capacidad para tratar 2 toneladas diarias de desechos que está funcionando en el Japón (JESCO, 2009d). Además, el proceso de oxidación en agua supercrítica ha sido aprobado para su desarrollo y utilización a plena escala en el programa de destrucción de armas químicas de los Estados Unidos de América. También hay plantas en funcionamiento con fines comerciales en Francia y Corea (Marrone *et al*, 2013).

k) Producción térmica y metalúrgica de metales

300. *Descripción del proceso*: Los procesos que se describen a continuación se utilizarán primordialmente para la recuperación de hierro y metales no ferrosos, por ejemplo, aluminio, zinc, plomo y níquel, de los concentrados de minerales, así como de materias primas secundarias (productos intermedios, desechos, chatarra). Ahora bien, debido a su naturaleza, los procesos, en algunos casos, también se utilizan a nivel comercial para la destrucción del contenido de COP de determinados desechos (véase el párrafo 303). En los documentos de consulta sobre las mejores técnicas disponibles para las industrias de metales no ferrosos en Europa (Comisión Europea, 2001a y 2001b) figura una descripción general de algunos de los procesos descritos a continuación:

a) Los procesos aplicables a la destrucción del contenido de COP en los desechos que contienen hierro utilizan determinados tipos de altos hornos, hornos de cuba y hornos de forja. Todos estos procesos funcionan en atmósferas de reducción a altas temperaturas (1.200 °C a 1.450 °C). Las atmósferas de reducción y las altas temperaturas destruyen las PCDD y los PCDF contenidos en los desechos y evitan la síntesis de nuevo. Los procesos en altos hornos y en hornos de cuba utilizan coque y pequeñas cantidades de otros agentes reductores para convertir a hierro fundido el material alimentado que contiene hierro. No se producen emisiones directas de gases durante el proceso, ya que el gas se utiliza como combustible secundario. En el proceso en hornos de forja, el material que contiene hierro se carga en un horno de tostación de varias soleras junto con el carbón. El óxido de hierro se reduce directamente a hierro sólido de reducción directa. En una segunda etapa, el hierro reducido se funde en un horno de fundición por arco eléctrico para producir hierro fundido.

b) Los procedimientos que se utilizan para la destrucción del contenido de COP en los desechos que contengan materiales no ferrosos son el proceso Waelz en horno rotatorio y los procedimientos de fusión por muestras utilizando hornos verticales u horizontales. Se trata de procesos reductivos que alcanzan temperaturas de 1.200 °C y utilizan un enfriamiento rápido, de manera que se destruyen las PCDD y los PCDF y se evita la síntesis de nuevo. En el procedimiento Waelz, los polvos, los barros, las tortas de los filtros y demás residuos de la fabricación de acero que contienen zinc se nodulizan y funden conjuntamente con un reductor. A una temperatura de 1.200 °C, el zinc se volatiliza y se oxida como “óxido Waelz”, que se recoge en un sistema de filtros. En el procedimiento de horno vertical por muestras, los residuos que contienen cobre se utilizan como catalizador y se funden a temperaturas de al menos 1.200 °C. El polvo de los filtros se usa para la producción de zinc y compuestos de zinc. En el procedimiento en horno horizontal, los residuos que contienen plomo y concentrados de minerales se cargan constantemente en la cuba de fundición que tienen una zona de

¹⁰⁹ *Ibid.*

¹¹⁰ Véase PNUMA, 2004a y Vijgen, 2004.

¹¹¹ Véase CMPS&F – *Environment Australia*, 1997.

¹¹² *Ibid.*

oxidación y una zona de reducción con temperaturas de entre 1.000 °C y 1.200 °C. El gas de elaboración (concentración de dióxido de azufre por encima del 10 %) se usa para la producción de ácido sulfúrico después de la termorrecuperación y el desempolvado. El polvo del proceso se recicla después de lixiviar el cadmio.

301. La orientación sobre mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales, elaborada por el Convenio de Estocolmo conforme al artículo 5 y al anexo C relativas a los procesos térmicos en la industria metalúrgica, deben utilizarse y aplicarse en esta tecnología (PNUMA, 2007).

302. *Eficacia:* No se dispone de datos sobre la eficacia de la destrucción ni sobre la eficacia de la eliminación de la destrucción.

303. *Tipos de desechos:* Los procesos descritos en el párrafo 300 son específicos del tratamiento de los siguientes desechos:

- a) Los residuos de procesos de fabricación de hierro y acero, como polvos o fangos del tratamiento de los gases o costras de óxido que puedan estar contaminados con PCDD y PCDF;
- b) Polvos de los filtros que contengan zinc extraídos de acerías, polvos de los sistemas de depuración de gases de los hornos de fusión del cobre, etc. y residuos de filtración de la producción de metales no ferrosos que contengan plomo y puedan estar contaminados con PCDD y PCDF; y
- c) Equipo eléctrico y electrónico de desecho que pueden contener BDE que son COP (Brusselsaers *et al.*, 2006).

304. *Tratamiento previo:* Los materiales que contienen hierro y que han sido reciclados mediante un proceso convencional en altos hornos requieren tratamiento previo en una planta de aglomeración. En los procesos que tienen lugar en hornos de cuba ("Oxycup"), los desechos que contienen hierro se comprimen en briquetas. El briquetado es un proceso en frío, en el que se añade agua y un material aglutinante al mineral y se comprime hasta formar las briquetas, se seca y se endurece. Por regla general, no hace falta tratamiento previo para iniciar el proceso en el horno de tostación de varias soleras, aunque en algunos casos especiales es posible que haya que nodulizar el mineral sólido, lo que conlleva la adición de agua y la formación de los nódulos en un cilindro. Lo normal es que no sea necesario tratamiento previo especial de los materiales contaminados con COP en el caso de los metales no ferrosos.

305. *Emisiones y residuos:* En la producción de hierro y metales no ferrosos se pueden formar PCDD y PCDF durante el propio proceso o al terminar en el sistema de depuración de los gases de combustión. Sin embargo, la aplicación de las mejores técnicas disponibles debería impedir, o al menos reducir al mínimo, esas emisiones. Cuando se utilizan los procedimientos descritos en el párrafo 300 para la destrucción del contenido de COP de los desechos, es indispensable aplicar técnicas apropiadas de control de las liberaciones y tratamiento posterior (véase el párrafo 306 a continuación). En muchos casos la escoria se utiliza en la construcción. En cuanto a los metales ferrosos, se pueden producir emisiones durante el tratamiento previo en una planta de aglomeración y también en los gases de descarga de los hornos de fundición. Los residuos del sistema de desempolvado se utilizan fundamentalmente en la industria de metales no ferrosos. El gas de descarga del horno de varias soleras se desempolva con un extractor centrífugo, se somete a poscombustión y se enfría y depura añadiendo un adsorbente y utilizando una manga para filtrar. El gas de descarga de los hornos de fusión se somete también a poscombustión y se enfría antes de ser mezclado con el gas de descarga de los hornos de varias soleras para ser adsorbido conjuntamente. En cuanto a los metales no ferrosos, sus residuos son los polvos de los filtros y los fangos del tratamiento de aguas residuales.

306. *Control de las liberaciones y tratamiento posterior:* El control de las temperaturas y el enfriamiento rápido suelen ser medios idóneos para minimizar la formación de PCDD y PCDF. Los gases del proceso requieren tratamiento para eliminar el polvo, que consiste fundamentalmente en metales u óxidos metálicos, así como en dióxido de azufre cuando se funden materiales sulfídicos. En la industria de metales ferrosos, los gases de exhaustación de las plantas de aglomeración se tratan con un precipitador electrostático y luego se someten a un tratamiento de depuración, por ejemplo, utilizando técnicas de adsorción y además una manga de filtrar. Los gases de descarga de los hornos de varias soleras se desempolvan con un extractor centrífugo y se someten a tratamiento mediante poscombustión, enfriamiento y nueva depuración añadiendo un adsorbente y luego utilizando una manga de filtrar. Los gases de descarga de los hornos de fundición requieren también poscombustión y enfriamiento y posteriormente se combinan con la corriente de gases de descarga de los hornos de varias soleras para seguir siendo tratados mediante la adición de un adsorbente y luego utilizando una manga de filtrar. En la producción de metales no ferrosos, las técnicas de tratamiento idóneas son, entre otras, el uso de filtros de tela, los precipitadores o depuradores electrostáticos, las plantas de ácido sulfúrico y las técnicas de adsorción con carbón activado.

307. *Necesidades de energía:* Los procesos de producción de hierro y metales no ferrosos consumen mucha energía, aunque existen grandes diferencias entre los diferentes metales. El tratamiento del contenido de COP de los desechos en estos procesos requiere poca energía adicional.
308. *Necesidad de materiales:* Para la producción de metales, se utilizan materias primas (minerales, concentrados o materia prima secundaria) junto con aditivos (por ejemplo, arena, piedra caliza), reductores (carbón y coque) y combustibles (petróleo y gas). Para controlar la temperatura a fin de evitar la síntesis de nuevo de las PCDD y los PCDF hace falta agua adicional para el enfriamiento.
309. *Movilidad:* Los hornos de fundición de metales son grandes instalaciones fijas.
310. *Salud y seguridad:* El tratamiento de los desechos en procesos térmicos se puede considerar seguro si el diseño y el funcionamiento son los apropiados.
311. *Capacidad:* Los hornos de fundición de metales que se describen en los párrafos precedentes tienen capacidad de carga superior a 100.000 toneladas anuales. La experiencia actual con la adición de desechos contaminados con COP a la carga requiere cantidades mucho más pequeñas, aunque es muy posible que exista la capacidad para tratar cantidades mayores, aspecto que se está estudiando.
312. Otras cuestiones prácticas: Ninguna.
313. *Estado de la comercialización:* Durante algunos años se ha estado produciendo hierro fundido en Alemania a partir de materiales que contienen ese mineral y acero en altos hornos convencionales (<http://www.dk-duisburg.de>), donde desde 2003 funciona un horno de cuba ("Oxycup") (<http://www.thyssenkrupp.com>). El proceso en horno de forja ha estado funcionando a escala industrial en Luxemburgo desde 2003 (www.paulwurth.com), y en Italia (www.lucchini.it). El proceso en horno rotatorio Waelz ha ganado reconocimiento y está amparado por las mejores técnicas disponibles que se están aplicando en diferentes lugares de Europa (<http://www.befesa-steel.com>). El proceso de fusión en baño vertical está utilizándose en Alemania (<http://www.aurubis.com>), al igual que el proceso de fusión en baño horizontal (www.berzelius.de).

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

314. 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, los países podrán autorizar la eliminación ambientalmente racional de tales desechos por métodos diferentes de los expuestos en la sección IV.G.2.
315. Entre los desechos que contienen COP o están contaminados por estos en cuyo caso es posible considerar otros métodos de eliminación, se encuentran, entre otros:
- a) Los desechos de centrales eléctricas y otras centrales de combustión (excepto las enumeradas en el apartado d) más adelante, los desechos de la industria del hierro y el acero y los desechos de la termometalurgia del aluminio, plomo, zinc, cobre y otros metales no ferrosos. Tales desechos comprenden las cenizas de fondo, escoria, escorias salinas, ceniza volante, polvo de calderas, polvo de efluentes gaseosos y otras partículas y polvos, desechos sólidos del tratamiento de gases, granzas negras, desechos del tratamiento de escorias salinas y granzas negras, granzas y espumas;
 - b) Revestimientos a base de carbon y otros revestimientos y materiales refractarios de procesos metalúrgicos;
 - c) Los siguientes desechos de la construcción y la demolición:
 - i) Mezclas o fracciones separadas de hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos;
 - ii) Fracción inorgánica de tierra y piedras, incluida la tierra excavada de sitios contaminados; y
 - iii) desechos de la construcción y la demolición que contienen PCB, excepto equipos que contienen PCB;
 - d) Desechos de la incineración o pirólisis de desechos, incluidos desechos sólidos del tratamiento de gases, cenizas de fondo, escoria, ceniza volante y polvo de calderas; y
 - e) Desechos vitrificados y desechos de la vitrificación, incluidos la ceniza volante y otros desechos del tratamiento de gases de combustión y desechos en fase sólida no vitrificada.

316. La autoridad competente del país de que se trate 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, constituye la opción ambientalmente preferible.

317. A continuación se describen otros métodos de eliminación aplicables cuando la opción ambientalmente preferible no es la destrucción ni la transformación irreversible.

a) Vertedero de relleno¹¹³

318. Los vertederos deberían construirse de modo que se reduzca al mínimo la posibilidad de que el contenido de COP pase al medio ambiente. Para lograrlo, se debe proceder al tratamiento previo, por ejemplo, mediante un procedimiento adecuado de solidificación. Los vertederos de relleno deben cumplir requisitos relacionados con la ubicación, el acondicionamiento, la gestión, el control, la hermetización y medidas preventivas y de protección que se han de adoptar frente a cualquier peligro para el medio ambiente tanto a corto como a largo plazo. Esas medidas deberán, en particular, impedir la contaminación de las aguas subterráneas por infiltración de lixiviados en el suelo. La protección del suelo, las aguas subterráneas y las aguas superficiales deberá lograrse mediante la combinación de una barrera geológica y un sistema de revestimiento del fondo con material sintético durante la fase de instalación y la colocación de una barrera geológica y una cubierta protectora durante el cierre y la posterior hermetización. Se deberán adoptar medidas para evitar y reducir la producción de gases e incorporar, según proceda, sistema de recolección y control de los gases del vertedero.

319. Los productos químicos, entre ellos los COP, que se encuentran en los lixiviados y se descargan en el medio que los recibe pueden surtir efectos en el medio ambiente y la salud humana. Se deberán aplicar tecnologías de tratamiento *in situ* de los lixiviados del vertedero para reducir y prevenir que los lixiviados tóxicos influyan en el medio ambiente. Los lixiviados se pueden tratar utilizando medios físico-químicos y biológicos o aplicando modernas tecnologías de tratamiento como el filtrado con carbón activo, la ósmosis inversa y la nanofiltración, entre otras.

320. Además, debería introducirse un procedimiento uniforme de aceptación de desechos basado en un método de clasificación de los desechos admisibles en el vertedero, que incluya valores límites de concentración normalizados. Por otra parte, se deberían establecer procedimientos de vigilancia durante las etapas de puesta en funcionamiento y hermetización del vertedero a fin de determinar y evitar cualquier posible efecto adverso para el medio ambiente y adoptar las medidas correctivas correspondientes. Se debería establecer para el vertedero un procedimiento de permisos específico. En los permisos se deberán especificar los tipos y las concentraciones de los desechos admisibles, los sistemas de control de los lixiviados y los gases, los datos sobre vigilancia, seguridad del lugar, cierre y hermetización.

321. A continuación se indican los desechos que contienen COP o están contaminados con ellos que no podrán ser eliminados en los vertederos de relleno:

- a) Líquidos y materiales que contengan líquidos que se puedan derramar;
- b) Desechos orgánicos biodegradables;
- c) Contenedores vacíos, a menos que se hayan comprimido, triturado o reducido de volumen mediante algún procedimiento análogo; y
- d) Explosivos, sólidos inflamables, materiales susceptibles de autocalentamiento de combustión espontánea, materiales que reaccionan con el agua, sólidos pirofóricos, desechos autorreactivos, oxidantes, peróxidos orgánicos y desechos corrosivos e infecciosos.

b) Almacenamiento permanente en minas y formaciones subterráneas

322. El almacenamiento permanente en instalaciones situadas bajo tierra en minas de sal y formaciones de roca dura aisladas geohidrológicamente es una opción para separar los desechos peligrosos de la biosfera durante períodos geológicos. Para cada lugar de almacenamiento subterráneo proyectado se deberá llevar a cabo una evaluación de la seguridad concretamente para ese lugar de conformidad con la legislación nacional pertinente, como las disposiciones que figuran en la Decisión 2003/33/CE del Consejo Europeo, de 19 de diciembre de 2002 (por la que se establecen los criterios y procedimientos de admisión de residuos en los vertederos con arreglo al artículo 16 y al anexo II de la Directiva 1999/31/CEE), anexo, apéndice A.

¹¹³ Se puede consultar información adicional en PNUMA, 1995c y en la legislación nacional pertinente como la Directiva Europea 1999/31/CE del Consejo, de 26 de abril de 1999, relativa al vertido de residuos.

323. Los desechos se deberán eliminar de manera que quede excluida toda reacción indeseable entre los diferentes desechos o entre los desechos y los revestimientos del lugar de almacenamiento, entre otras cosas, mediante el almacenamiento en contenedores química y mecánicamente seguros. Los desechos que sean líquidos, gaseosos, emitan gases tóxicos o que sean explosivos, inflamables o infecciosos no deberán almacenarse en minas subterráneas. En los permisos de funcionamiento se definirán los tipos de desechos que deberán ser excluidos en sentido general.

324. En la selección de un almacenamiento permanente para la eliminación de desechos de COP, deberá tenerse en cuenta lo siguiente:

- a) Las cuevas o túneles que se utilicen para el almacenamiento deberán estar totalmente separados de las zonas mineras en explotación o que pudieran volverse a abrir a la explotación;
- b) Las cuevas o túneles deberán estar situados 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 y los túneles deberán estar ubicados en formaciones geológicas sumamente estables y no en zonas en las que se registren terremotos.

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

325. Si los desechos que contienen menos COP que lo definido como bajo contenido no se eliminan utilizando los métodos antes descritos, se deberán eliminar de manera ambientalmente racional de conformidad con la legislación nacional y las normas, las directrices y los reglamentos internacionales pertinentes, en particular las directrices técnicas específicas elaboradas en el marco del Convenio de Basilea.

326. En dependencia, entre otros criterios, del tipo de corriente de desechos de que se trate se deberá seleccionar el método de eliminación apropiado para manipular los desechos de manera ambientalmente racional. Por ejemplo, se han elaborado directrices técnicas para el manejo ambientalmente racional de una serie de corrientes de desechos conforme al Convenio de Basilea, las cuales están disponibles en el sitio web www.basel.int.

327. En el anexo II de las presentes directrices figuran ejemplos de legislaciones nacionales pertinentes.

H. Descontaminación de lugares contaminados

1. Detección de lugares contaminados

328. Las malas prácticas de manipulación y almacenamiento en particular pueden dar lugar a liberaciones de COP en lugares donde se almacenan estos productos químicos¹¹⁴, lo que causa la contaminación del lugar con altos niveles de COP, que pueden plantear graves riesgos para el medio ambiente y la salud. La ubicación de esos lugares es lo primero que hay que hacer para buscar solución a posibles motivos de preocupación.

329. La ubicación de esos lugares se puede llevar a cabo utilizando un enfoque por etapas, que incluya:

- a) La determinación de presuntos lugares contaminados, como los que actualmente se dedican o se han dedicado históricamente a:

¹¹⁴ La Determinación de lugares contaminados debe incluir también los lugares donde se han utilizado y almacenado precursores de COP (por ejemplo, la utilización de sulfuramida como plaguicida que es un precursor del PFOS).

- i) Fabricar COP;
 - ii) Otros procesos enumerados en el anexo C del Convenio de Estocolmo que pueden producir COP de forma no intencional;
 - iii) Formular plaguicidas y a cargar y recargar transformadores;
 - iv) Usar y almacenar COP, como la aplicación de plaguicidas y la instalación de transformadores;
 - v) Eliminar desechos de COP;
 - vi) Fabricar equipos, materiales, artículos (transformadores, condensadores, etc.) que contienen COP;
 - vii) Accidentes, incluidos incendios con líquidos y otros materiales que contengan o estén contaminados con COP.
- b) El examen de la información reciente e histórica sobre el presunto lugar contaminado;
 - c) Un programa inicial de ensayos para confirmar la presencia o ausencia de presuntos contaminantes y hacer una caracterización de las condiciones físicas del presunto lugar contaminado; y
 - d) Un programa detallado de ensayos para determinar la índole de la contaminación del lugar y reunir toda la información adicional necesaria.

330. Se dispone de amplia información sobre lugares contaminados. Por ejemplo, el Grupo de Expertos sobre COP de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) ha preparado una carpeta de materiales integral con la finalidad de ayudar a los países en desarrollo a detectar, clasificar y priorizar lugares contaminados con COP y a aplicar las tecnologías idóneas para la descontaminación de las tierras, de conformidad con las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales (ONUDI, 2010). Se puede obtener más información en el Manual de consulta para evaluar la contaminación del suelo (FAO, 2000) y en *Guidance document on the management of contaminated sites in Canada* (Consejo de Ministros del Medio Ambiente del Canadá, 1997).

2. Descontaminación ambientalmente racional

331. Los criterios para determinar la contaminación de un lugar, elaborados por los gobiernos valiéndose de las técnicas de evaluación de riesgos, sirven de objetivos generales para la descontaminación de esos lugares. Para los suelos, los sedimentos y las aguas subterráneas se pueden adoptar o elaborar criterios por separado. A menudo se establece una distinción entre los criterios de la calidad del suelo según el uso al que se dedique: suelos industriales (criterios menos estrictos), comerciales, residenciales o agrícolas (criterios más estrictos). Ejemplos de esos criterios se pueden encontrar en la Ordenanza sobre la protección del suelo y los lugares contaminados de Alemania, en la Ordenanza sobre la carga del suelo de Suiza y en las Directrices sobre calidad ambiental del Canadá.¹¹⁵

332. Para obtener información sobre los métodos actualmente utilizados para la descontaminación de lugares contaminados con COP, incluida la orientación sobre la evaluación del lugar, los programas de descontaminación y la evaluación de riesgos, se pueden consultar, entre otras, las siguientes fuentes:¹¹⁶

- a) *Canadian Council of Ministers of the Environment, 1997. Guidance Document on the Management of Contaminated Sites in Canada.* Disponible en: www.ccme.ca y el Canadian Federal Contaminated Sites Action Plan, disponible en <http://www.federalcontaminatedsites.gc.ca/default.asp?lang=en&n=BAC292EB-1>.
- b) FAO, 2001. *Training manual on inventory taking of obsolete pesticides, Pesticide Disposal Series No. 10.* Disponible en: www.fao.org.
- c) *Federal Remediation Technology Roundtable (FRTR), 2002. Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide, Version 4.0.* Disponible en: www.frtr.gov/matrix2/top_page.html.
- d) *United States Environmental Protection Agency (EPA):*

¹¹⁵ Véase *Canadian Council of Ministers of the Environment, 2002* y anexo II (ejemplos de legislaciones nacionales pertinentes).

¹¹⁶ Para las referencias completas véase el anexo III (Bibliografía).

<http://www.epa.gov/superfund/>
http://www.epa.gov/oswer/riskassessment/risk_superfund.htm
<http://www.epa.gov/superfund/cleanup/pasi.htm>,
<http://www.epa.gov/superfund/policy/remedy/sfremedy/rifs.htm>,
<http://www.epa.gov/superfund/cleanup/rdra.htm>
<https://clu-in.org/>

e) *United States Army Corps of Engineers*, 2003. *Safety and Health Aspects of HTRW Remediation Technologies*. Disponible en: http://140.194.76.129/publications/eng-manuals/EM_1110-1-4007_sec/EM_1110-1-4007.pdf; y

f) Vijgen, 2002. *NATO/CCMS Pilot Study: Evaluation of Demonstrated and Emerging Technologies for the Treatment of Contaminated Land and Groundwater*. Disponible en: <https://www.clu-in.org/download/partner/2001annualreport.pdf>.

I. Salud y seguridad¹¹⁷

333. En general, hay tres maneras fundamentales de proteger a los trabajadores y al público en general de los peligros que entrañan los productos químicos (por orden de preferencia):

- a) Mantener a los trabajadores y al público en general alejados de toda posible fuente de contaminación;
- b) Controlar los contaminantes de manera que se reduzca al mínimo la posibilidad de exposición; y
- c) Proteger a los trabajadores y cerciorarse de que utilicen el equipo de protección personal.

334. También se dispone de información sobre salud y seguridad de la OIT (OIT, 1999a y 1999b), la OMS (OMS, 1995 y 1999), el IPCS INCHEM (diversas fechas), la *United Kingdom Health and Safety Executive* (véase *Protection of workers and the general public during the development of contaminated land, Guidance Note HS (G) 66-H HMSO*) y en el Manual de orientación para actividades en lugares de desechos contaminados (NIOSH, 1985). En PNUMA, 2001 se pueden encontrar ejemplos de aplicación práctica.

335. En todas las plantas deben elaborarse planes de salud y seguridad en relación con la manipulación de los desechos de COP para garantizar la protección de todas las personas en la planta y sus alrededores. Un profesional especializado en salud y seguridad, con experiencia en la gestión de los riesgos relacionados con la salud de los COP que se utilizan concretamente en la planta, deberá elaborar el plan de salud y seguridad para cada planta en particular.

336. Todos los planes de salud y seguridad deberán observar los principios que se acaban de señalar y reconocer las normas laborales nacionales o locales. La mayoría de los programas de salud y seguridad reconocen varios grados de protección según el lugar de que se trate y la índole de los materiales contaminados que se encuentren en el lugar. El grado de protección que se garantiza a los trabajadores deberá estar en correspondencia con el nivel de riesgo al que están expuestos.

337. Las diferentes corrientes de desechos de COP pueden presentar riesgos muy diferentes en dependencia de la toxicidad y la exposición. Se deberán establecer los niveles de riesgo y en cada situación deberán ser evaluados por profesionales de la salud y la seguridad. A continuación se analizan dos tipos de situaciones: las de mayor riesgo y las de menor riesgo.

1. Situaciones de mayor riesgo

338. Cuando son elevadas las concentraciones de COP o se han acumulado volúmenes considerables de desechos de COP y es grande la posibilidad de que los trabajadores y la población en general estén expuestos a ellos, nos encontramos ante situaciones de mayor riesgo. En tales situaciones se deben realizar esfuerzos particulares para evitar al máximo la exposición del público. Además, se deben impartir orientaciones para garantizar que el público tenga conocimiento de los posibles riesgos y de las medidas que se deben adoptar en caso de exposición.

339. En las directrices técnicas específicas sobre los desechos de COP se señalan las situaciones de mayor riesgo correspondientes a los diferentes COP específicos que estas abarcan.

¹¹⁷ Se puede obtener más información sobre salud y seguridad de la OIT, 1999a y 1999b; la OMS, 1995 y 1999; y del IPCS INCHEM (sin fecha). Para las referencias completas véase el anexo III (Bibliografía).

340. No existe una definición cuantitativa a nivel internacional de gran volumen o de alta concentración. Los trabajadores y empleados pueden guiarse por el asesoramiento y la información de los profesionales de la salud y la seguridad, los representantes sindicales, las publicaciones científicas y las autoridades públicas. Las situaciones de mayor riesgo pueden producirse en:

- a) Lugares donde se producen, manipulan o utilizan COP;
- b) Lugares donde se acumulan o almacenan grandes volúmenes de productos químicos o desechos de COP;
- c) Plantas para el tratamiento o la eliminación de desechos de COP;
- d) Lugares contaminados con altas concentraciones de COP en la superficie o cerca de ella.

341. Como mínimo, la planificación de los aspectos de salud y seguridad en situaciones de mayor riesgo a causa de los COP deberá incluir los elementos siguientes:

- a) Se preparará un plan de salud y seguridad por escrito, que se colocará en un lugar visible;
- b) Los trabajadores que tengan acceso a esos lugares deberán leer el plan y firmar un documento que confirme 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 prestar los servicios programados o inspeccionar el equipo o los materiales almacenados;
- e) Los trabajadores que accedan al lugar deberán recibir la capacitación operacional apropiada en materia de salud y seguridad frente a los peligros químicos, 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 contaminantes;
- h) Pudieran ser aconsejables medidas de protección colectiva como un sistema activo de control de humedad (por ejemplo, para evitar que el polvo contaminado pase a la atmósfera) y sistemas pasivos de cobertura (por ejemplo, láminas impermeables selladas de polietileno de alta densidad (HDPE) para reducir la difusión de polvo y vapores);
- i) 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);
- j) En todos los lugares donde haya COP se colocarán estuches de limpieza de derrames y materiales de descontaminación personal;
- k) Los trabajadores que habitualmente tengan acceso, o puedan tenerlo, a estos sitios o que trabajen con COP, deberán someterse a controles médicos, en particular un examen médico general que servirá de parámetro de referencia;
- l) Cuando haya que manipular COP en un sistema abierto, o cuando haya motivos para considerar que la vestimenta de protección de un trabajador pueda estar contaminada con COP, se establecerá una zona de reducción de los contaminantes donde los trabajadores puedan someterse al proceso de descontaminación y quitarse el equipo de protección;
- m) El plan de salud y seguridad y los procedimientos operativos generales deberán revisarse al menos una vez al año y modificarse de ser necesario para aumentar la seguridad y la salud del lugar.

2. Situaciones de menor riesgo

342. Al igual que en el caso del alto volumen y la alta concentración, tampoco existe una definición cuantitativa internacional de bajo volumen o baja concentración. Por consiguiente, estos términos se deben definir comparando los niveles de contaminantes con las directrices oficiales o llevando a cabo evaluaciones de riesgo específicas de cada lugar. Las situaciones de menor riesgo pueden producirse en:

- a) Lugares que contienen materiales contaminados con COP en pequeñas cantidades o bajas concentraciones;

- b) Locales de almacenamiento controlados que contienen pequeñas cantidades de COP; y
- c) Lugares contaminados con bajas concentraciones de COP o donde las personas no pueden entrar en contacto directo con la contaminación.

343. Pese al bajo nivel de riesgo que representan las situaciones antes descritas, se deberán adoptar algunas medidas en materia de salud y seguridad para minimizar la exposición, entre ellas la capacitación sobre salud y seguridad del personal que probablemente entre en contacto con los COP.

J. Cómo actuar en situaciones de emergencia¹¹⁸

344. Se deberán elaborar planes para hacer frente a situaciones de emergencia en todos los lugares donde se produzcan, usen, almacenen, transporten o eliminen todos los tipos de COP, en consonancia con la exposición y los perfiles de riesgo de cada COP específico. 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:

- a) Determinación de todos los peligros, riesgos y accidentes posibles;
- b) Selección de las leyes locales y nacionales pertinentes por las que se regirán los planes para hacer frente a situaciones de emergencia;
- c) Planificación para situaciones de emergencia previstas y posibles medidas para hacerles frente;
- d) Mantenimiento de un inventario actualizado completo de todos los COP presentes en el lugar;
- e) Capacitación del personal en las actividades para hacer frente a situaciones de emergencia, tales como ejercicios de simulación y primeros auxilios;
- f) Mantenimiento de capacidades móviles para hacer frente a los derrames o contratación de servicios con una empresa especializada en situaciones de este tipo;
- g) Notificación de la ubicación de los COP y las rutas de transporte a los servicios de extinción de incendios, la policía y otros organismos gubernamentales encargados de hacer frente a situaciones de emergencia;
- h) Establecimiento de medidas de mitigación, por ejemplo, sistemas de extinción de incendios, equipo de contención de derrames, depósitos de agua para extinguir incendios, alarmas contra incendios y derrames y muros cortafuego;
- i) Instalación de sistemas de comunicación para situaciones de emergencia, que incluya señales con indicación de salidas de emergencia, números de teléfono, ubicación de las alarmas e instrucciones sobre cómo actuar;
- j) Instalación y el mantenimiento de un instrumental para hacer frente a situaciones de emergencia, que contengan sorbedores, equipo de protección personal, extintores portátiles y botiquín de primeros auxilios;
- k) Integración de los planes de las instalaciones con los planes locales, regionales, nacionales y globales para hacer frente a situaciones de emergencia, si procede; y
- l) Comprobación periódica de los equipos para hacer frente a situaciones de emergencia y revisión de los planes para hacer frente a situaciones de emergencia.

345. Los planes para hacer frente a situaciones de emergencia deberán prepararse conjuntamente por equipos interdisciplinarios que incluyan personal encargado de la respuesta en situaciones de emergencia, médicos, especialistas químicos y técnicos y también representantes de los sindicatos y la administración. Si procede, deberán participar también representantes de las comunidades afectadas.

¹¹⁸ 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).

K. Participación del público

346. La participación del público es un principio fundamental de la Declaración de Basilea de 1999 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, en la planificación de programas, en la elaboración de la legislación, en el análisis de los documentos y datos y en la adopción de decisiones sobre temas locales acerca de los COP. En los párrafos 6 g) y h) de la Declaración de Basilea se plasma un acuerdo para mejorar y fortalecer los esfuerzos y la cooperación con vistas a lograr el manejo ambientalmente racional con respecto a la mejora del intercambio de información, la educación y la concienciación en todos los sectores de la sociedad y el fomento de la cooperación y las modalidades de asociación a todos los niveles entre los países, las autoridades públicas, las organizaciones internacionales, la industria, las organizaciones no gubernamentales y las instituciones académicas.

347. En el párrafo 1 d) 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 de los COP y sus efectos para la salud y el medio ambiente y en la elaboración de respuestas adecuadas, también creando la posibilidad de hacer aportaciones a nivel nacional respecto de la aplicación de ese Convenio.

348. 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 de 1998 (Convención de Aarhus) de la CEPE, se pide a las Partes que realicen actividades bastante específicas relativas a la participación del público en acciones gubernamentales concretas, la elaboración de planes, políticas y programas y la elaboración de leyes, así como el acceso del público a la justicia en lo que se refiere al medio ambiente.

349. Es fundamental la participación del público en la adopción de normas y reglamentos sobre los COP. Todo gobierno que proyecte un nuevo reglamento o la modificación de un reglamento deberá convocar un proceso abierto para solicitar observaciones de todos y cada uno de los grupos o particulares. Ello supone que se debe invitar a todos a formular observaciones por todos los medios de información ordinarios, Internet o por invitación directa. Las personas o grupos que deberán ser invitados directamente a formular observaciones son los siguientes:

- a) Ciudadanos particulares que hayan expresado interés en los COP;
- b) Grupos locales de ciudadanos, en particular los grupos ambientales locales, en relación con problemas locales;
- c) Grupos de personas muy vulnerables, como mujeres, niños y personas con bajo nivel de instrucción;
- d) Grupos ambientales organizados a nivel regional, nacional o mundial;
- e) Industrias y negocios privados con interés en el proceso;
- f) Asociaciones empresariales;
- g) Sindicatos y asociaciones;
- h) Asociaciones de profesionales;
- i) Otras instancias de gobierno.

350. El proceso de participación del público puede constar de varias etapas. Se puede consultar a los grupos antes de considerar algún cambio o programa, durante el proceso de formulación de políticas y después de preparar cada proyecto de documento normativo. Se puede invitar a formular observaciones personalmente, por escrito o por medio del sitio web en Internet.

351. Un ejemplo de consulta pública en relación con la formulación de planes de gestión de los COP puede hallarse en el documento del Departamento de Medio Ambiente y Patrimonio de Australia titulado *A case study of problem solving through effective community consultation*.¹¹⁹

¹¹⁹ Véase Australia *Department of the Environment and Heritage*, 2000.

Annex I to the technical guidelines*

International instruments

In addition to the Stockholm and Basel conventions, there are other international instruments or systems that contain provisions pertaining to POPs or POP wastes, including:

- (a) 1998 Protocol on Persistent Organic Pollutants to the UNECE 1979 Convention on Long-range Transboundary Air Pollution;
- (b) 2003 Protocol on Pollutant Release and Transfer Registers to the UNECE 1998 Convention on Access to Information, Public Participation in Decision-making and Access to Justice in Environmental Matters (Aarhus Convention);
- (c) 1991 Bamako Convention on the Ban of the Import into Africa and the Control of Transboundary Movement and Management of Hazardous Wastes within Africa;
- (d) 1995 Convention to Ban the Importation into Forum Island Countries of Hazardous and Radioactive Wastes and to Control the Transboundary Movement and Management of Hazardous Wastes within the South Pacific Region (Waigani Convention);
- (e) OECD Council Decision C (2001) 107/FINAL Concerning the Control of Transboundary Movements of Wastes Destined for Recovery Operations;
- (f) Rotterdam Convention on Prior Informed Consent Procedure for Certain Hazardous Chemicals and Pesticides in International Trade (1998); and
- (g) Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS).

* Para reducir costes, no se han traducido los anexos de este documento.

Annex II to the technical guidelines

Examples of pertinent national legislation

Examples of national legislation containing provisions related to the management of POP wastes are outlined below.

Country	Legislation	Brief description
Argentina	Law 25.670/2002 and Decree 853/2007 on PCBs	<ul style="list-style-type: none"> Environmental protection for the management of PCB prohibiting the production, importation and use as well as establishing a procedure to remove functioning equipment containing it due to 2010
Argentina	Law 24.051/1992 and Decree 831/1993 on management of hazardous wastes	<ul style="list-style-type: none"> Reaches all POP wastes that are classified as hazardous waste; includes a destruction efficiency parameter for components in waste incineration
Argentina	Resolution 511/2011 from National Health Service and Food Quality (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria-SENASA).	<ul style="list-style-type: none"> Prohibits the import of the active ingredient endosulfan and its formulated products and forbids the development, formulation, marketing and use of products containing the active ingredient endosulfan
Austria	Soil Protection Acts	<ul style="list-style-type: none"> Contains stringent limit values for PCBs, PCDDs and PCDFs in sewage sludge used as fertilizer.
Brazil	Norm ABNT/NBR, N° 8371/1997	<ul style="list-style-type: none"> Procedures for handling, transport and storage of materials containing PCBs
Brazil	Resolution CETESB (São Paulo state), N° 007/1997	<ul style="list-style-type: none"> Determines limits for PCDDs and PCDFs on emissions from medical waste incinerators with capacity > 200 kg/day
Brazil	Resolution CONAMA, N° 264/1999	<ul style="list-style-type: none"> Procedures for environmental licensing of waste co-processing in cement kilns
Brazil	Resolution CONAMA, N° 313/2002	<ul style="list-style-type: none"> Provides for an inventory of PCB stocks and industrial wastes
Brazil	Resolution CONAMA, N° 316/2002	<ul style="list-style-type: none"> Procedures and criteria for operating thermal waste treatment systems, provides limits on emissions of PCDDs and PCDFs.
Brazil	Resolution CONAMA, N° 334/2003	<ul style="list-style-type: none"> Procedures for environmental licensing for establishments responsible for receiving pesticides packaging.
Brazil	Decision CETESB (São Paulo state), N° 26/2003	<ul style="list-style-type: none"> Sets limits for air emissions of PCDDs and PCDFs of cement kilns treating waste
Brazil	Resolution CONAMA, N° 357/2005	<ul style="list-style-type: none"> Provides maximum permitted levels for POPs in effluents discharged to water.
Canada	PCB Regulations	<ul style="list-style-type: none"> Restrict the manufacture, import, export and sale of PCBs and equipment containing PCBs, and prohibit PCB releases to the environment. The regulations have deadlines ending the use of PCBs and PCB equipment that have concentrations at or above 50 mg/kg along with maximum storage and destruction timelines.
China	Technical specifications for centralized incineration disposal engineering (HJ 2037)	<ul style="list-style-type: none"> Procedures for incineration of materials containing PCBs
China	Technical specification for co-processing of solid wastes in cement kilns (GB 30760)	<ul style="list-style-type: none"> Procedures for co-processing of POPs wastes in cement kilns Limitation for dioxin in cement produced by the co-processing of solid waste

Country	Legislation	Brief description
China	Guidelines for the pollution control of dioxins	<ul style="list-style-type: none"> • Pollution control of dioxins on 4 key-industries
China	Standard for pollution control on: <ul style="list-style-type: none"> • municipal solid wastes incineration (GB 18485) • hazardous wastes incineration (GB 18484) • co-processing of solid wastes in cement kilns (GB 30485) • the steel smelt industry (GB 28664) • sintering and pelletizing of iron and the steel industry (GB 28662) 	<ul style="list-style-type: none"> • Contains standards for releases of PCDDs and PCDFs in air emissions
European Union	Regulation (EC) No 850/2004 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on persistent organic pollutants and amending Directive 79/117/EEC (last amendment: Commission Regulation (EU) No 1342/2014)	<ul style="list-style-type: none"> • Article 7 contains provisions regarding the management of wastes containing, consisting of or contaminated with POPs.
European Union	Council Directive 96/59/EC of 16 September 1996 on the disposal of polychlorinated biphenyls and polychlorinated terphenyls (PCB/PCT)	<ul style="list-style-type: none"> • Contains rules regarding the disposal of PCBs and PCTs, <i>inter alia</i> on the decontamination and/or disposal of equipment and the PCBs therein.
European Union	Directive 2010/75/EU on industrial emissions (Industrial Emissions Directive, IED)	<ul style="list-style-type: none"> • Annex VI, part 5, contains emission limit values for discharges of PCDD- and PCDF-contaminated wastewater from the cleaning of waste gases. • Annex V contains air emission values for PCDDs and PCDFs.
European Union	Council Decision 2003/33/EC of 19 December 2002 establishing criteria and procedures for the acceptance of waste at landfills pursuant to Article 16 of, and Annex II to Directive 1999/31/EC	<ul style="list-style-type: none"> • Paragraph 2.1.2.2 of the annex contains criteria for landfilling of inert waste containing PCBs.
Finland	Council of State Decision (1071/1989) on restricting the use of PCBs and PCTs	<ul style="list-style-type: none"> • Contains limit values for PCBs and PCTs
Finland	Council of State Decision (101/1997) on oil waste management	<ul style="list-style-type: none"> • Contains limit values for PCBs in regenerated oil and in oil wastes destined for incineration
Finland	Council of State Decision (711/1998) on the disuse of PCB appliances and the treatment of PCB waste	<ul style="list-style-type: none"> • Contains limit values for PCBs
Finland	Council of State Decree (1129/2001) on a list of the most common wastes and of hazardous wastes	<ul style="list-style-type: none"> • Contains limit values for PCBs
Germany	Federal Soil Protection and Contaminated Sites Ordinance	<ul style="list-style-type: none"> • Contains action levels regarding sites contaminated with aldrin, DDT, HCB, HCH, PCBs, PCP, PCDDs and PCDFs.
Germany	Ordinance on Landfills and Long-Term Storage Facilities	<ul style="list-style-type: none"> • Contains a limit for PCBs in soils used as reclamation layers of landfills. • Prohibits the landfilling of waste that could harm public welfare due to its content of long-lived or bio-accumulable toxic substances.
Germany	Ordinance on Underground Waste Stowage	<ul style="list-style-type: none"> • Contains limits for the use of waste contaminated with PCBs as stowage material.
Germany	Fertilizer Ordinance	<ul style="list-style-type: none"> • Contains limits for PFOS, PCDDs and PCDFs in fertilizers
Germany	Sewage Sludge Ordinance	<ul style="list-style-type: none"> • Contains limits for the usage of sewage sludge contaminated with PCBs, PCDDs and PCDFs as fertilizer.
Germany	Waste Wood Ordinance	<ul style="list-style-type: none"> • Contains limits for recycling of waste wood contaminated with PCBs and PCP.
Germany	Waste Oil Ordinance	<ul style="list-style-type: none"> • Contains limits for recycling of PCB-contaminated oils.
Ghana	Hazardous and Electronic Waste Control and	<ul style="list-style-type: none"> • Contains elements related to the implementation of

Country	Legislation	Brief description
	Management-Act, 2016, Act 917	the Basel, Rotterdam and Stockholm Conventions, especially on all waste which include POP wastes.
Italy	Part of the Environmental Frame Law concerning waste and soil remediation (Part IV of Legislative Decree No. 152 of 3 April 2006)	<ul style="list-style-type: none"> Contains limits for the regeneration and the co-incineration of PCB/PCT contaminated oils Contains action levels regarding sites (residential, industrial commercial soil and groundwater) contaminated with aldrin, alfa, beta and gamma HCH, chlordane, dieldrin, endrin, DDT, HCB, PCBs, PCDDs and PCDFs.
Italy	Regulations for waste recovery with exemption from permit requirements (simplified administrative procedures) (Ministerial Decree 5/02/1998)	<ul style="list-style-type: none"> Contains limits for PCBs, PCTs and PCDDs in specific types of waste as conditions for exemption from permit requirements
Japan	Law Concerning Special Measures Against Dioxins	<ul style="list-style-type: none"> Contains tolerable daily intake environmental standards for ambient air, water quality (including sediment) and soil, emission and residue standards for gas, effluent, ash and dust regarding PCDDs, PCDFs and dioxin-like PCBs.
Japan	Law Concerning Special Measures for Promotion of Proper Treatment of PCB Wastes (PCB Special Measures Law)	<ul style="list-style-type: none"> Contains standards for the treatment of plastics and metals contaminated with PCBs.
Japan	Soil Contamination Countermeasures	<ul style="list-style-type: none"> Contains standards for the treatment of soil contaminated with PCBs.
Japan	Waste Management and Public Cleansing Law	<ul style="list-style-type: none"> Contains criteria of hazardous wastes containing PCBs, PCDDs, PCDFs and dioxin-like PCBs.
Japan	Water Pollution Control Law	<ul style="list-style-type: none"> Contains emission standards for effluent containing PCBs.
Mexico	Norm NOM-098 of 2004	<ul style="list-style-type: none"> Contains emission and destruction efficiency standards for waste incinerators.
Mexico	Norm NOM-133 of 2001	<ul style="list-style-type: none"> Contains regulations regarding handling of PCBs and a programme for the preparation of inventories.
New Zealand	Hazardous Substances and New Organisms Act 1996	<ul style="list-style-type: none"> Prohibits the import, manufacture, use or storage of POPs (sections 25A – 25D, Schedule 1AA, Schedule 2A).
New Zealand	National Environmental Standards for Air Quality (Resource Management (National Environmental Standards for Air Quality) Regulations 2004)	<ul style="list-style-type: none"> Contains standards banning activities discharging significant quantities of dioxins and other toxics into the air, and standards for ambient (outdoor) air quality.
Norway	Norwegian Product Regulations, Chapter 2 on Regulated substances, preparations and products.	<ul style="list-style-type: none"> Contains a ban on the production, use, import and export of PCBs, including PCB-containing capacitors.
Norway	Norwegian Waste Regulations, Chapter 14 on Discarded insulating glass units containing PCBs	<ul style="list-style-type: none"> Lays down requirements for the producers to collect and handle obsolete windows that contain PCBs.
Norway	Norwegian Pollution Regulations, Chapter 2 on Clean-up of contaminated soil	<ul style="list-style-type: none"> Contains limit values below which a soil is considered to be clean and suitable for use in sensitive areas.
Switzerland	Soil Burden Ordinance	<ul style="list-style-type: none"> Contains actions levels regarding sites contaminated with PCBs, PCDDs and PCDFs.
United States of America	EPA 40 CFR 63 Subpart EEE National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants from Hazardous Waste Combustors	<ul style="list-style-type: none"> Contains standards for releases of PCDDs and PCDFs within air emissions.
United States of America	40 CFR 268.48 Universal Treatment Standards for Hazardous Wastes	<ul style="list-style-type: none"> Contains standards for the treatment of hazardous waste prior to land disposal and aqueous waste prior to release.
United States of America	40 CFR 761.70 Standards for incineration of PCBs	<ul style="list-style-type: none"> Contains standards for air emissions when incinerating PCBs.

Annex III to the technical guidelines

Bibliography

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (United States of America), Toxicological Profile Information Sheets. Available from: www.atsdr.cdc.gov.
- Ariizumi, A et al, 1997. "Dechlorination and decomposition behaviour of PCBs by the sodium dispersion process", *J. Environ. Chem.*, vol. 7, pp. 793–799.
- Australia Department of the Environment and Heritage, 2000. *A Case Study of Problem Solving Through Effective Community Consultation*. Available at: <http://www.ntn.org.au/cchandbook/library/documents/problem%20solving.pdf>.
- Austrian Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management, 2010. *Waste-to-Energy in Austria. White Book – Figures, Data, Facts*, 2nd edition. Available at: <http://www.uvp.at/publications/whitebook/>
- Borgnes.D and Rikheim.B. 2005. *Emission Measurements During Incineration of Waste Containing Bromine*". Norden, 2005. Available at: <http://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:702261/FULLTEXT01.pdf>
- BiPRO GmbH, 2005. "Study to facilitate the implementation of certain waste related provisions of the Regulation on Persistent Organic Pollutants (POPs): Final Report for the European Commission." Brussels, Munich. Available at: http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/pops_waste_full_report.pdf
- Brusselsaers J., Mark F.E. and Tange L., 2006. "Using Metal-Rich WEEE Plastics as Feedstock Fuel Substitute for an Integrated Metals Smelter", Plastics Europe, Umicore and EFRA.
- Canadian Council of Ministers of the Environment, 1997. *Guidance Document on the Management of Contaminated Sites in Canada*. Available from: www.ccme.ca.
- Canadian Council of Ministers of the Environment, 2002. *Canadian Environmental Quality Guidelines*. Available from: www.ccme.ca.
- CMPS&F – Environment Australia, 1997. *Appropriate Technologies for the Treatment of Scheduled Wastes: Review Report Number 4*. Available from: www.deh.gov.au.
- Cobo, M., A. Gálvez, J. Conesa and C. Montes de Correa (2009). "Characterization of fly ash from a hazardous waste incinerator in Medellin, Colombia." *Journal of Hazardous Materials* 168: 1223-1232.
- Costner, P., Luscombe D. and Simpson M., 1998. "Technical Criteria for the Destruction of Stockpiled Persistent Organic Pollutants", Greenpeace International Service Unit.
- Danish Environmental Protection Agency, 2004. *Detailed review of selected non-incineration and incineration POPs Elimination Technologies for the CEE Region*. Available from: www.mst.dk/publications/.
- Environment Canada, 2011. *Environmental monitoring and surveillance in support of the chemical management plan*. Available from: <http://www.ec.gc.ca>.
- EPA, 1993. *Technology Alternatives for the Remediation of PCB-Contaminated Soil and Sediment*. Available from: www.epa.gov.
- EPA, 2002. *RCRA Waste Sampling Draft Technical Guidance*. Available at www.epa.gov.
- European Commission, 2001a. *Reference Document on Best Available Techniques in the Non Ferrous Metals Industry*. Available from: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/nfm.html>.
- European Commission, 2001b. *Reference Document on Best Available Techniques on the Production of Iron and Steel*. Available at: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/IS_Adopted_03_2012.pdf.
- European Commission, 2003. *Reference Document on the General Principles of Monitoring*. Available from: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/mon.html>.
- European Commission, 2006. *Reference Document Best Available Techniques for Waste Incineration*. Available from: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/wi.html>.

- European Commission, 2011. *Study on waste related issues of newly listed POPs and candidate POPs*. (prepared by the Expert Team to Support Waste Implementation, ESWI). Available at: http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/POP_Waste_2010.pdf.
- European Commission, 2013. Best Available Techniques (BAT). *Reference Document for the Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide*. Joint Research Centre. Institute for prospective technological studies.
- European Commission, 2013b. Decision 2013/163/EU establishing the best available techniques (BAT) conclusions under Directive 2010/75/EU on industrial emissions for the production of cement, lime and magnesium oxide. Available at: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013D0163&from=EN>
- FAO, 1996. *Pesticide Storage and Stock Control Manual*. Pesticide Disposal Series No.3. Available from: <http://www.fao.org/agriculture/crops/obsolete-pesticides/resources0/en/>.
- FAO, 2000. *Assessing Soil Contamination: A Reference Manual*. Pesticide Disposal Series No. 8. Available from: www.fao.org/agriculture/crops/obsolete-pesticides/resources0/en/.
- FAO, 2001. *Training manual for inventory taking of obsolete pesticides*. Pesticide Disposal Series No. 10. Available from: www.fao.org/agriculture/crops/obsolete-pesticides/resources0/en/.
- Federal Remediation Technology Roundtable (FRTR), 2002. Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide, Version 4.0. Available at: www.frtr.gov/matrix2/top_page.html.
- German Federal Environment Agency, 2014. Federation/Länder Dioxin Database, Umweltbundesamt Dessau-Roßlau. Available at: <http://www.dioxindb.de/index-e.html>.
- German Federal Environment Agency, 2015. *Identification of potentially POP-containing Wastes and Recyclates – Derivation of Limit Values*. Available at: <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/identification-of-potentially-pop-containing-wastes>
- German Federal Ministry for the Environment, 2005. *Waste Incineration – A Potential Danger? Bidding Farewell to Dioxin Spouting*. Available at: http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/english/pdf/application/pdf/muellverbrennung_dioxin_en.pdf.
- Global Programme of Action for the Protection of the Marine Environment from Land-based Activities. GPA clearing-house mechanism. Available from: <http://pops.gpa.unep.org>.
- Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS). Available from: http://www.unece.org/trans/danger/publi/ghs/ghs_welcome_e.html
- Government of Canada, 2011. *Document on monitoring and research under the chemical management plan*. Available from: <http://www.chemicalsubstanceschimiques.gc.ca>.
- IATA. *Dangerous Goods Regulations (DGR)*. Available from: <http://www.iata.org/publications/dgr/Pages/index.aspx>.
- ICAO, 2013. *Technical Instructions For The Safe Transport of Dangerous Goods by Air (Doc 9284)*. Available at: <http://www.icao.int/safety/DangerousGoods/Pages/technical-instructions.aspx>.
- ILO, 1999a. *Basics of Chemical Safety*. Available from: www.ilo.org.
- ILO, 1999b. *Safety in the use of chemicals at work: Code of Practice*. Available from: www.ilo.org.
- IMO, 2002. *International Maritime Dangerous Goods Code*. Available from: www.imo.org.
- IPCS INCHEM, various dates. *Health and Safety Guides (HGSs)*. Available from: <http://www.inchem.org/pages/hsg.html>.
- JESCO (Japan Environmental Safety Corporation), 2009a. Kitakyushu PCB Waste Treatment Facility, Available at: www.jesconet.co.jp/eg/facility/kitakyushu.html.
- JESCO, 2009b. Toyota PCB Waste Treatment Facility. Available at: www.jesconet.co.jp/eg/facility/toyota.html.
- JESCO, 2009c. Osaka PCB Waste Treatment Facility. Available at: www.jesconet.co.jp/eg/facility/osaka.html.
- JESCO, 2009d. Tokyo PCB Waste Treatment Facility. Available at: www.jesconet.co.jp/eg/facility/tokyo.html.
- JESCO, 2013. Hokkaido PCB Waste Treatment Facility. Available at: www.jesconet.co.jp/eg/facility/hokkaido.html.

- Karstensen, K.H., 2001. "Disposal of obsolete pesticides in cement kilns in developing countries. Lessons learned – How to proceed", *6th International HCH & Pesticides Forum Book*, pp. 291-301. Available from: http://www.hchforum.com/6th/forum_book/.
- Karstensen, K.H. et al., 2006. "Environmentally sound destruction of obsolete pesticides in developing countries using cement kilns", *Environmental Science & Policy*, vol. 9 No. 6, pp. 577–586.
- Karstensen, K.H., 2008. *Guidelines for treatment of hazardous wastes and co-processing of AFRs in cement kilns*. Prepared for the Department for Environmental Affairs and Tourism, Republic of South Africa. Available at: <http://sawic.environment.gov.za/documents/461.pdf>.
- Karstensen, K.H. et al. 2009. "Test burn with PCB–oil in a local cement kiln in Sri Lanka", *Chemosphere*, vol. 78 No. 6, pp. 717-723.
- Kümmling, K. et al, 2001. "Gas-phase chemical reduction of hexachlorobenzene and other chlorinated compounds: Waste treatment experience and applications", *6th International HCH & Pesticides Forum Book*, pp. 271-275. Available from: http://www.hchforum.com/6th/forum_book/.
- Li, Y et al, 2012. Disposal of obsolete pesticides including DDT in a Chinese cement plant as blueprint for future environmentally sound co-processing of hazardous waste including POPs in cement industry, *Procedia Environmental Sciences*, vol. 16, pp 624-627.
- Liu, G. et al, 2016. Distributions, profiles and formation mechanisms of polychlorinated naphthalenes in cement kilns co-processing municipal waste incinerator fly ash, *Chemosphere*, vol. 155, pp 348-357.
- Ministry of the Environment of Japan, 2004. *Report on study of the treatment standards for POPs waste in fiscal year 2003*.
- Ministry of the Environment of Japan, 2013a. *Environmental Monitoring of Persistent Organic Pollutants in East Asian Countries*. Available at: www.env.go.jp/en/chemi/pops/eaws.html, <http://www.env.go.jp/chemi/pops/3rd/mat02.pdf>
- Ministry of the Environment of Japan, 2013b. *Summary of the Guideline on the Treatment of Wastes Containing Perfluorooctane Sulfonic Acid (PFOS), and Its Salts[,] in Japan*. Available at: www.env.go.jp/en/focus/docs/files/201304-89.pdf.
- Marrone, Philip A. 2013. Supercritical water oxidation—Current status of full-scale commercial activity for waste destruction. *The Journal of Supercritical Fluids*, vol. 79, pp 283-288.
- Marrone, P.A. and Hong, J.T., 2007. "Supercritical Water Oxidation", in *Environmentally Conscious Materials and Chemicals Processing*, Myer Kutz, ed., John Wiley & Sons, Inc., pp. 385-453.,
- Mark, F.E. et al, 2015. "Destruction of the flame retardant hexabromocyclododecane in a full-scale municipal solid waste incinerator", *Waste Management & Research*, vol. 33 No. 2, pp. 165–174.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Occupational Safety and Health Administration (OSHA), U.S. Coast Guard (USCG), U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Occupational Safety and Health. October 1985. *Guidance Manual for Hazardous Waste Site Activities*. Available at: <https://www.osha.gov/Publications/complinks/OSHG-HazWaste/all-in-one.pdf>
- Noma Y., Sakai. S., Oono M., 2002. "Dechlorination pathways of PCBs by photochemical reaction and catalytic hydro-dechlorination", *Organohalogen Compounds*, vol. 56, pp. 413–416.
- Noma Y., Sakai. S., Oono M., 2003a. "Dechlorination pathways and kinetics in photochemical reaction and catalytic hydro-dechlorination", *Organohalogen Compounds*, vol. 63, pp. 276–279.
- Noma Y., Sakai. S., Oono M., 2003b. "Pathways for the degradation of PCBs by palladium-catalyzed dechlorination", *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 12 No. 3, pp. 302–308.
- Nordic Council of Ministers, 2005. *Emission Measurements During Incineration of Waste Containing Bromine*. Available from: <http://www.norden.org/en/publications/order>.
- OECD, multiple years. *OECD Series on Principles of Good Laboratory Practice and Compliance Monitoring* (multiple volumes). Available from: www.oecd.org.
- OECD, 1997. *Principles on Good Laboratory Practice* (as revised in 1997). Available from: www.oecd.org/.
- OECD, 1998. Waste Management Policy Group: "Report on incineration of products containing brominated flame retardants", Environment Policy Committee. Available from: www.oecd.org.

- OECD, 2003. *Guiding Principles for Chemical Accident Prevention, Preparedness and Response, second edition*. Available from: www.oecd.org.
- OECD, 2004. *Recommendation of the Council on the Environmentally Sound Management (ESM) of Waste C(2004)100*. Adopted 9 June 2004. Available from: www.oecd.org.
- Petrlík, J. and R. Ryder (2005). After Incineration: The Toxic Ash Problem. Prague, Manchester, IPEN Dioxin, PCBs and Waste Working Group, Arnika Association: 59; Available at: http://ipen.org/sites/default/files/documents/ipen_incineration_ash-en.pdf.
- Piersol, P. 1989. *The Evaluation of Mobile and Stationary Facilities for the Destruction of PCBs*. Environment Canada Report EPS 3/HA/5, May 1989.
- Rahuman, M.S.M. et al, 2000. "Destruction Technologies for Polychlorinated Biphenyls (PCBs)", ICS-UNIDO. Available from: https://clu-in.org/download/remed/destruct_tech.pdf
- Ray, Ian D., 2001. "Management of chlorinated wastes in Australia", *6th International HCH & Pesticides Forum Book*, pp. 523-526. Available from: http://www.hchforum.com/6th/forum_book/.
- Sakai S., Peter. A. B. and Oono M., 2001. "PCB destruction by catalytic hydrodechlorination (CHD) and t-BuOK method: Combinatorial bio/chemical analysis", *Organohalogen Compounds*, vol. 54, pp. 293-296.
- STAP (Scientific and Technical Advisory Panel of the Global Environment Facility), 2011. *Selection of Persistent Organic Pollutant Disposal Technology for the Global Environment Facility: A STAP Advisory Document*. Global Environment Facility, Washington, D.C.
- Stobiecki, S. et al, 2001. Disposal of pesticides as an alternative fuel in cement kiln: project outline. *6th International HCH & Pesticides Forum Book*, pp. 285-289. Available from: http://www.hchforum.com/6th/forum_book/.
- Tagashira, S. et al, 2006. "Plasma Melting Technology of PCB-contaminated Wastes", Proceedings of the 4th International Conference on Combustion Incineration/Pyrolysis and Emission Control, September 26-29, 2006, Kyoto, Japan, pp. 519-522.
- Tagashira S., Takahashi M., Shimizu Y., Osada M., Mikata N., Yamazaki R., 2007. "Plasma Melting technology of PCB-contaminated Wastes", *Organohalogen Compounds*, vol. 69, pp. 662-665.
- UNECE, 1998. *Convention on Access to Information, Public Participation in Decision-Making and Access to Justice in Environmental Matters (Aarhus Convention)*. Available from: <http://www.unece.org/env/pp/treatytext.html>
- UNECE, 2003a. *Recommendations on the Transport of Dangerous Goods (Model Regulations)*. Available from: www.unece.org.
- UNECE, 2003b. *Protocol on Pollutant Release and Transfer Registers (to the Aarhus Convention)*. Available at: <http://www.unece.org/env/pp/prtr/docs/prtrtext.html>.
- UNEP, 1993. *Storage of Hazardous Materials: A Technical Guide for Safe Warehousing of Hazardous Materials*. Available at: <http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/WEBx0063xPA-SafeWarehousing.PDF>.
- UNEP, 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*. Available from: www.basel.int.
- UNEP, 1995b. *Technical Guidelines on Incineration on Land (D10)*. Available from: www.basel.int.
- UNEP, 1995c. *Technical Guidelines on Specially Engineered Landfill (D5)*. Available from: www.basel.int.
- UNEP, 1998. *Inventory of Worldwide PCB Destruction Capacity*. Available from: www.chem.unep.ch.
- UNEP, 2000. *Survey of Currently Available Non-Incineration PCB Destruction Technologies*. Available from: www.chem.unep.ch.
- UNEP, 2000a. *Basel technical guidelines on hazardous wastes-Physico-Chemical Treatment/Biological Treatment*. Available from: www.basel.int.
- UNEP, 2001. *Destruction and Decontamination Technologies for PCB and Other POP waste Part III. Technology Selection Process*. Available from: <http://archive.basel.int/meetings/sbc/workdoc/techdocs.html>.

UNEP, 2002a. *Destruction and decontamination technologies for PCBs and other POP waste under the Basel Convention: A training manual for hazardous waste project managers (Volume c* . Available from: <http://chm.pops.int/Implementation/PCBs/DocumentsPublications/tabid/665/Default.aspx>.

UNEP, 2002b. *Report of the Technology and Economic Assessment Panel [of the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer], Volume 3B: Report of the Task Force on Collection, Recovery and Storage*. Available at: http://ozone.unep.org/Assessment_Panels/TEAP/Reports/Other_Task_Force/TEAP02V3b.pdf.

UNEP, 2004a. *Review of the Emerging, Innovative Technologies for the Destruction and Decontamination of POPs and the Identification of Promising Technologies for Use in Developing Countries*. Available at: archive.basel.int/techmatters/review_pop_feb04.pdf.

UNEP, 2004b. *POPs Technology Specification Data Sheet: Hazardous Waste Incineration*. Available at: http://www.ihpa.info/docs/library/reports/Pops/June2009/DEFSBCLoGo_Inciner_180608_.pdf.

UNEP, 2004c. *Inventory of Worldwide PCB Destruction Capacity*. Second issue. Available from: http://www.unep.org/publications/contents/pub_details_search.asp?ID=2477.

UNEP, 2005. *UNEP/GEF project on existing capacity and capacity building needs for analyzing POPs in developing countries*. Available from: www.chem.unep.ch/pops/laboratory/default.htm.

UNEP, 2006a. *Technical guidelines for the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with 1,1,1-trichloro-2,2-bis(4-chlorophenyl)ethane (DDT)*. Available at: <http://www.basel.int/Implementation/Publications/TechnicalGuidelines/tabid/2362/Default.aspx>

UNEP, 2006b. *Draft Guidance for Analysis of Persistent Organic Pollutants (POPs)*. Available at: www.chem.unep.ch/pops/laboratory/default.htm.

UNEP, 2006c. *Expert Group on Best Available Techniques and Best Environmental Practices*. Second meeting. Report of the second meeting of the Expert Group on Best Available Techniques and Best Environmental Practices. Available at: <http://www.pops.int/documents/meetings/>

UNEP, 2007. *Guidelines on best available techniques and provisional guidance on best environmental practices relevant to Article 5 and Annex C of the Stockholm Convention on [POPs]*. Available at: <http://chm.pops.int/Implementation/BATandBEP/Guidance/tabid/3636/Default.aspx>.

UNEP, 2011. *Technical guidelines on the environmentally sound co-processing of hazardous wastes in cement kilns*. UNEP/CHW.10/6/Add.3/Rev.1. Available at: <http://www.basel.int/Implementation/Publications/TechnicalGuidelines/tabid/2362/Default.aspx>

UNEP, 2014. *Guidance for Developing a National Implementation Plan for the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants* (updated in 2014 to include the POPs listed in 2009 and 2011). Available at: <http://chm.pops.int/Implementation/NIPs/Guidance/GuidanceforDevelopingNIP/tabid/3166/Default.aspx>.

UNEP, UNIDO et al., 2012. *Labelling of products or articles that contain POPs – Initial Considerations*. Available at: https://www.unido.org/fileadmin/user_media/Services/Environmental_Management/Stockholm_Convention/Guidance_Docs/UNEP-POPS-GUID-NIP-2012-LabellingConsiderations.En.pdf.

UNEP, 2013a. *Framework for the environmentally sound management of hazardous wastes and other wastes*. UNEP/CHW.11/3/Add.1/Rev.1. Available at: <http://www.basel.int/Implementation/CountryLedInitiative/EnvironmentallySoundManagement/ESMFframework/tabid/3616/Default.aspx>

UNEP, 2013b. *Toolkit for Identification and Quantification of Releases of Dioxins, Furans and Other Unintentional POPs under Article 5 of the Stockholm Convention*. Available at: <http://chm.pops.int/Implementation/UnintentionalPOPs/ToolkitforUnintentionalPOPs/Overview/tabid/372/Default.aspx>.

UNEP, 2015a. *Guidance for a Global Monitoring Programme for Persistent Organic Pollutants*, UNEP Chemicals. Available at: www.chem.unep.ch/gmn/GuidanceGPM.pdf.

UNEP, 2015b. *Technical guidelines on the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with hexabromodiphenyl ether and heptabromodiphenyl ether, or tetrabromodiphenyl ether and pentabromodiphenyl ether*.

UNEP, 2015c. *Technical guidelines on the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with hexabromocyclododecane.*

UNEP, 2015d. *Technical guidelines on the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with perfluorooctane sulfonic acid, its salts and perfluorooctane sulfonyl fluoride.*

UNEP, 2015h. *Manual for the Implementation of the Basel Convention.* Available from: www.basel.int.

UNEP, 2015i. *Basel Convention: Guide to the Control System.* Available from: www.basel.int.

UNEP, 2015j. *Methodological guide for the development of inventories of hazardous wastes and other wastes under the Basel Convention.* Available from: www.basel.int.

UNEP, 2017a. *Technical guidelines on the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with polychlorinated biphenyls, polychlorinated terphenyls, polychlorinated naphthalenes or polybrominated biphenyls including hexabromobiphenyl.*

UNEP, 2017b. *Technical guidelines on the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with the pesticides aldrin, alpha hexachlorocyclohexane, beta hexachlorocyclohexane, chlordane, chlordane, dieldrin, endrin, heptachlor, hexachlorobenzene, hexachlorobutadiene, lindane, mirex, pentachlorobenzene, pentachlorophenol and its salts, perfluorooctane sulfonic acid, technical endosulfan and its related isomers or toxaphene or with hexachlorobenzene as an industrial chemical.*

UNEP, 2017c. *Technical guidelines on the environmentally sound management of wastes containing or contaminated with unintentionally produced polychlorinated dibenzo-p-dioxins, polychlorinated dibenzofurans, hexachlorobenzene, polychlorinated biphenyls, pentachlorobenzene or polychlorinated naphthalenes.*

UNEP, 2017d. *Technical guidelines on the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with hexachlorobutadiene.*

UNEP, 2017e. *Technical guidelines on the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with pentachlorophenol and its salts and esters.*

UNIDO, 2007. *Non-combustion Technologies for POPs Destruction: Review and Evaluation.* Available at: <https://institute.unido.org/wp-content/uploads/2014/11/23.-Non-combustion-Technologies-for-POPs-Destruction-Review-and-Evaluation.pdf>.

UNIDO, 2010. *Persistent organic pollutants: contaminated site investigation and management toolkit.* Available from: <http://www.unido.org/index.php?id=1001169>.

United States Army Corps of Engineers, 2003. *Safety and Health Aspects of HTRW Remediation Technologies: Engineer Manual.* Available at: http://140.194.76.129/publications/engine-manuals/EM_1110-1-4007_sec/EM_1110-1-4007.pdf

Juergen Vehlow, et al: "Recycling of bromine from plastics containing brominated flame retardants in state-of-the-art combustion facilities", Forschungszentrum Karlsruhe, Plastics Europe & EBFRIP, 2002. Available at: <http://www.cefic-efra.com/images/stories/IMG-BROCHURE-2.4/Tamara.pdf>

Vijgen, J., 2002. "NATO/CCMS Pilot Study: Evaluation of Demonstrated and Emerging Technologies for the Treatment of Contaminated Land and Groundwater." Available at: <https://www.clu-in.org/download/partner/2001annualreport.pdf>.

Weber, Roland, 2004. "Relevance of PCDD/PCDF Formation for the Evaluation of POPs Destruction Technologies – Necessity and Current Status", *Organohalogen Compounds*, vol. 66, pp. 1282–1288.

Weber, R., M. Schlumpf, T. Nakano and J. Vijgen (2015). "The need for better management and control of POPs stockpiles." *Environmental Science and Pollution Research* **22**(19): 14385-14390.

WHO, 1995. *Global Strategy on Occupational Health for All: The Way to Health at Work.* Available at: http://www.who.int/occupational_health/globstrategy/en/.

WHO International Programme on Chemical Safety, 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.* Available at: <http://www.pops.int/documents/background/assessreport/>.

WHO, 1999. *Teacher's guide on basic environmental health*. Available from:
http://www.who.int/occupational_health/publications/tgbeh/en/.

WHO, 2009. *Handbook: Good Laboratory Practice (GLP) – Quality practices for regulated non-clinical research and development*. Available at: <http://www.who.int/tdr/publications/documents/glp-handbook.pdf>.

Yamamoto, T., Noma, Y., and Sakai, S. (2016). “Thermal destruction of wastes containing polychlorinated naphthalenes in an industrial waste incinerator”. *Environmental Science and Pollution Research*, pp. 1-9.

Yan, D., Peng, Z., Karstensen, KH., Ding, Q., Wang, K., and Wang, Z. (2014). “Destruction of DDT wastes in two preheater/precalciner cement kilns in China”, *Science of the Total Environment*, vol. 476-477, pp. 250-257.
