

DIRECTRICES SOBRE MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES Y ORIENTACIÓN PROVISIONAL SOBRE MEJORES PRÁCTICAS AMBIENTALES

conforme al Artículo 5 y Anexo C del
Convenio de Estocolmo sobre
Contaminantes Orgánicos Persistentes

Introducción: Secciones I-IV



Esta publicación puede ser reproducida toda o parcialmente, sin autorización especial, para fines educativos no lucrativos, siempre que se acredite la fuente. La Secretaría del Convenio de Estocolmo agradecerán se les haga llegar un ejemplar de cualquier publicación que tenga como fuente esta publicación. No se autoriza el uso de esta publicación para reventa o cualquier otro fin comercial sin permiso previo por escrito del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

Publicado por la Secretaría del Convenio de Estocolmo sobre los contaminantes orgánicos persistentes en octubre de 2008.
Para mayor información sírvase escribir a:

Secretaría del Convenio de Estocolmo sobre los contaminantes orgánicos persistentes
Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
Maison internationale de l'environnement
11-13 chemin des Anémones
CH-1219, Châtelaine, Ginebra, Suiza
ssc@pops.int - www.pops.int

Esta publicación ha sido diseñada e impresa por: SRO-Kundig - Ginebra

**DIRECTRICES SOBRE MEJORES TÉCNICAS
DISPONIBLES Y ORIENTACIÓN PROVISIONAL
SOBRE MEJORES PRÁCTICAS AMBIENTALES**

**conforme al Artículo 5 y Anexo C del
Convenio de Estocolmo sobre
Contaminantes Orgánicos Persistentes**

MAYO DE 2007, GINEBRA, SUIZA

Índice

SECCIÓN I: INTRODUCCIÓN

- I.A OBJETIVO
- I.B ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO Y FORMA DE UTILIZAR LAS DIRECTRICES Y LA ORIENTACIÓN
- I.C SUSTANCIAS QUÍMICAS QUE FIGURAN EN EL ANEXO C: DEFINICIÓN, RIESGOS, TOXICIDAD
- I.D ARTÍCULO 5 Y ANEXO C DEL CONVENIO DE ESTOCOLMO
- I.E RELACIÓN CON EL CONVENIO DE BASILEA
- I.F RELACIÓN CON OTRAS PREOCUPACIONES AMBIENTALES

SECCIÓN II: CONSIDERACIÓN DE ALTERNATIVAS EN LA APLICACIÓN DE MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES

- II.A CONSIDERACIÓN DE ALTERNATIVAS EN EL CONVENIO DE ESTOCOLMO
- II.B EL CONVENIO DE ESTOCOLMO Y LAS NUEVAS FUENTES
- II.C UNA FORMA DE CONSIDERAR ALTERNATIVAS
- II.D OTRAS CONSIDERACIONES DEL CONVENIO DE ESTOCOLMO

SECCIÓN III: MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES Y MEJORES PRÁCTICAS AMBIENTALES: ORIENTACIÓN, PRINCIPIOS Y CONSIDERACIONES TRANSECTORIALES

- III.A ORIENTACIÓN
- III.B PRINCIPIOS Y PLANTEAMIENTOS GENERALES
- III.C CONSIDERACIONES TRANSECTORIALES:
 - (I) SUSTANCIAS QUÍMICAS QUE FIGURAN EN EL ANEXO C: MECANISMOS DE FORMACIÓN
 - (II) CONSIDERACIONES SOBRE LA GESTIÓN DE DESECHOS
 - (III) Co-BENEFICIOS DE LA APLICACIÓN DE MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES A LAS SUSTANCIAS DEL ANEXO C
 - (IV) GESTIÓN DE GASES DE COMBUSTIÓN Y OTROS RESIDUOS
 - (V) CAPACITACIÓN DE LOS RESPONSABLES DE LA TOMA DE DECISIONES Y EL PERSONAL TÉCNICO
 - (VI) PRUEBAS DE LABORATORIO, MONITOREO Y REGISTRO

SECCIÓN IV: RESÚMENES DE LAS CATEGORÍAS DE FUENTES QUE FIGURAN EN LAS SECCIONES V Y VI

RESÚMENES DE LA SECCIÓN V: CATEGORÍAS DE FUENTES INCLUIDAS EN LA PARTE II DEL ANEXO C

RESÚMENES DE LA SECCIÓN VI: CATEGORÍAS DE FUENTES INCLUIDAS EN LA PARTE III DEL ANEXO C

SECCIÓN V: ORIENTACIÓN/DIRECTRICES POR CATEGORÍAS DE FUENTES: CATEGORÍAS DE FUENTES DE LA PARTE II DEL ANEXO C

- V.A INCINERADORAS DE DESECHOS
 - (i) DESECHOS SÓLIDOS URBANOS, DESECHOS PELIGROSOS Y LODOS DE ALCANTARILLADO
 - (ii) DESECHOS MÉDICOS
- V.B HORNOS DE CEMENTO QUE INCINERAN DESECHOS PELIGROSOS
- V.C PRODUCCIÓN DE PASTA DE PAPEL UTILIZANDO CLORO ELEMENTAL O PRODUCTOS QUÍMICOS QUE PRODUCEN CLORO ELEMENTAL
- V.D PROCESOS TÉRMICOS EN LA INDUSTRIA METALÚRGICA
 - (i) PRODUCCIÓN SECUNDARIA DE COBRE
 - (ii) PLANTAS DE SINTERIZACIÓN EN LA INDUSTRIA DEL HIERRO Y EL ACERO
 - (iii) PRODUCCIÓN SECUNDARIA DE ALUMINIO
 - (iv) PRODUCCIÓN SECUNDARIA DE ZINC

SECCIÓN VI: ORIENTACIÓN/DIRECTRICES POR CATEGORÍAS DE FUENTES: CATEGORÍAS DE FUENTES DE LA PARTE III DEL ANEXO C

- VI.A QUEMA A CIELO ABIERTO DE DESECHOS, INCLUIDA LA QUEMA EN VERTEDEROS
- VI.B PROCESOS TÉRMICOS DE LA INDUSTRIA METALÚRGICA NO MENCIONADOS EN EL ANEXO C, PARTE II
 - (i) PRODUCCIÓN SECUNDARIA DE PLOMO
 - (ii) PRODUCCIÓN PRIMARIA DE ALUMINIO
 - (iii) PRODUCCIÓN DE MAGNESIO
 - (iv) PRODUCCIÓN SECUNDARIA DE ACERO
 - (v) FUNDICIÓN PRIMARIA DE METALES COMUNES

VI.C	FUENTES DE COMBUSTIÓN DOMÉSTICA
VI.D	COMBUSTIÓN DE COMBUSTIBLES FÓSILES EN CENTRALES TERMOELÉCTRICAS Y CALDERAS INDUSTRIALES
VI.E	INSTALACIONES DE COMBUSTIÓN DE MADERA U OTROS COMBUSTIBLES DE BIOMASA
VI.F	PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS DETERMINADOS QUE LIBERAN SUSTANCIAS QUÍMICAS QUE FIGURAN EN EL ANEXO C
VI.G	CREMATORIOS
VI.H	VEHÍCULOS DE MOTOR, EN PARTICULAR LOS QUE UTILIZAN GASOLINA CON PLOMO COMO COMBUSTIBLE
VI.I	DESTRUCCIÓN DE CARCASAS DE ANIMALES
VI.J	TEÑIDO (CON CLORANIL) Y TERMINADO (CON EXTRACCIÓN ALCALINA) DE TEXTILES Y CUEROS
VI.K	PLANTAS DE FRAGMENTACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE VEHÍCULOS FUERA DE USO
VI.L	RECUPERACIÓN DEL COBRE DE CABLES POR COMBUSTIÓN LENTA
VI.M	REFINERÍAS DE ACEITES DE DESECHO

Secciones I-IV

Índice

Sección I	Introducción	11
I.A	Objetivo.....	13
I.B	Estructura del documento y forma de utilizar las directrices y la orientación.....	14
I.C	Sustancias químicas que figuran en el Anexo C: Definición, riesgos, toxicidad.....	15
1.	¿Cuáles son las sustancias que figuran en el Anexo C?	15
1.1	Definición.....	15
1.2	Características	15
1.3	Usos	15
2.	¿Cuáles son los riesgos que implican para los seres humanos las sustancias del Anexo C?	16
2.1	Exposición.....	16
2.2	PCDD y PCDF	16
2.3	PCB.....	17
2.4	HCB	17
3.	¿Cómo se mide la toxicidad de las sustancias del Anexo C?	17
3.1	Equivalencia de toxicidad.....	17
3.2	Ingestas tolerables	18
	Referencias.....	20
I.D	Artículo 5 y Anexo C del Convenio de Estocolmo	21
I.E	Relación con el Convenio de Basilea	28
I.F	Relación con otras preocupaciones ambientales	29

Sección II	Consideración de alternativas en la aplicación de mejores técnicas disponibles.....	31
II.A	Consideración de alternativas en el Convenio de Estocolmo	33
II.B	El Convenio de Estocolmo y las nuevas fuentes.....	33
II.C	Una forma de considerar alternativas.....	34
1.	Examinar la propuesta de nueva instalación en el contexto del desarrollo sostenible.....	34
2.	Identificar alternativas posibles y accesibles.....	34
3.	Realizar una evaluación comparativa entre las alternativas propuestas e identificadas, y las posibles y accesibles.....	35
4.	Determinar la prioridad.....	35
II.D	Otras consideraciones del Convenio de Estocolmo	36
1.	Aspectos de salud, seguridad y medio ambiente	36
2.	Consideraciones sociales y económicas.....	36
3.	Consideraciones del Anexo C	37
Sección III	Mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales: Orientación, principios y consideraciones transectoriales.....	39
III.A	Orientación	41
III.B	Principios y planteamientos generales	43
III.C	Consideraciones transectoriales	45
	(i) Sustancias químicas que figuran en el Anexo C: Mecanismos de formación	45
	(ii) Consideraciones sobre la gestión de desechos	47
	(iii) Co-beneficios de la aplicación de mejores técnicas disponibles a las sustancias del Anexo C.....	60
	(iv) Gestión de gases de combustión y otros residuos.....	62
	(v) Capacitación de los responsables de la toma de decisiones y el personal técnico.....	79
	(vi) Pruebas de laboratorio, monitoreo y registro.....	80

Sección IV	Resúmenes de las categorías de fuentes que figuran en las secciones V y VI	89
Preámbulo		91
Resúmenes de la sección V: categorías de fuentes incluidas en la parte II del Anexo C		91
A.	Incineradoras de desechos	91
	(i) Desechos sólidos urbanos, desechos peligrosos y lodos de alcantarillado	91
	(ii) Desechos médicos	92
B.	Hornos de cemento que queman desechos peligrosos	93
C.	Producción de pasta de papel utilizando cloro elemental o productos químicos que producen cloro elemental	94
D.	Procesos térmicos de la industria metalúrgica	95
	(i) Producción secundaria de cobre	95
	(ii) Plantas de sinterización en la industria del hierro y el acero	95
	(iii) Producción secundaria de aluminio	96
	(iv) Producción secundaria de zinc	97
Resúmenes de la sección VI: categorías de fuentes incluidas en la parte III del Anexo C		97
A.	Quema a cielo abierto de desechos, incluida la quema en vertederos	97
B.	Procesos térmicos de la industria metalúrgica no mencionados en la Parte II del Anexo C	98
	(i) Producción secundaria de plomo	98
	(ii) Producción primaria de aluminio	98
	(iii) Producción de magnesio	99
	(iv) Producción secundaria de acero	99
	(v) Fundición primaria de metales comunes	100
C.	Fuentes de combustión domésticas	101
D.	Combustión de combustibles fósiles en centrales termoeléctricas y calderas industriales	102
E.	Instalaciones de combustión de madera u otros combustibles de biomasa	102
F.	Procesos de producción de productos químicos determinados que liberan sustancias químicas que figuran en el Anexo C	103

G.	Crematorios	104
H.	Vehículos de motor, en particular los que utilizan gasolina con plomo como combustible	104
I.	Destrucción de carcasas de animales	105
J.	Teñido (con cloranil) y terminado (con extracción alcalina) de textiles y cueros	105
K.	Plantas de fragmentación para el tratamiento de vehículos fuera de uso	106
L.	Recuperación del cobre de cables por combustión lenta	107
M.	Refinerías de aceites de desecho.....	107

Tablas

Sección I

Tabla 1.	Factores de equivalencia de toxicidad.....	19
----------	--	----

Sección III

Tabla 1.	Comparación de los sistemas de control de PCDD/PCDF	64
Tabla 2.	Características de los materiales de los filtros de tela	68
Tabla 3.	Comparación de sistemas de eliminación de polvo.....	69
Tabla 4.	Métodos de muestreo y análisis de PCDD/PCDF y PCB en gases de chimenea.....	81
Tabla 5.	Conversiones de condiciones de referencia	83
Tabla 6.	Métodos de bioensayo para mediciones de residuos y gases de escape en pequeñas incineradoras de desechos.....	84

Anexos

Sección III

Anexo 1.	Tratamiento de desechos en cuarentena	58
Anexo 2.	Un ejemplo de gestión de desechos médicos	59

Cuadros

Sección I

Cuadro 1.	Artículo 5 del Convenio de Estocolmo	21
Cuadro 2.	Anexo C del Convenio de Estocolmo	23

Ilustraciones

Sección III

Figura 1.	Jerarquía de la gestión de desechos	49
Figura 2.	Principio del precipitador electrostático	66
Figura 3.	Precipitador electrostático por condensación	67
Figura 4.	Esquema de un filtro de tela	67
Figura 5.	Adsorción/depuración con secado por atomización	70
Figura 6.	Reactor de reducción catalítica selectiva de alta temperatura para eliminar simultáneamente NO_x y PCDD/PCDF	74

Sección I

Introducción

En virtud del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes, las Partes, en algunos casos, promoverán, y en otros, requerirán el empleo de mejores técnicas disponibles, y promoverán la aplicación de mejores prácticas ambientales. En resumen, cada Parte:

- Elaborará, en un plazo de dos años a partir de la entrada en vigor del Convenio para dicha Parte, un plan de acción (nacional o regional) para identificar, caracterizar y combatir las liberaciones de las sustancias incluidas en el Anexo C; dicho plan deberá comprender inventarios de fuentes y tener en cuenta las categorías de fuentes que figuran en las partes II y III del Anexo C (inciso a) del artículo 5).

- En el caso de **nuevas fuentes**:

Promoverá y, de conformidad con el calendario de aplicación de su plan de acción, requerirá el empleo de las mejores técnicas disponibles dentro de las categorías de fuentes identificadas y con arreglo a tal acción, centrándose especialmente en un principio en las categorías de fuentes incluidas en la parte II del Anexo C; el requisito de utilización de las mejores técnicas disponibles con respecto a las categorías de fuentes incluidas en la parte II se adoptará gradualmente lo antes posible y a más tardar cuatro años después de la entrada en vigor del Convenio para esa Parte (inciso d) del artículo 5).

En el caso de las categorías antes identificadas, promoverá la utilización de las mejores prácticas ambientales (inciso d) del artículo 5).

Promoverá, de conformidad con su plan de acción, el empleo de las mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales dentro de las categorías de fuentes como las que figuran en la parte III del Anexo C y a las que una Parte no se haya referido en el marco de lo anterior (inciso e) ii) del artículo 5).

- En el caso de **fuentes existentes**:

Promoverá, de conformidad con su plan de acción, el empleo de las mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales para las categorías de fuentes incluidas en la parte II del Anexo C y para las categorías de fuentes como las que figuran en la parte III del mismo anexo (inciso e) i) del artículo 5).

Al emplear mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales para las categorías de fuentes antes mencionadas, las Partes tendrán en cuenta la orientación general sobre medidas de prevención y reducción de liberaciones que figuran en el Anexo C, y las directrices sobre mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales que se adopten por decisión de la Conferencia de las Partes (ver incisos d) y e) del artículo 5).

En su primera reunión, celebrada en Punta del Este, Uruguay, del 2 al 6 de mayo de 2005, la Conferencia de las Partes del Convenio de Estocolmo estableció, por su decisión SC-1/19, un Grupo de expertos sobre las mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales cuyo mandato es concluir el trabajo futuro de mejorar y reforzar, cuando sea necesario, “el proyecto de directrices generales sobre mejores técnicas disponibles y la orientación general sobre mejores prácticas ambientales a las que se hace referencia en el artículo 5 y el Anexo C del Convenio”¹, y que figuran en el documento UNEP/POPS/COP.1/INF/7.

En su tercera reunión, celebrada en Dakar, Senegal, del 30 de abril al 4 de mayo de 2007, la Conferencia de las Partes en el Convenio de Estocolmo, por su decisión SC-3/5, adoptó el presente proyecto revisado de directrices sobre mejores técnicas disponibles y orientación provisional sobre mejores prácticas ambientales, e invitó a las Partes y otras entidades a transmitir a la secretaría sus observaciones sobre la experiencia en la aplicación del proyecto revisado de directrices.

De conformidad con los incisos d) y e) del artículo 5 del Convenio, al aplicar las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales se tomarán en cuenta las directrices y la orientación general, una vez adoptadas por la Conferencia de las Partes. También podrán utilizarse para asistir en la toma de decisiones nacionales sobre aplicación de planes de acción y otras medidas relacionadas con las obligaciones estipuladas en el artículo 5 y el Anexo C.

I.B estructura del documento y forma de utilizar las directrices y la orientación

La **sección I** de las presentes directrices constituye la introducción y presenta el objetivo y estructura del mismo, una breve descripción de las características y riesgos de las sustancias químicas incluidas en el Anexo C del Convenio de Estocolmo, las disposiciones del Convenio de Estocolmo relacionadas directamente con el tema, artículo 5 y Anexo C, un resumen de las medidas necesarias en virtud de tales disposiciones, así como una explicación de la relación entre estas disposiciones y el Convenio de Basilea sobre el control de movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su eliminación.

La **sección II** proporciona orientación para la consideración de alternativas y comporta una lista de verificación que puede utilizarse al aplicar mejores técnicas disponibles a nuevas fuentes. Contiene también información sobre otras consideraciones del Convenio de Estocolmo.

La **sección III** contiene una orientación general, principios aplicables y descripciones de consideraciones comunes a diversas categorías de fuentes.

La **sección IV** contiene la serie de resúmenes de todas las categorías de fuentes que figuran en las secciones V y VI.

Las **secciones V y VI** presentan directrices específicas para cada una de las categorías de fuentes que figuran en las partes II y III del Anexo C del Convenio de Estocolmo. Para cada una de estas directrices, se proporciona la siguiente información:

- Descripción de los procesos
- Fuentes de las sustancias incluidas en el Anexo C
- Medidas primarias y secundarias
- Niveles de desempeño
- Informe de desempeño
- Estudios de caso

Para cada una de las directrices se proporcionan referencias e información bibliográfica.

I.c Sustancias químicas que figuran en el Anexo c: definición, riesgos, toxicidad

1. ¿Cuáles son las sustancias que figuran en el Anexo C?

1.1 Definición

Las sustancias incluidas en el Anexo C del Convenio de Estocolmo son: dibenzoparadióxinas (PCDD), dibenzofuranos policlorados (PCDF), bifenilos policlorados (PCB) y hexaclorobenceno (HCB).

1.2 Características

Además de que está documentada su toxicidad, las sustancias incluidas en el Anexo C se bioacumulan y se transportan a grandes distancias. Las sustancias persistentes no se degradan con facilidad en el medio ambiente. Los productos bioacumulables suelen ser solubles en grasas y se acumulan en los niveles tróficos superiores, en particular en los seres humanos. Por ser compuestos semivolátiles, las sustancias del Anexo C experimentan evaporaciones y condensaciones en el medio ambiente, lo que las hace móviles.

1.3 Usos

Las PCDD y los PCDF nunca se han utilizado como productos comerciales ni han sido fabricados de manera intencional sino para ser usados en laboratorios.

Por su resistencia a la combustión y características aislantes, los PCB se han utilizado como refrigerantes y lubricantes en transformadores, condensadores y otros equipos eléctricos. Entre los productos que pueden contener PCB se encuentran los antiguos aparatos de iluminación incandescentes y los artefactos eléctricos que tienen condensadores de PCB.

El HCB ha tenido un uso generalizado como plaguicida, para proteger de hongos las semillas de cebolla, sorgo, trigo y otros granos. También se ha utilizado para fabricar fuegos artificiales, municiones y caucho sintético. Se utiliza asimismo como solvente en la producción de plaguicidas.

Sin embargo, las directrices y orientación general que se presentan a continuación no se aplican a la producción comercial de PCB y HCB, sino a los procesos que ocasionan su formación y liberación accidentales.

2. ¿Cuáles son los riesgos que implican para los seres humanos las sustancias del Anexo C?

2.1 Exposición

Puesto que las sustancias del Anexo C están presentes en el medio ambiente, prácticamente todos los seres vivos, incluidos los seres humanos, han estado expuestos a ellos. La exposición se da principalmente por los alimentos grasos, incluso la leche materna, pero también por circunstancias accidentales o laborales. Los efectos en la salud que se han asociado a estas exposiciones dependen de diversos factores, en particular del grado, duración y frecuencia de la exposición.

2.2 PCDD y PCDF

Gran parte de la información sobre la toxicidad de estas sustancias se basa en importantes estudios del miembro más tóxico de la familia, la 2,3,7,8-tetraclorodibenzoparadioxina (TCDD), realizados en animales de laboratorio. La TCDD y sus compuestos asociados pueden provocar una gran variedad de efectos en animales y muchos de estos efectos también en seres humanos.

Basándose principalmente en estudios sobre casos de exposición accidental u ocupacional grave, el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (IARC) de la Organización Mundial de la Salud (OMS) determinó que la 2,3,7,8-TCDD es la más tóxica de todos los compuestos de dioxinas, y que es carcinógeno en seres humanos. Los estudios en animales también han demostrado un riesgo mayor de cáncer asociado a la exposición prolongada a PCDD/PCDF.

La exposición a la TCDD ocasiona muy diversos efectos en la reproducción y el desarrollo de algunas especies de animales de laboratorio, por ejemplo viabilidad disminuida, alteraciones estructurales, retraso en el crecimiento y alteraciones funcionales. También hay evidencias de efectos neuroconductuales y efectos sobre el sistema inmune y diversas funciones endocrinas, como las de la tiroides. Ante tales evidencias de efectos en animales, sobre todo con dosis elevadas pero, a veces, con dosis cercanas a las pertinentes para seres humanos, a los científicos les preocupa que se puedan producir los mismos efectos en seres humanos, especialmente niños en desarrollo, por exposición prenatal.

2.3 PCB

Los efectos más frecuentes en la salud de personas que han estado expuestas a grandes cantidades de PCB se reflejan en enfermedades de la piel. Los estudios realizados a trabajadores expuestos arrojan alteraciones en sangre y orina, que pueden ser indicios de trastornos hepáticos. En los incidentes *yusho* y *yucheng*, cerca de dos mil personas, repectivamente, de Japón y Taiwán, estuvieron expuestas a altas concentraciones de PCB y PCDF por consumo de aceite de arroz contaminado. En ambas cohortes se presentó enfermedad hepática fatal (entre otros indicadores) con una frecuencia dos o tres veces mayor que la de los índices nacionales (IARC). Las exposiciones a PCB en la población general no producen efectos dermatológicos o hepáticos. La mayoría de los estudios relativos a los efectos de PCB en la salud de la población general se realizaron en niños cuyas madres habían estado expuestas.

El IARC ha determinado que los PCB son probablemente carcinógenos para seres humanos. En algunos estudios en trabajadores se indica una relación entre los PCB y ciertos tipos de cáncer en humanos, por ejemplo cáncer de hígado y vías biliares. Las ratas que consumieron alimentos con niveles elevados de PCB durante dos años desarrollaron cáncer de hígado.

Los PCB pueden estar asociados a efectos en el desarrollo o endocrinos. Los neonatos de madres que estuvieron expuestas a niveles relativamente altos de PCB en el lugar de trabajo o que consumieron grandes cantidades de pescado contaminado con PCB presentaron un peso ligeramente inferior a los de madres no expuestas. En los neonatos de madres que consumieron pescado contaminado con PCB se observaron además respuestas anormales en pruebas de conducta infantil. Algunas de estas conductas, como problemas de habilidades motoras y disminución de la memoria a corto plazo, duraron varios años.

2.4 HCB

El Departamento de salud y servicios humanos de Estados Unidos (*United States Department of Health and Human Services*) ha determinado que existen razones para suponer que el HCB es carcinógeno. Los estudios en animales muestran que la ingesta a largo plazo de grandes cantidades de HCB puede perjudicar el hígado, tiroides, sistema nervioso, huesos, riñones, sangre y los sistemas inmune y endocrino.

3. ¿Cómo se mide la toxicidad de las sustancias del Anexo C?

3.1 Equivalencia de toxicidad

En el caso de PCDD/PCDF, los compuestos más tóxicos tienen cloros en las posiciones 2, 3, 7 y 8. En el caso de PCB, la toxicidad más alta se observa en compuestos en los que la molécula puede adoptar una conformación planar, análoga a la de los PCDD/PCDF. La toxicidad de mezclas de estos materiales se evalúa en una misma cifra única llamada equivalente tóxico (EQT).

Para determinar el EQT de una mezcla se multiplica la cantidad de cada uno de los miembros tóxicos de la familia por un coeficiente de ponderación del compuesto más tóxico, 2,3,7,8-TCDD. Este factor de ponderación se denomina factor de equivalencia de toxicidad (FET). El primer programa, elaborado por el Comité sobre los Retos de la Sociedad Moderna de la Organización del Tratado del Atlántico Norte en 1988 y denominado I-FET, abarcaba 17 PCDD/PCDF. Veintinueve de los 419 PCDD, PCDF y PCB por separado tenían FET asignados por la OMS en 1997 y revisados en 2005 (Tabla 1). El HCB no tiene EQT.

3.2 Ingestas tolerables

La ingesta diaria tolerable (IDT) es la cantidad diaria ingerida por kg de peso corporal de una sustancia química que no se considera nociva para la salud si es ingerida todos los días durante toda la vida. La IDT para las sustancias químicas que contribuyen al FET fue definida por la OMS en 1998 en 1-4 pg/kg de peso corporal/día.² En 2001, el Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios estableció una ingesta mensual tolerable provisional (IMTP) de 70 pg/kg de peso corporal/mes, que equivale aproximadamente a 2.3 pg/kg de peso corporal/día.

■ Tabla 1. Factores de equivalencia de toxicidad

Congénere	OMS/1997 FET en mamíferos	FET-I	OMS/2005 FET en mamíferos
PCDD			
2,3,7,8-TCDD	1	1	1
1,2,3,7,8-PeCDD	1	0.5	1
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.1	0.1	0.1
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.1	0.1	0.1
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.1	0.1	0.1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.01	0.01	0.01
1,2,3,4,6,7,8,9-OCDD	0.0001	0.001	0.0003
PCDF			
2,3,7,8-TCDF	0.1	0.1	0.1
1,2,3,7,8-PeCDF	0.05	0.05	0.03
2,3,4,7,8-PeCDF	0.5	0.5	0.3
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.1	0.1	0.1
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.1	0.1	0.1
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.1	0.1	0.1
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.1	0.1	0.1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.01	0.01	0.01
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.01	0.01	0.01
1,2,3,4,6,7,8,9-OCDF	0.0001	0.001	0.0003
PCB			
No. IUPAC Estructura			
<i>no-orto</i> sustituidos			
77 3,3',4,4'-TCB	0.0001	n.d.	0.0001
81 3,4,4',5-TCB	0.0001		0.0003
126 3,3',4,4',5-PeCB	0.1		0.1
169 3,3',4,4',5,5'-HxCB	0.01		0.03
<i>mono-orto</i> sustituidos			
105 2,3,3',4,4'-PeCB	0.0001		0.00003
114 2,3,4,4',5-PeCB	0.0005		0.00003
118 2,3',4,4',5-PeCB	0.0001		0.00003
123 2',3,4,4',5-PeCB	0.0001		0.00003
156 2,3,3',4,4',5-HxCB	0.0005		0.00003
157 2,3,3',4,4',5'-HxCB	0.0005		0.00003
167 2,3',4,4',5,5'-HxCB	0.00001		0.00003
189 2,3,3',4,4',5,5'-HpCB	0.0001		0.00003

n.d.: No disponible

Referencias

Documentos

Government of Japan. 2003. *Dioxins*. Information pamphlet. Government of Japan, Ministry of the Environment, Environmental Management Bureau, Office of Dioxins Control.

Sitios en Internet

International Agency for Research on Cancer (IARC) Monographs. <http://monographs.iarc.fr>.

Joint Food and Agriculture Organization of the United Nations / World Health Organization (FAO/WHO) Expert Committee on Food Additives (JECFA), fifty-seventh meeting, Rome, 5-14 June 2001. *Summary And Conclusions*.

<http://www.fda.gov/ohrms/dockets/dockets/95s0316/95s-0316-rpt0254-05-vol186.pdf>.

United States Center for Disease Control. *TOXFAQs for Hexachlorobenzene*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. www.atsdr.cdc.gov/tfacts90.html.

United States Center for Disease Control. *TOXFAQs for Polychlorinated Biphenyls*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. www.atsdr.cdc.gov/tfacts17.html.

WHO (World Health Organization). *Dioxins and Their Effect on Human Health*. WHO, Geneva. www.who.int/mediacentre/factsheets/fs225/en/.

WHO (World Health Organization). 2005. Project for the re-evaluation of human and mammalian toxic equivalency factors (TEFs) of dioxins and dioxin-like compounds, http://www.who.int/ipcs/assessment/tef_update/en/

■ Cuadro 1. Artículo 5 del Convenio de Estocolmo**ARTICULO 5****Medidas para reducir o eliminar las liberaciones derivadas
de la producción no intencional**

Cada parte adoptará como mínimo las siguientes medidas para reducir las liberaciones totales derivadas de fuentes antropógenas de cada uno de las sustancias incluidas en el Anexo C, con la meta de seguir reduciéndolas al mínimo y, en los casos en que sea viable, eliminarlas definitivamente:

- (a) Elaborará en un plazo de dos años a partir de la entrada en vigor del presente Convenio para dicha Parte, y aplicará ulteriormente, un plan de acción o, cuando proceda, un plan de acción regional o subregional como parte del plan de aplicación especificado en el artículo 7, destinado a identificar, caracterizar y combatir las liberaciones de las sustancias incluidas en el anexo C y a facilitar la aplicación de los apartados b) a e). En el plan de acción se incluirán los elementos siguientes:
 - (i) Una evaluación de las liberaciones actuales y proyectadas, incluida la preparación y el mantenimiento de inventarios de fuentes y estimaciones de liberaciones, tomando en consideración las categorías de fuentes que se indican en el anexo C;
 - (ii) Una evaluación de la eficacia de las leyes y políticas de la Parte relativas al manejo de esas liberaciones;
 - (iii) Estrategias para cumplir las obligaciones estipuladas en el presente párrafo, teniendo en cuenta las evaluaciones mencionadas en los incisos i) y ii);
 - (iv) Medidas para promover la educación, la capacitación y la sensibilización sobre esas estrategias;
 - (v) Un examen quinquenal de las estrategias y su éxito en cuanto al cumplimiento de las obligaciones estipuladas en el presente párrafo; esos exámenes se incluirán en los informes que se presenten de conformidad con el artículo 15; y
 - (vi) Un calendario para la aplicación del plan de acción, incluidas las estrategias y las medidas que se señalan en ese plan;
- (b) Promover 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;

- (c) Promover el desarrollo y, cuando se considere oportuno, exigir la utilización de materiales, productos y procesos sustitutivos o modificados para evitar la formación y liberación de productos químicos incluidos en el anexo C, teniendo en cuenta las orientaciones generales sobre medidas de prevención y reducción de las liberaciones que figuran en el anexo C y las directrices que se adopten por decisión de la Conferencia de las Partes;
- (d) Promover y, de conformidad con el calendario de aplicación de su plan de acción, requerir el empleo de las mejores técnicas disponibles con respecto a las nuevas fuentes dentro de las categorías de fuentes que según haya determinado una Parte justifiquen dichas medidas con arreglo a su plan de acción, centrándose especialmente en un principio en las categorías de fuentes incluidas en la parte II del anexo C. En cualquier caso, el requisito de utilización de las mejores técnicas disponibles con respecto a las nuevas fuentes de las categorías incluidas en la lista de la parte II de ese anexo se adoptarán gradualmente lo antes posible, pero a más tardar cuatro años después de la entrada en vigor del Convenio para esa Parte. Con respecto a las categorías identificadas, las Partes promoverán la utilización de las mejores prácticas ambientales. Al aplicar las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales, las Partes deberán tener en cuenta las directrices generales sobre medidas de prevención y reducción de las liberaciones que figuran en dicho anexo y las directrices sobre mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales que se adopten por decisión de la Conferencia de las Partes;
- (e) Promover, de conformidad con su plan de acción, el empleo de las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales:
 - (i) Con respecto a las fuentes existentes dentro de las categorías de fuentes incluidas en la parte II del anexo C y dentro de las categorías de fuentes como las que figuran en la parte III de dicho anexo; y
 - (ii) Con respecto a las nuevas fuentes, dentro de categorías de fuentes como las incluidas en la parte III del anexo C a las que una Parte no se haya referido en el marco del apartado d).

Al aplicar las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales, las Partes tendrán en cuenta las directrices generales sobre medidas de prevención y reducción de las liberaciones que figuran en el anexo C y las directrices sobre mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales que se adopten por decisión de la Conferencia de las Partes;

- (f) A los fines del presente párrafo y del anexo C:
 - (i) Por “mejores técnicas disponibles” se entiende la etapa más eficaz y avanzada en el desarrollo de actividades y sus métodos de operación que indican la idoneidad práctica de técnicas específicas para proporcionar en principio la base de la limitación de las liberaciones destinada a evitar y, cuando no sea viable, reducir en general las liberaciones de las sustancias incluidas en la parte I del anexo C y sus efectos en el medio ambiente en su conjunto. A este respecto:

- (ii) “Técnicas” incluye tanto la tecnología utilizada como el modo en que la instalación es diseñada, construida, mantenida, operada y desmantelada;
- (iii) “Disponibles” son aquellas técnicas que resultan accesibles al operador y que se han desarrollado a una escala que permite su aplicación en el sector industrial pertinente en condiciones económica y técnicamente viables, teniendo en consideración los costos y las ventajas; y
- (iv) Por “mejores” se entiende más eficaces para lograr un alto grado general de protección del medio ambiente en su conjunto;
- (v) Por “mejores prácticas ambientales” se entiende la aplicación de la combinación más adecuada de medidas y estrategias de control ambiental;
- (vi) Por “nueva fuente” se entiende cualquier fuente cuya construcción o modificación sustancial se haya comenzado por lo menos un año después de la fecha de:
 - a. Entrada en vigor del presente Convenio para la Parte interesada; o
 - b. Entrada en vigor para la Parte interesada de una enmienda del anexo C en virtud de lo cual la fuente queda sometida a las disposiciones del presente Convenio exclusivamente en virtud de esa enmienda.
- (g) Una Parte podrá utilizar valores de límite de liberación o pautas de comportamiento para cumplir sus compromisos de aplicar las mejores técnicas disponibles con arreglo al presente párrafo.

■ Cuadro 2. Anexo C del Convenio de Estocolmo

Anexo C

PRODUCCIÓN NO INTENCIONAL

Parte I: Contaminantes orgánicos persistentes sujetos a los requisitos del artículo 5

El presente anexo se aplica a los siguientes contaminantes orgánicos persistentes, cuando se forman y se liberan de forma no intencional a partir de fuentes antropógenas:

Sustancia química

Dibenzoparadioxinas y dibenzofuranos policlorados (PCDD/PCDF)
 Hexaclorobenceno (HCB) (No. CAS: 118-74-1)
 Bifenilos policlorados (PCB)

II: Categorías de fuentes

Las dibenzoparadioxinas y los dibenzofuranos policlorados, el hexaclorobenceno, y los bifenilos policlorados se forman y se liberan de forma no intencionada a partir de procesos térmicos, que comprenden materia orgánica y cloro, como resultado de una

combustión incompleta o de reacciones químicas. Las siguientes categorías de fuentes industriales tienen un potencial de formación y liberación relativamente elevadas de estos productos químicos al medio ambiente:

- (a) Incineradoras de desechos, incluidas las coincineradoras de desechos urbanos peligrosos o médicos o de fango cloacal;
- (b) Desechos peligrosos procedentes de la combustión en hornos de cemento;
- (c) Producción de pasta de papel utilizando cloro elemental o productos químicos que producen cloro elemental para el blanqueo;
- (d) Los siguientes procesos térmicos de la industria metalúrgica:
 - (i) Producción secundaria de cobre;
 - (ii) Plantas de sinterización en la industria del hierro e industria siderúrgica;
 - (iii) Producción secundaria de aluminio;
 - (iv) Producción secundaria de zinc.

Parte III: Categorías de fuentes

Pueden también producirse y liberarse en forma no intencionada dibenzoparadioxinas y dibenzofuranos policlorados, hexaclorobenceno, bifenilos policlorados a partir de las siguientes categorías de fuentes, en particular:

- (a) Quema a cielo abierto de desechos, incluida la quema en vertederos;
- (b) Procesos térmicos de la industria metalúrgica no mencionados en la parte II;
- (c) Fuentes de combustión domésticas;
- (d) Combustión de combustibles fósiles en centrales termoeléctricas o calderas industriales;
- (e) Instalaciones de combustión de madera u otros combustibles de biomasa;
- (f) Procesos de producción de productos químicos determinados que liberan de forma no intencional contaminantes orgánicos persistentes formados, especialmente la producción de clorofenoles y cloranil;
- (g) Crematorios;
- (h) Vehículos de motor, en particular los que utilizan gasolina con plomo como combustible;
- (i) Destrucción de carcasas de animales;
- (j) Teñido (con cloranil) y terminación (con extracción alcalina) de textiles y cueros;
- (k) Plantas de desguace para el tratamiento de vehículos una vez acabada su vida útil*;
- (l) Combustión lenta de cables de cobre**;

- (m) Desechos de refinerías de petróleo***.

IV: Definiciones

1. A efectos del presente anexo:

- (a) Por “bifenilos policlorados” se entienden compuestos aromáticos formados de tal manera que los átomos de hidrógeno en la molécula bifenilo (2 anillos bencénicos unidos entre sí por un enlace único carbono-carbono) pueden ser sustituidos por hasta diez átomos de cloro; y
- (b) Las “dibenzoparadioxinas policloradas” y los “dibenzofuranos policlorados” son compuestos tricíclicos aromáticos constituidos por dos anillos bencénicos unidos entre sí, en el caso de las dibenzoparadioxinas policloradas por dos átomos de oxígeno, y en el caso de los dibenzofuranos policlorados por un átomo de oxígeno y un enlace carbono-carbono y cuyos átomos de hidrógeno pueden ser sustituidos hasta por ocho átomos de cloro.

2. En el presente anexo la toxicidad de los dibenzoparadioxinas y dibenzofuranos policlorados se expresa utilizando el concepto de equivalencia tóxica, que mide la actividad tóxica relativa tipo dioxina de distintos congéneres de las dibenzoparadioxinas y los dibenzofuranos policlorados, bifenilos policlorados coplanares en comparación con la 2,3,7,8-tetraclorodibenzoparadioxina. Los valores del factor tóxico equivalente que se utilizarán a efectos del presente Convenio serán coherentes con las normas internacionales aceptadas, en primer lugar con los valores del factor de equivalentes tóxicos para mamíferos de la Organización Mundial de la Salud 1998 con respecto a las dibenzoparadioxinas y dibenzofuranos policlorados y bifenilos policlorados coplanares. Las concentraciones se expresan en equivalentes tóxicos.

Parte V: Orientaciones generales sobre las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales

En esta Parte se transmiten a las Partes orientaciones generales sobre la prevención o reducción de las liberaciones de las sustancias incluidas en la parte I.

A. Medidas generales de prevención relativas a las mejores técnicas disponibles y a las mejores prácticas ambientales

Debe asignarse prioridad al estudio de criterios para evitar la formación y la liberación de las sustancias incluidas en la parte I. Entre las medidas útiles podrían incluirse:

- (a) Utilización de una tecnología que genere pocos desechos;
- (b) Utilización de sustancias menos peligrosas;
- (c) Fomento de la regeneración y el reciclado de los desechos y las sustancias generadas y utilizadas en los procesos;

- (d) Sustitución de materias primas que sean contaminantes orgánicos persistentes o en el caso de que exista un vínculo directo entre los materiales y las liberaciones de contaminantes orgánicos persistentes de la fuente;
- (e) Programas de buen funcionamiento y mantenimiento preventivo;
- (f) Mejoramiento de la gestión de desechos con miras a poner fin a la incineración de desechos a cielo abierto y otras formas incontroladas de incineración, incluida la incineración de vertederos. Al examinar las propuestas para construir nuevas instalaciones de eliminación de desechos, deben considerarse alternativas como, por ejemplo, las actividades para reducir al mínimo la generación de desechos urbanos y médicos, incluidos la regeneración de recursos, la reutilización, el reciclado, la separación de desechos y la promoción de productos que generan menos desechos. Dentro de este criterio deben considerarse cuidadosamente los problemas de salud pública;
- (g) Reducción al mínimo de esos productos químicos como contaminantes en otros productos;
- (h) Evitación del cloro elemental o productos químicos que generan cloro elemental para blanquear.

B. Mejores técnicas disponibles

El concepto de mejores técnicas disponibles no está dirigido a la prescripción de una técnica o tecnología específica, sino a tener en cuenta las características técnicas de la instalación de que se trate, su ubicación geográfica y las condiciones ambientales locales. Las técnicas de control apropiadas para reducir las liberaciones de las sustancias incluidas en la parte I son en general las mismas. Al determinar las mejores técnicas disponibles se debe prestar atención especial, en general o en casos concretos, a los factores que figuran a continuación, teniendo en cuenta los costos y beneficios probables de una medida y las consideraciones de precaución y prevención:

- (a) Consideraciones generales:
 - Naturaleza, efectos y masa de las emisiones de que se trate: las técnicas pueden variar dependiendo del tamaño de la fuente;
 - (ii) Fechas de puesta en servicio de las instalaciones nuevas o existentes;
 - (iii) Tiempo necesario para incorporar la mejor técnica disponible;
 - (iv) Consumo y naturaleza de las materias primas utilizadas en el proceso y su eficiencia energética;
 - (v) Necesidad de evitar o reducir al mínimo el impacto general de las liberaciones en el medio ambiente y los peligros que representan para éste;
 - (vi) Necesidad de evitar accidentes y reducir al mínimo sus consecuencias para el medio ambiente;

- (vii) Necesidad de salvaguardar la salud ocupacional y la seguridad en los lugares de trabajo;
 - (viii) Procesos, instalaciones o métodos de funcionamiento comparables que se han ensayado con resultados satisfactorios a escala industrial;
 - (ix) Avances tecnológicos y cambio de los conocimientos y la comprensión en el ámbito científico.
- (b) Medidas de reducción de las liberaciones de carácter general: Al examinar las propuestas de construcción de nuevas instalaciones o de modificación importante de instalaciones existentes que utilicen procesos que liberan las sustancias incluidas en el presente anexo, deberán considerarse de manera prioritaria los procesos, técnicas o prácticas de carácter alternativo que tengan similar utilidad, pero que eviten la formación y liberación de esos productos químicos. En los casos en que dichas instalaciones vayan a construirse o modificarse de forma importante, además de las medidas de prevención descritas en la sección A de la parte V, para determinar las mejores técnicas disponibles se podrán considerar también las siguientes medidas de reducción:
- (i) Empleo de métodos mejorados de depuración de gases de combustión, tales como la oxidación termal o catalítica, la precipitación de polvos o la adsorción;
 - (ii) Tratamiento de residuos, aguas residuales, desechos y lodos de alcantarillado mediante, por ejemplo, tratamiento térmico o volviéndolos inertes o mediante procesos químicos que les quiten la toxicidad;
 - (iii) Cambios de los procesos que den lugar a la reducción o eliminación de las liberaciones, tales como la adopción de sistemas cerrados;
 - (iv) Modificación del diseño de los procesos para mejorar la combustión y evitar la formación de las sustancias incluidas en el anexo, mediante el control de parámetros como la temperatura de incineración o el tiempo de residencia.

C. Mejores practicas ambientales

La Conferencia de las Partes podrá elaborar orientación con respecto a las mejores prácticas ambientales.

El Convenio de Basilea sobre el control de movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su eliminación fue adoptado en 1989 y entró en vigor en 1992. Al igual que el Convenio de Estocolmo, el Convenio de Basilea es un acuerdo internacional que hace referencia directa a la aplicación de mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales para el control de las sustancias incluidas en el Anexo C del Convenio de Estocolmo. El Convenio establece obligaciones para los países que son Partes, entre otros objetivos, para reducir la generación de desechos peligrosos, garantizar la existencia de instalaciones de eliminación adecuadas; y garantizar el manejo ambientalmente racional de los desechos.

El párrafo 2 del artículo 6 del Convenio de Estocolmo, sobre las medidas para reducir o eliminar liberaciones de existencias y desechos, contiene las siguientes disposiciones:

“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;
- b) Determinar los métodos que constituyan la eliminación ambientalmente racional a que se hace referencia anteriormente; y
- c) Adoptar medidas para establecer, cuando proceda, los niveles de concentración de las sustancias incluidas en los Anexos A, B y C para definir el bajo contenido de contaminante orgánico persistente a que se hace referencia en el inciso ii) del apartado d) del párrafo 1.”³

En su octava reunión, celebrada en diciembre de 2006, la Conferencia de las Partes en el Convenio de Basilea adoptó unas directrices técnicas generales actualizadas para el manejo ambientalmente racional de desechos que constituyen contaminantes orgánicos persistentes, que los contengan o estén contaminados con ellos, o con bifenilos policlorados, terfenilos policlorados o bifenilos polibromados. Las directrices técnicas generales elaboradas en virtud del Convenio de Basilea abordan asuntos relacionados con las tres grandes temáticas definitorias que plantea el párrafo 2 del artículo 6 del Convenio de Estocolmo.

Además, la octava reunión de la Conferencia de las Partes en el Convenio de Basilea también adoptó las siguientes tres nuevas directrices específicas:

- Directrices técnicas para el manejo ambientalmente racional de desechos consistentes en los plaguicidas aldrina, clordano, dieldrina, endrina, heptacloro, hexaclorobenceno, mirex o toxafeno o HCB como producto químico industrial, o que los contengan o estén contaminados con ellos.

- Directrices técnicas para la gestión ambientalmente racional de desechos consistentes en 1, 1,1 tricloro-2,2 bis (clorofenil) etano (DDT), que lo contengan o estén contaminados con él.
- Directrices técnicas para el manejo ambientalmente racional de desechos que contengan dibenzoparadioxinas policloradas (PCDD), dibenzofuranos policlorados (PCDF), hexaclorobenceno o bifenilos policlorados producidos de forma no intencional, o que estén contaminados con ellos.

I.F Relación con otras preocupaciones ambientales

Los efectos adversos del mercurio y sus compuestos son mundialmente reconocidos. Por consiguiente, se han adoptado decisiones sobre la necesidad de más actividades y medidas internacionales que reduzcan o eliminen las liberaciones de mercurio y sus compuestos hacia el medio ambiente. Algunas de las fuentes que liberan los contaminantes orgánicos persistentes que figuran en el Anexo C del Convenio de Estocolmo puedan también liberar altos niveles de mercurio en el medio ambiente. También es posible que liberen otros contaminantes ambientales o gases de invernadero. Teniendo en cuenta estos efectos, al aplicar las mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales establecidas en las presentes directrices relativas a la liberación de contaminantes orgánicos persistentes, las Partes deberán considerar también la aplicación de las medidas adecuadas para garantizar de igual manera la reducción de las liberaciones de mercurio y otros contaminantes.

En las definiciones del Convenio de Estocolmo, específicamente en el artículo 5 y el Anexo C, el término “mejores prácticas ambientales” se refiere a la aplicación de la combinación más adecuada de medidas y estrategias de control ambiental, y el término “mejor” se define como lo más eficaz para lograr un alto grado general de protección del medio ambiente en su conjunto.

Al reducir las liberaciones de contaminantes orgánicos persistentes debe procurarse evitar el incremento de las liberaciones de otros contaminantes.

- ¹ El proyecto de directrices sobre mejores técnicas disponibles y orientación sobre mejores prácticas ambientales relativas al artículo 5 y al anexo C del Convenio fue elaborado por el Grupo de expertos sobre las mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales, establecido para tales efectos por la sexta reunión del Comité Intergubernamental de Negociación de un instrumento internacional jurídicamente vinculante para la aplicación de medidas internacionales respecto de ciertos contaminantes orgánicos persistentes (véase UNEP/POPS/INC.6/22, párrafo 75).
- ² 1 pg (picogramo) = 1×10^{-15} kilogramo (1×10^{-12} gramo).
- ³ El artículo 6, párrafo 1 d) ii) del Convenio de Estocolmo estipula que cada Parte: “d) Adoptará las medidas adecuadas para que esos desechos, incluidos los productos y artículos cuando se conviertan en desechos ... (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 se 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”.
- * *N. de T.:* De aquí en adelante: “Plantas de fragmentación para el tratamiento de vehículos fuera de uso”.
- ** *N. de T.:* De aquí en adelante: “Recuperación del cobre de cables por combustión lenta”.
- *** *N. de T.:* De aquí en adelante: “Refinerías de aceites de desecho”.

Sección II

Consideración de alternativas en la aplicación
de mejores técnicas disponibles

II.A consideración de alternativas en el convenio de estocolmo

El Convenio de Estocolmo proporciona una orientación general sobre mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales en las que se insta a las Partes a dar prioridad al estudio de métodos para evitar la formación y liberación de las sustancias incluidas en la parte I del Anexo C del Convenio.⁴ El Convenio hace referencia al “estudio de alternativas” refiriéndose en particular a las mejores técnicas disponibles:

“Al examinar las propuestas de construcción de nuevas instalaciones o de modificación importante de instalaciones existentes que utilicen procesos que liberan las sustancias incluidas en el presente anexo, deberán considerarse de manera prioritaria los procesos, técnicas o prácticas de carácter alternativo que tengan similar utilidad, pero que impidan la formación y liberación de esos productos químicos”.⁵

II.B el convenio de estocolmo y las nuevas fuentes

Las Partes tienen la obligación de requerir el uso de mejores técnicas disponibles cuando en sus planes de acción hayan identificado fuentes nuevas, dentro de las categorías de fuentes, que justifiquen tal medida. Al comienzo se debe dar prioridad a las categorías de fuentes incluidas en la parte II del Anexo C del Convenio.⁶

Al ejecutar esta obligación, las Partes deberían asegurarse de que se dé prioridad a procesos, técnicas o prácticas alternativas que, teniendo una utilidad similar, impidan la formación o liberación de las sustancias que figuran en la parte I del Anexo C.

En este sentido, el Convenio de Estocolmo es ambicioso, pues promueve la búsqueda de procesos, técnicas y prácticas que eviten la generación y liberación de contaminantes orgánicos persistentes e insta a las Partes a considerarlos de manera prioritaria. Esto no significa que siempre deba impedirse la instalación de fuentes con potencial de formar y liberar en el medio ambiente las sustancias que figuran en la parte I del Anexo C. Es posible que la eliminación total no sea factible o viable. Las fuentes que figuran en las partes II y III del Anexo C tienen finalidades útiles, pese al potencial de formar o liberar contaminantes orgánicos persistentes.

Para decidir en qué circunstancias es mejor impedir una fuente de la parte II, de la parte III o alguna otra fuente señalada como prioritaria conviene estudiar la propuesta de instalación original así como las posibles alternativas, tomando en cuenta la viabilidad de las diversas opciones.

Cuando una Parte obliga a la aplicación de mejores técnicas disponibles para una nueva fuente de sustancias del Anexo C, los responsables de la toma de decisiones deben asegurarse de que las alternativas que eviten la formación y liberación de tales sustancias químicas sean también consideradas. Para ello, deberían efectuar una comparación de los procesos propuestos, las alternativas posibles y la legislación aplicable, utilizando lo que podría llamarse “método de lista de verificación”, tomando en cuenta el contexto general del desarrollo sostenible y dando plena consideración a los factores ambientales, de salud, seguridad, así como socioeconómicos.

Los siguientes elementos formarían parte de este método.

1. Examinar la propuesta de nueva instalación en el contexto del desarrollo sostenible

Los responsables de la toma de decisiones deberían realizar un examen de la propuesta original de la nueva instalación así como de las alternativas posibles en el contexto de los planes de desarrollo sostenible del país. Este examen tiene por objeto que los responsables de la toma de decisiones conozcan mejor la propuesta de instalación y su utilidad prevista tomando en cuenta consideraciones sociales, económicas y ambientales, así como su posible contribución al desarrollo sostenible. También se debería estudiar la disponibilidad y viabilidad de la aplicación de medidas generales que reduzcan las liberaciones de las sustancias incluidas en el Anexo C, como las medidas que figuran en la parte V, sección B, inciso b), puntos i) al iv) del Anexo C.

2. Identificar alternativas posibles y accesibles

Habría que procurar identificar los procesos, técnicas o prácticas alternativas que, teniendo una utilidad similar, evitan la formación y liberación de las sustancias del Anexo C. Se deberían tomar en cuenta las orientaciones generales existentes para tales procesos, técnicas y prácticas (por ejemplo, las del Convenio de Basilea, la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Mundial de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), otros organismos intergubernamentales, así como gobiernos).

Con el fin de ayudar a las Partes a identificar posibles alternativas existentes y apropiadas, y en su calidad de centro de intercambio de información en virtud del artículo 9, la secretaría del Convenio elaborará, gestionará y dará a conocer un compendio de procesos, técnicas y prácticas disponibles que evitan la generación y liberación en el medio ambiente de las sustancias que figuran en el Anexo C, y que pueden ser utilizados como alternativas adecuadas para las instalaciones y procesos que generan estas sustancias. La elaboración y mantenimiento de dicho compendio por parte del centro de intercambio de información deberá tener las siguientes características:

- Realizarse de manera transparente
- Actualizarse periódicamente
- Proporcionar información que las Partes puedan utilizar de forma que se tomen en cuenta las circunstancias particulares de los países en desarrollo y algunos países con economías en transición
- Proporcionar información que las Partes puedan utilizar para tomar en consideración las diferencias regionales, y ayudarlas a centrarse en el desarrollo sostenible, incorporando los factores ambientales, de salud, seguridad y socioeconómicos

3. Realizar una evaluación comparativa entre las alternativas propuestas e identificadas, y las posibles y accesibles

Habiendo identificado las alternativas posibles y accesibles, los responsables de tomar decisiones deberían realizar evaluaciones de las distintas opciones, a saber, de la propuesta original de nueva instalación y todas las posibles alternativas que puedan considerarse. En algunos casos, y para ciertos tipos de instalaciones, quizás sea más apropiado que las autoridades de la localidad o zona realicen la evaluación comparativa. Sin embargo, en muchos casos, desde la perspectiva del desarrollo sostenible, quizás sea más apropiado que la evaluación comparativa se realice a otro nivel estratégico o de política. Al efectuar la evaluación comparativa, se deben tener en cuenta los elementos pertinentes de la lista indicativa del Anexo F⁷, Información sobre consideraciones socioeconómicas, y también los criterios pertinentes de la parte V, secciones A y B del Anexo C.

4. Determinar la prioridad

Se debería dar prioridad a la consideración de una propuesta alternativa respecto de otras opciones, incluso sobre la propuesta original de instalación cuando, sobre la base de la evaluación comparativa descrita en la subsección 3 *supra*, así como de las consideraciones y criterios pertinentes de los Anexos F y C del Convenio, se determina que esta alternativa identificada:

- Evita la formación y liberación de las sustancias que figura en el Anexo C
- Tiene una utilidad similar
- Se ajusta comparativamente bien a los planes de desarrollo sostenible del país, tomando en cuenta la integración efectiva de los factores social, económico, ambiental, de salud y seguridad

1. Aspectos de salud, seguridad y medio ambiente

El artículo 1 del Convenio estipula que “el objetivo del Convenio es proteger la salud humana y el medio ambiente frente a los contaminantes orgánicos persistentes”. Al realizar evaluaciones comparativas de propuestas originales de instalaciones y posibles alternativas disponibles (como se indica en la subsección 3 de la sección II.C de las presentes directrices), se deben tener en cuenta los aspectos de salud, seguridad y medio ambiente.

Los efectos en la salud, la seguridad y el medio ambiente de las alternativas propuestas deberían compararse con los efectos de la propuesta original de instalación. El resultado de esta comparación debería constituir un factor importante en la consideración de la “utilidad similar” y en la determinación de la viabilidad y factibilidad.

2. Consideraciones sociales y económicas

El Anexo F del Convenio de Estocolmo contiene información pertinente sobre las consideraciones socioeconómicas relacionadas con posibles medidas de control para instrumentar las decisiones de la Conferencia de las Partes. Constituye al mismo tiempo una lista inicial de consideraciones y criterios sociales y económicos que las autoridades pueden utilizar al realizar evaluaciones comparativas de propuestas originales de instalaciones y sus alternativas posibles y accesibles. Se recomienda encarecidamente la elaboración de una lista de verificación por país, que comprenda los siguientes elementos, muchos de los cuales figuran en el Anexo F del Convenio:

- Viabilidad técnica
- Costos, incluidos los ambientales y de salud
- Rentabilidad
- Eficacia (capacidad de infraestructura, disponibilidad de personal debidamente capacitado)
- Riesgo
- Disponibilidad
- Acceso
- Facilidad de operación
- Repercusiones positivas o negativas para la sociedad, en particular repercusiones sobre la salud (pública, ambiental y ocupacional), agricultura (acuicultura y silvicultura incluidas), técnicas o conocimientos locales y tradicionales, diversidad

biológica, aspectos económicos, avance hacia el desarrollo sostenible y costos sociales

En muchos casos, las nuevas instalaciones propuestas tienen el potencial de reforzar los planes de desarrollo económico y reducción de la pobreza del país. La aplicación adecuada del Convenio de Estocolmo no debería interferir significativamente con este potencial; por el contrario, si se aplica de manera adecuada, el Convenio debe contribuir de manera positiva al desarrollo sostenible y a la reducción de la pobreza.

El Convenio⁸ estipula que las Partes que son países en desarrollo y Partes que son economías en transición tendrán acceso a recursos financieros nuevos y adicionales que les permitan sufragar el total acordado de los costos acumulados de las medidas de aplicación, en cumplimiento de las obligaciones estipuladas por el Convenio. Por ello, en la medida en que las Partes están obligadas a exigir mejores técnicas disponibles en las circunstancias concretas especificadas en el Convenio, deberían tener acceso a los costos totales acumulados acordados que implica el cumplimiento de dicha obligación.

En algunos casos, las alternativas adecuadas para nuevas fuentes de sustancias del Anexo C requieren menos gasto de bienes de capital importado, y se sustentan más bien de fuentes de mano de obra y conocimientos que existen en la localidad. Estas alternativas pueden evitar la formación y liberación de las sustancias que figuran en el Anexo C, adaptarse bien a los planes de desarrollo sostenible del país y ser tanto o más útiles que la propuesta original de instalación.

Por último, todas las obligaciones en virtud del Convenio contribuyen a lograr el objetivo del Convenio de proteger la salud humana y el medio ambiente contra las sustancias que figuran en el Anexo C.⁹ En su preámbulo¹⁰, el Convenio reconoce los “problemas de salud, especialmente en los países en desarrollo, derivados de la exposición local a los contaminantes orgánicos persistentes, en especial los efectos en las mujeres y, a través de ellas, en las futuras generaciones”. Al reducir las liberaciones de las sustancias del Anexo C, como parte de un proceso sólido y equilibrado de desarrollo sostenible, la aplicación adecuada del Convenio de Estocolmo puede reducir el peso de las enfermedades y déficits de salud en general que socavan los esfuerzos para lograr el desarrollo sostenible y reducir la pobreza.

3. Consideraciones del Anexo C

Todas las secciones pertinentes de la parte V, secciones A y B del Anexo C deberán ser consideradas al aplicar las presentes directrices.

- ⁴ Véase Convenio de Estocolmo, Anexo C, Parte V, sección A, encabezado.
- ⁵ Véase Convenio de Estocolmo, Anexo C, Parte V, sección B, inciso b).
- ⁶ Véase Convenio de Estocolmo, artículo 5 d).
- ⁷ La lista de elementos del anexo F del Convenio para productos químicos evaluados de conformidad con el artículo 8 (lista de productos químicos en los anexos A, B y C) también es pertinente para la evaluación comparativa.
- ⁸ Ver artículo 13.2 del Convenio de Estocolmo.
- ⁹ Ver artículo 1 del Convenio de Estocolmo.
- ¹⁰ Ver segundo párrafo del Convenio de Estocolmo.

Sección III

Mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales: Orientación, principios y consideraciones transectoriales

1. Consideraciones generales

El artículo 5 del Convenio de Estocolmo estipula que las Partes elaborarán, en un plazo de dos años a partir de la entrada en vigor del Convenio, un plan de acción para identificar, caracterizar y combatir las liberaciones de las sustancias incluidas en el Anexo C. Las sustancias que figuran en la lista son las dibenzoparadioxinas policloradas (PCDD), los dibenzofuranos policlorados (PCDF), así como el hexaclorobenceno (HCB) y los bifenilos policlorados (PCB), cuando no se producen de manera intencional.

El plan de acción, que también debe ser uno de los componentes del plan de aplicación nacional que cada Parte debe elaborar en virtud del artículo 7 del Convenio, comprenderá estrategias para cumplir con las obligaciones de reducir o eliminar las liberaciones de las sustancias incluidas en el Anexo C del Convenio de Estocolmo, así como un calendario del plan de acción. El plan determinará las prioridades de acción, entre ellas las relacionadas con las categorías de fuentes que ofrecen las oportunidades más eficaces y económicas de reducción o eliminación de liberaciones. También comprenderá un inventario de liberaciones de las sustancias del Anexo C.

De conformidad con el calendario de aplicación de su plan de acción y tomando en cuenta las directrices que adoptará la Conferencia de las Partes, las Partes promoverán y, en algunos casos, dispondrán el empleo de mejores técnicas disponibles y promoverán el empleo de mejores prácticas ambientales para las fuentes de liberaciones identificadas. Las Partes también promoverán y, cuando proceda, requerirán la aplicación de materiales o procesos sustitutos que eviten la formación y liberación de las sustancias incluidas en el Anexo C.

2. Aspectos jurídicos, de política y gobernabilidad

La forma en que cada gobierno promueva o requiera la aplicación de mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales variará de un país a otro, conforme a sus respectivos marcos jurídicos y condiciones socioeconómicas. Entre las estrategias de aplicación posibles que se podrían utilizar están el registro de liberaciones estimadas, los programas de información y educación, programas industriales voluntarios, instrumentos económicos y reglamentación. Todos estos aspectos deberían ser abordados en el plan de acción nacional de cada Parte.

Los tipos de medidas que se pueden promover o requerir como mejores técnicas disponibles para reducir o eliminar la liberación de las sustancias del Anexo C se pueden clasificar de la siguiente manera: aplicación de procesos alternativos, medidas primarias que impidan la formación de las sustancias incluidas en el Anexo C y medidas secundarias para el control y reducción de las liberaciones de estas sustancias.

3. Aspectos científicos y técnicos

La investigación científica aportará innovaciones en cuanto a la medición de las liberaciones y los niveles en el medio ambiente de las sustancias del Anexo C y a lo que se considera como “mejores” técnicas disponibles y “mejores” prácticas ambientales. Esta orientación general será actualizada periódicamente en función de estas innovaciones.

El Convenio define el término “mejores” como “más eficaces para lograr un alto grado general de protección del medio ambiente en su conjunto” (ver inciso f) iv) del artículo 5).

De conformidad con la decisión SC-1/15 de la Conferencia de las Partes del Convenio de Estocolmo, se deben realizar esfuerzos para asegurarse de que existan los mecanismos para proporcionar asistencia técnica y promover la transferencia de tecnología. Un caso particular es el de las Partes que actualmente no tienen acceso a esas técnicas por estar sujetas a derechos de propiedad intelectual.

Para cumplir con sus obligaciones de aplicar mejores técnicas disponibles, cada Parte tomará en consideración las presentes directrices, así como el nivel de desempeño de las mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales respecto a las liberaciones de PCDD/PCDF. Es prerrogativa de cada Parte establecer los límites reglamentarios de liberaciones con base en esta orientación.

4. Implicaciones económicas y sociales

Según el proceso que sea fuente de las sustancias incluidas en el Anexo C, serán en parte las condiciones económicas y sociales de un país las que determinarán lo que son “mejores” técnicas disponibles y “mejores” prácticas ambientales. Cuando los procesos son de escala relativamente grande, requieren grandes inversiones e implican flujos de material considerables y continuos (ej., hornos de cemento que queman desechos peligrosos, plantas de sinterización en la industria del hierro y el acero, centrales que utilizan combustibles fósiles, grandes incineradores de desechos), las tecnologías y prácticas utilizadas, así como las empresas que las gestionan, son más o menos similares en todo el mundo. En estos casos, se pueden aplicar mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales de manera muy similar en todos los países. Empero, cuando los procesos son de escala relativamente pequeña (crematorios, combustión doméstica, calderas industriales, vehículos motorizados) o implican la gestión de desechos a pequeña escala (incineración de desechos, quema a cielo abierto), las tecnologías y prácticas disponibles pueden variar mucho de un país a otro. En tales casos, para determinar cuáles son mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales se precisa un análisis de la viabilidad económica de las diversas opciones posibles. Como tal, una “mejor” opción puede ser la opción que sea más viable, en función del costo, en las condiciones socioeconómicas existentes.

5. Fuentes nuevas y fuentes existentes

Para las nuevas fuentes de sustancias dentro de las categorías de fuentes que requieren el uso de mejores técnicas disponibles, habiéndose identificado en sus planes de acción nacionales, las Partes deben centrarse inicialmente en las categorías de fuentes que figuran en la parte II del Anexo C. Las Partes introducirán paulatinamente los requerimientos de mejores técnicas disponibles para las nuevas fuentes de las categorías de la parte II del Anexo C tan pronto como sea posible, o a más tardar cuatro años después de la entrada en vigor del Convenio para dicha Parte. Se deberán promover mejores técnicas disponibles para las categorías de fuentes existentes que, según los planes de acción, requieran la aplicación de estas técnicas. En el caso de nuevas fuentes que según el plan de acción de la Parte no requieran medidas especiales, se promoverá el empleo de las mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales.

El uso de mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales para nuevas fuentes garantiza que las liberaciones de las sustancias del Anexo C se reduzcan lo más posible. En el contexto del diseño y la operación de la planta, estas técnicas y prácticas deberán considerarse en una etapa en la que resulte eficiente y rentable incorporarlas. Dada la gran variedad de actividades industriales y no industriales implicadas, la estrategia nacional de desarrollo sostenible debe tener en cuenta la necesidad de garantizar que las inversiones en la economía nacional cumplan con esta orientación general y sus directrices.

El uso de mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales para las fuentes existentes señaladas en el plan de acción nacional de una Parte deberá promoverse de conformidad con dicho plan de acción.

Ocuparse de las fuentes existentes representa para las Partes una buena oportunidad de reducir el total de liberaciones. Al determinar las fuentes existentes que son prioritarias en su plan de acción nacional, cada Parte tendrá que considerar medidas que propicien los cambios necesarios en el proceso, o prácticas de gestión que puedan contribuir al logro de mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales. Estas modificaciones podrían introducirse gradualmente y formar parte de los planes de modernización de una planta.

III.B Principios y planteamientos generales

Al aplicar las presentes directrices y orientación general a fuentes de sustancias del Anexo C del Convenio de Estocolmo, las Partes quizás estimen útil considerar algunos principios y planteamientos generales de gestión ambiental que pueden reforzar los objetivos del Convenio. A continuación se presentan algunos de estos principios y planteamientos generales de gestión ambiental.

1. **Desarrollo sostenible.** “Desarrollo que satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades”.¹¹

2. **Consumo sostenible.** “Utilización de bienes y servicios que responden a las necesidades básicas y contribuyen a una mejor calidad de vida, reduciendo al mínimo el uso de recursos naturales, materiales tóxicos y emisiones de desechos y contaminantes a lo largo del ciclo vital de los bienes o servicios, sin poner en peligro las necesidades de las generaciones futuras”.¹²
3. **Elaboración y aplicación de sistemas de gestión ambiental.** “Enfoque estructurado para determinar, aplicar y revisar políticas ambientales mediante el uso de un sistema que comprenda la estructura organizacional, responsabilidades, prácticas, procedimientos, procesos y recursos”.¹³
4. **Uso de la ciencia, la tecnología y los conocimientos indígenas para tomar decisiones ambientales fundamentadas.** “Incrementar el uso de la tecnología y los conocimientos científicos e incrementar el uso beneficioso de los conocimientos locales y autóctonos de manera que se respete a los depositarios de esos conocimientos y de conformidad con la legislación nacional”; y “forjando alianzas entre las instituciones científicas, públicas y privadas, incluso integrando el asesoramiento de científicos en los procesos de adopción de decisiones a fin de afianzar el papel de la ciencia, la tecnología, el desarrollo y los sectores técnicos”.¹⁴
5. **Criterio de precaución.** “Con el fin de proteger el medio ambiente, los Estados deberán aplicar ampliamente el criterio de precaución conforme a sus capacidades. Cuando haya peligro de daño grave o irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces en función de los costos para impedir la degradación del medio ambiente”.¹⁵
6. **Internalización de los costos ambientales y el principio de que el que contamina paga.** “Las autoridades nacionales deberían procurar fomentar la internalización de los costos ambientales y el uso de instrumentos económicos, teniendo en cuenta el criterio de que el que contamina debe, en principio, cargar con los costos de la contaminación, teniendo debidamente en cuenta el interés público y sin distorsionar el comercio ni las inversiones internacionales”.¹⁶
7. **Prevención de la contaminación.** “Empleo de procesos, prácticas, materiales, productos o energía que impiden o reducen la creación de contaminantes y desechos, y reducen el riesgo general para la salud humana y el medio ambiente”.¹⁷
8. **Prevención y control integrados de la contaminación.** “Este principio tiene por objeto la prevención y reducción integradas de la contaminación procedente de las actividades industriales a gran escala. También establece medidas para evitar o, cuando ello no sea posible, reducir las emisiones de las citadas actividades en la atmósfera, el agua y el suelo, incluidas las medidas relativas a los residuos, con el fin de alcanzar un nivel elevado de protección del medio ambiente considerado en su conjunto”.¹⁸
9. **Co-beneficios del control de otros contaminantes.** Por ejemplo, la prevención y control de otros contaminantes puede contribuir también a la reducción y eliminación de las sustancias del Anexo C.
10. **Producción más limpia.** “Aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integral a los procesos, productos y servicios para aumentar la eficiencia en general y reducir los riesgos al ser humano y el medio ambiente. La producción limpia

se puede aplicar a los procesos utilizados en cualquier sector industrial, a los productos mismos y a diversos servicios que se brindan a la sociedad”.¹⁹

11. **Análisis del ciclo de vida.** “Enfoque basado en el sistema que consiste en estimar los inventarios ambientales (es decir, generación, emisiones y descargas de desechos), la energía y la utilización de recursos relacionadas con un producto, proceso u operación en cada una de sus etapas del ciclo de vida”.²⁰

12. **Gestión del ciclo de vida.** “Concepto integral para la gestión total del ciclo de vida de bienes y servicios con miras a lograr una producción y consumo más sostenibles, partiendo de las herramientas de evaluación ambiental analíticas y de procedimiento existentes, e integrando los aspectos económicos, sociales y ambientales”.²¹

13. **Eliminación total.** “La reducción definitiva de la cantidad o concentración de la sustancia tóxica en una emisión, efluente o desecho liberado al medio ambiente por debajo de un nivel de cuantificación establecido. Por ‘nivel de cuantificación’ se entiende, con respecto a una sustancia, la concentración más baja que puede ser medida correctamente con métodos analíticos y de muestreo precisos pero de rutina”.²²

14. **Derecho de la comunidad a estar informada.** “En la esfera del medio ambiente, un mejor acceso a la información y una mayor participación del público en la toma de decisiones permiten tomar mejores decisiones y aplicarlas más eficazmente, contribuyen a sensibilizar al público respecto de los problemas medioambientales, le dan la posibilidad de expresar sus preocupaciones y ayudan a las autoridades públicas a tener debidamente en cuenta dichas preocupaciones”.²³

III.c consideraciones transectoriales

(i) Sustancias químicas que figuran en el Anexo C: Mecanismos de formación

1. Formación de las sustancias del Anexo C: panorama general

Las dibenzoparadioxinas policloradas (PCDD), los dibenzofuranos policlorados (PCDF), los bifenilos policlorados (PCB) y el hexaclorobenceno (HCB) se generan de manera no intencional en procesos químicos industriales, como la elaboración de productos químicos, y procesos térmicos, como la incineración de desechos. Los PCDD/PCDF son los únicos contaminantes orgánicos persistentes derivados cuyo mecanismo de formación ha sido estudiado exhaustivamente en los procesos relativos a la combustión y, en menor medida, en procesos químicos que no implican combustión. Aun así, no se conocen totalmente los mecanismos y las condiciones exactas de formación. Está claro

que el mecanismo o vía predominante puede variar de un proceso a otro, de modo que no hay un único factor controlador universal, sino que se trata de distintos factores.

Hay mucho menos información sobre la formación de los PCB y el HCB, en particular en procesos de combustión. En vista de las similitudes en la estructura y aparición de PCDD/PCDF, PCB y HCB, se suele suponer que, a excepción de las especies que contienen oxígeno, los parámetros y factores que favorecen la formación de PCDD/PCDF también producen PCB y HCB.

Por otro lado, en algunos procesos industriales se forma mucho más HCB que PCDD/PCDF o PCB. Las secciones V y VI, de la presente orientación, sobre los diversos tipos de incineración y procesos químicos proporcionan información más específica sobre procesos y productos derivados.

2. Formación de los PCDD/PCDF

2.1 Procesos térmicos²⁴

Se necesita carbono, oxígeno, hidrógeno y cloro, en su forma elemental, orgánica o inorgánica. En algún momento del proceso de síntesis, el carbono, ya sea que esté presente en un precursor o que sea generado por una reacción química, asumirá una estructura aromática.

Son dos las vías principales por las que se pueden sintetizar estos compuestos: a partir de precursores como los fenoles clorados o por síntesis *de novo* a partir de estructuras carbonáceas en cenizas volantes, carbón activado, hollín, moléculas más pequeñas, producto de una combustión incompleta. En condiciones de combustión deficiente, se pueden formar PCDD/PCDF durante el proceso mismo de combustión.

El mecanismo asociado con esta síntesis puede ser homogéneo (las moléculas reaccionan todas en la fase gaseosa o todas en la fase sólida) o heterogéneo (con reacciones entre moléculas en fase gaseosa y superficies).

Los PCDD/PCDF también se pueden destruir cuando se incineran a temperatura suficiente, con tiempos adecuados de residencia y una buena mezcla de gases de combustión y materiales de desecho o combustibles de alimentación. Las buenas prácticas de combustión implican la gestión de “las tres *Tes*”: tiempo de residencia, temperatura y turbulencia, y suficiente exceso de oxígeno que permita una oxidación completa. Para evitar la reformación se requieren procedimientos de enfriamiento rápido y otros procedimientos conocidos.

Entre las variables conocidas por su impacto en la formación térmica de PCDD/PCDF se encuentran las siguientes:

- Tecnología: los PCDD/PCDF pueden formarse por combustión deficiente o en cámaras de post-combustión y dispositivos de control de contaminación atmosférica mal operados. Las técnicas de combustión varían desde las más sencillas y rudimentarias, como la quema a cielo abierto, hasta las muy complejas y avanzadas, como la incineración con mejores técnicas disponibles.

- **Temperatura:** Se ha registrado la formación de PCDD/PCDF en zonas de post-combustión o dispositivos de control de contaminación atmosférica en el rango de 200 °C a 650 °C; por lo general se considera que el rango de mayor formación es de 200 °C y 450 °C, con el punto máximo en torno a los 300 °C.
- **Metales:** es conocida la función catalizadora del cobre, hierro, zinc, aluminio, cromo y manganeso en la formación, cloración y dechloración de PCDD/PCDF.
- **Azufre y nitrógeno:** El azufre y algunos productos químicos que contienen nitrógeno inhiben la formación de PCDD/PCDF, pero pueden provocar la formación involuntaria de otras sustancias.
- **El cloro debe estar presente en forma orgánica, inorgánica o elemental.** Su presencia en cenizas volantes o en su forma elemental en la fase gaseosa puede ser de particular importancia.
- Los PCB también son precursores para la formación de PCDF.

La investigación ha demostrado la importancia de otras variables y combinaciones de condiciones.

2.2 Procesos químicos industriales

Al igual que en los procesos térmicos, se requiere carbono, hidrógeno, oxígeno y cloro. Se considera que la formación de PCDD/PCDF en procesos químicos se encuentra favorecida por alguna o algunas de las siguientes condiciones:

- Temperaturas elevadas (>150 °C)
- Condiciones alcalinas
- Catalizadores metálicos
- Radiación ultravioleta (UV) u otros radicales iniciadores

En la producción de productos químicos que contienen cloro, la tendencia a la formación de PCDD/PCDF se ha registrado de la siguiente manera:

Clorofenoles > clorobencenos > alifáticos clorados > inorgánicos clorados

(ii) Consideraciones sobre la gestión de desechos

1. Resumen

La quema de desechos tiene un potencial comparativamente elevado de formación involuntaria de contaminantes orgánicos persistentes y de su liberación en el medio ambiente. Por eso las incineradoras de desechos figuran en las categorías de fuentes de la parte II del Anexo C del Convenio de Estocolmo. La quema de desechos a cielo abierto, incluida la quema en rellenos sanitarios, también puede provocar la formación y liberación accidental de contaminantes orgánicos persistentes, y esta fuente figura en

la parte III del Anexo C. La aplicación de mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales para estas fuentes debería tener en cuenta las prácticas de gestión ambientalmente racional de desechos. La gestión ambientalmente racional de desechos reduce las liberaciones de contaminantes orgánicos persistentes y constituye también un factor importante para evitar problemas de salud y para promover el uso sostenible de los recursos.

Entre los principios importantes que se aplican a la prevención y reducción de desechos se encuentran el principio de reducción desde la fuente, el principio del ciclo de vida integrado y el de máxima recuperación de componentes reutilizables y reciclables, que se facilita en muchos casos separando desde la fuente los desechos que pueden ser compostados, reutilizados o reciclados. Los desechos restantes deberían tratarse y eliminarse de manera ambientalmente racional. Para que en todas las etapas -sistema de recolección, actividades de reciclado y eliminación final- las soluciones sean eficaces, deberían adaptarse a las circunstancias locales, tomando en cuenta factores como la posibilidad de evitar los desechos, su composición, los posibles procesos de reciclado, estructuras existentes, así como aspectos financieros, económicos y sociales.

En general, se debería dar prioridad a los métodos que evitan la formación y liberación de las sustancias incluidas en el Anexo C del Convenio. Se deberían emplear métodos mejorados de gestión de desechos con el fin de evitar la quema de desechos a cielo abierto y otros procesos no controlados, como la quema en vertederos. Al considerar propuestas para construir nuevas instalaciones de eliminación de desechos, se deberían considerar alternativas como actividades para reducir la generación de desechos urbanos y médicos, incluida la recuperación de recursos, reutilización, reciclado y separación de desechos, así como la promoción de productos que generan menos desechos. Con esta perspectiva, se debería prestar la debida atención a los aspectos de salud pública.

La presente sección aborda estas cuestiones, pero no puede sustituir un examen exhaustivo de todos los aspectos específicos relacionados con la gestión de desechos.

2. Introducción

2.1 Importancia de la gestión de desechos para el medio ambiente y la salud

La gestión adecuada de los desechos es un elemento importante de la protección de la salud humana y el medio ambiente. También contribuye a evitar la pérdida de recursos. Una utilización irresponsable de los rellenos sanitarios puede contaminar cuerpos acuíferos, la quema de desechos en rellenos sanitarios o en incineradores inapropiados o la quema a cielo abierto pueden liberar altos niveles de las sustancias incluidas en el Anexo C y otras sustancias tóxicas como hidrocarburos aromáticos policíclicos, metales pesados y material particulado. Por tal motivo, un enfoque global que mejore el sistema de gestión de desechos tendrá un impacto positivo en diversas áreas.

La gestión de desechos implica muchas áreas distintas de intervención. Para empezar, la prevención y reducción de desechos puede contribuir a aminorar la generación de desechos y su potencial de riesgo. En los procesos industriales, el desarrollo y empleo de

tecnologías que generan pocos o cero desechos han tenido un efecto positivo en la reducción de la cantidad de desechos para tratamiento. Dar más peso a la responsabilidad del fabricante puede también contribuir a resolver, o por lo menos reducir, problemas de la gestión de desechos (ver Figura 1).

■ **Figura 1: Jerarquía de la gestión de desechos**



2.2 Definiciones

El Convenio de Basilea sobre el Control de Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación presenta la siguiente definición general de desechos:

“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”.

El Convenio de Basilea define “eliminación” como cualquiera de las operaciones que pueden o no conducir a la posibilidad de la “recuperación de recursos, reciclado, regeneración, reutilización directa u otros usos”.

El Anexo I del Convenio de Basilea contiene 45 categorías de desechos peligrosos sujetos a movimientos transfronterizos que requieren control, siempre y cuando no entren en alguna de las siguientes categorías, y cuyas características se describen en el Anexo III del Convenio de Basilea:

- Explosivos
- Líquidos inflamables
- Sólidos inflamables
- Sustancias o desechos susceptibles de combustión espontánea
- Sustancias o desechos que, en contacto con el agua, emiten gases inflamables
- Oxidantes
- Peróxidos orgánicos
- Tóxicos (venenos) agudos
- Sustancias infecciosas
- Corrosivos
- Sustancias que liberan gases tóxicos en contacto con el aire o el agua
- Sustancias tóxicas (con efectos retardados o crónicos)
- Ecotóxicos
- Sustancias que pueden, por algún medio, después de su eliminación, dar origen a otra sustancia, por ejemplo, un producto de lixiviación, que posea alguna de las características antes expuestas

2.3 Importancia de crear estrategias nacionales de gestión de desechos

La gestión de desechos incide en toda la sociedad y su economía. Compete a las autoridades locales, regionales y nacionales; requiere una base jurídica, un mecanismo financiero y una buena coordinación entre ciudadanos y autoridades en todas las esferas. Al mismo tiempo, una buena gestión de desechos no puede hacerse sin un nivel mínimo de inversión. A fin de garantizar un sistema de gestión de desechos congruente, todas las acciones a los distintos niveles deberían seguir una misma estrategia convenida. Por consiguiente, es necesario, o por lo menos útil, debatir y decidir una estrategia nacional de gestión de desechos. El éxito en la aplicación de todo sistema de gestión de desechos, en especial en los países en desarrollo, puede requerir transferencia de las tecnologías necesarias y creación de capacidad, de conformidad con el artículo 12 del Convenio (ver también la sección III.A, subsección 3, sobre aspectos científicos y técnicos).

2.4 Algunos principios que se deben aplicar

La orientación general del Convenio de Basilea que deberá considerarse en el desarrollo de estrategias sobre desechos y desechos peligrosos (Secretaría del Convenio de Basilea, 1993) contiene estos principios:

El principio de reducción en la fuente, “en virtud del cual la generación de desechos debe reducirse al mínimo, por lo que respecta tanto a su cantidad como a su potencial contaminante. Esto puede lograrse utilizando centrales y procesos adecuadamente diseñados”;

El principio del ciclo de vida integrado, por el cual “las sustancias y productos deben concebirse y manejarse de modo que provoquen unos efectos ambientales mínimos durante su generación, utilización, recuperación y eliminación”.

Los productos desechados que puedan ser reutilizados o reciclados deberían recuperarse, en la medida de lo posible, para esta finalidad.

2.5 Enfoque propuesto en el Plan de aplicación de la CMDS

El párrafo 22 del Plan de aplicación de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible (CMDS), celebrada en 2002 en Johannesburgo, estipula lo siguiente:

“Evitar la producción de desechos o reducirla al mínimo y aumentar al máximo la reutilización, el reciclado y el empleo de materiales alternativos inocuos para el medio ambiente, con la participación de las autoridades gubernamentales y de todos los interesados, con objeto de reducir al mínimo los efectos adversos para el medio ambiente y aumentar el rendimiento de los recursos, y prestar asistencia financiera, técnica y de otra índole con ese fin a los países en desarrollo.

Este objetivo implica la adopción, en todos los planos, de medidas encaminadas a:

(a) Establecer sistemas de gestión de desechos que asignen la más alta prioridad a prevenir o reducir al mínimo la generación de desechos y a reutilizarlos y reciclarlos, así como instalaciones para la eliminación ecológicamente racional de los desechos, idear tecnologías para aprovechar la energía de los desechos, promover iniciativas para el reciclado de desechos en pequeña escala que faciliten la gestión de los desechos urbanos y rurales y ofrezcan oportunidades de generar ingresos, y obtener apoyo internacional para los países en desarrollo a este respecto;

(b) Fomentar la prevención y reducción al mínimo de la generación de desechos alentando la producción de bienes de consumo reutilizables y de productos biodegradables y estableciendo la infraestructura necesaria”.

2.6 Importancia de la educación ciudadana

Para la aplicación acertada de un plan general de gestión de desechos se precisa la participación de diversos agentes: consumidores, autoridades, y operadores de la gestión de los desechos. Todos estos interesados deben estar informados sobre la

gestión adecuada de desechos y tienen que estar convencidos de contribuir al éxito de su aplicación. Es evidente la necesidad de sensibilización a todos los niveles; por ejemplo, los consumidores deberían estar informados sobre estrategias para evitar los desechos y ventajas del reciclaje. Es preciso informar sobre los peligros para la salud que implica la quema a cielo abierto de los desechos y promover mejores alternativas para reducir y, en última instancia, detener estas prácticas de eliminación.

2.7 Importancia de la capacitación de personal

Para gestionar eficazmente los desechos es importante que los responsables de la toma de decisiones y el personal técnico reciban una capacitación adecuada (véase la sección III.C (v)).

3. Incidencia en la producción y los productos

Todos los productos industriales y artesanales terminarán en algún momento desechados. Por eso, la calidad, y en particular el tiempo de vida técnico, de los productos tiene un impacto crucial en las cantidades de desechos que se deben eliminar.

Es limitada la capacidad de las autoridades nacionales para determinar en forma absoluta la calidad general del ciclo de vida de los productos y fomentar la fabricación de productos de larga vida. Sin embargo, hay formas indirectas de influir en estos aspectos de la producción que son bastante eficientes.

En muchos países, el sistema de adquisiciones del sector público es parte importante del mercado global. Al definir normas de calidad y requisitos mínimos, el sistema de compras del sector público logra incidir en la calidad de los productos ofrecidos. A resultas de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible, varias naciones están elaborando mecanismos de adquisiciones sostenibles siguiendo las definiciones propuestas por el Equipo especial de contratación pública sostenible (*Sustainable Procurement Task Force*) establecido por el Gobierno del Reino Unido: “La contratación pública es un proceso por el que las organizaciones satisfacen sus necesidades de bienes, servicios, obra y servicios públicos de forma que se mantiene una relación calidad-precio buena y duradera en la medida en que genera beneficios para la sociedad y la economía, y al mismo tiempo reduce al mínimo los daños al medio ambiente” (*Sustainable Procurement Task Force* 2006).

En general, conviene evitar los embalajes innecesarios, promover los productos duraderos y reutilizables, y emplear materiales y diseños de productos que impidan la toxicidad y otras características peligrosas y que permitan la refabricación, recuperación del material y reciclado al final de su vida útil.

El etiquetado es otro eficaz instrumento: permite a los consumidores escoger productos en función de su desempeño ambiental, precio y calidad y, por ende, impulsa una demanda de bienes producidos en apego a estos principios de desarrollo sostenible.

3.1 Garantías de los productos

Los productos se vuelven desechos al final de su vida útil. Si, por culpa de su diseño o fabricación, el uso de un producto es limitado, su vida técnica será innecesariamente corta. Los aparatos eléctricos o los neumáticos de baja calidad pueden convertirse en desechos después de un período de uso relativamente corto, lo que incrementa la cantidad de desechos. Una posible forma de influir en la calidad consiste en definir legalmente un período mínimo de garantía para los productos.

3.2 Alentar a las empresas a utilizar sistemas de gestión ambiental

El uso de sistemas de gestión ambiental (por ejemplo los propuestos por la Organización Internacional de Normalización y el Esquema de Ecogestión y Ecoauditoría de la Unión Europea, o EMAS) ayuda a conocer mejor los procesos industriales y su incidencia en el medio ambiente. También puede ayudar a reducir la cantidad de desechos y sus propiedades peligrosas. La gestión responsable desde una perspectiva ambiental de productos y procesos puede propiciar una mayor conciencia en una empresa, mejorar su credibilidad y reputación, multiplicar sus oportunidades de desarrollo y facilitar el diálogo y las iniciativas de colaboración con los principales interesados.

3.3 Responsabilidad del fabricante

Los fabricantes y otros interesados tienen responsabilidades que pueden determinarse mediante instrumentos como el proyecto de Política de Productos Integrada de la Unión Europea y la estrategia temática para la prevención y reciclado de residuos, que se encuentra en puertas, el programa sobre Responsabilidad Extendida del Productor, de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD 2000), el concepto de gestión responsable del producto, o por otros medios. En algunos casos puede resultar conveniente obligar a los fabricantes a que retiren ciertos productos al final de su vida útil y se encarguen de que sean eliminados en condiciones ambientalmente adecuadas.

4. La reducción desde la fuente como prioridad

En general, una sociedad debería prestar particular atención a toda la gama de opciones y consideraciones en materia de gestión de desechos antes de decidir inversiones de gran escala para la construcción de un nuevo incinerador, relleno sanitario, tratamiento mecánico o biológico, u otras inversiones similares, o para modernizar una instalación existente de este tipo.

La prioridad absoluta entre las opciones de gestión de desechos es la reducción desde la fuente: reducción al mínimo de la cantidad de desechos junto con una disminución de su toxicidad y otros peligros potenciales. Se trata de una responsabilidad que compete a todos los sectores de la sociedad. El porcentaje de material de descarte que no llega a vertederos e incineradoras refleja el grado de éxito, pero siempre debe considerarse dentro del contexto del total de desechos generados.

En algunas situaciones, la decisión de construir nuevas instalaciones de tratamiento a gran escala puede minar los esfuerzos de reducción de desechos y recuperación de recursos provenientes de los mismos. Quienes invierten en nuevas instalaciones a menudo se verán presionados para asegurar un ingreso suficiente de desechos que les permita recuperar la inversión. En estos casos, las instalaciones nuevas pueden llegar a ser un impedimento y un factor disuasivo para los esfuerzos de reducción efectiva de desechos. Por consiguiente, toda consideración de nuevas instalaciones debería efectuarse en el marco de las políticas para la gestión integral de desechos.

5. Recolección

Los desechos domésticos suelen descartarse en recipientes especiales, que pueden ser botes de metal o plástico, o bolsas de plástico o papel. Los grandes edificios y bloques de departamentos tienen sistemas centralizados, con contenedores en los que los que se depositan los desechos. En los países más desarrollados es común que los desechos domésticos sean recolectados regularmente, pues los residuos de alimentos, en particular, se descomponen con rapidez. En las ciudades y zonas urbanas, los desechos son recolectados para su eliminación en vehículos especiales, que cuentan con equipo de compactación que permite aumentar la cantidad de desechos que puede transportarse, a menudo a grandes distancias, hacia rellenos sanitarios. Algunos estudios demuestran que en las grandes zonas conurbadas resulta económicamente viable transferir los desechos recolectados a vagones-contenedores para su transporte en tren hasta los rellenos; también se utilizan grandes barcas para el transporte. En algunos casos, los desechos son empacados para facilitar su manipulación mecánica.

Aunque existen sistemas muy eficaces de separación mecánica de desechos mixtos, la separación y recolección de productos reciclables desde la fuente resulta, en muchos casos, más barata y hace que los productos para reciclado estén más limpios. El riesgo que se corre cuando no hay una separación desde la fuente es, por ejemplo que el papel y el cartón se mezclen con residuos húmedos de la cocina, o que los desechos vegetales, destinados a composta o fermentados, se mezclen con los desechos peligrosos de pequeñas industrias.

6. Reciclado

En general, una gran proporción de los desechos sólidos urbanos puede reutilizarse, reciclarse o compostarse. En varios países industrializados se recicla más del 50% de los desechos sólidos urbanos. Algunas regiones alcanzan índices aún más altos de reciclado. Algunas ONG como la *Zero Waste International Alliance* (Alianza Internacional Cero Desperdicios) persiguen estas ambiciosas metas en algunos países para reducir la cantidad de desechos que se envían a rellenos sanitarios o incineradores. Cero desperdicios significa concebir y gestionar productos y procesos para reducir el volumen y la toxicidad de los desechos y materiales, conservar y recuperar todos los recursos y no quemarlos ni enterrarlos. En muchos países, como Eslovaquia (Palarikovo) y Australia

(Canberra), se han puesto en marcha programas de cero desperdicios (véase los respectivos sitios en Internet).

La eliminación racional de desechos mixtos es, en la mayoría de los casos, más costosa que la reducción desde la fuente, que implica usar productos de larga vida útil, recuperar y reciclar con eficacia. Las posibilidades de composta, reutilización y reciclado se deben examinar y desarrollar en función de la composición de los desechos, los sistemas existentes de recolección y reciclado, así como las posibilidades económicas.

A título de ejemplo, el reciclado de papel y cartón, metales y vidrio genera en muchos casos un ingreso o, por lo menos, resulta más barato que su transporte y eliminación junto con otros desechos. Asimismo, la recolección y reciclado de botellas de tereftalato de polietileno (PET) u otros envases de plástico pueden generar materia prima para la industria del reciclado de plásticos.

En muchos países en desarrollo, los recursos provenientes de desechos pueden constituir materia prima importante para actividades de recuperación o de refabricación a pequeña escala, actividades que se pueden fomentar. Al hacerlo, también hay que promover mejoras en las condiciones sanitarias y de seguridad en este sector, ya que en muchos países se trata de un sector informal.

La recolección de productos reciclables comienza con la separación desde la fuente, seguida de la recolección propiamente dicha ya sea por parte de autoridades públicas o empresas privadas. En muchos casos, el sector informal también ha creado estructuras muy eficaces para la recolección de este tipo de desechos. El uso, e incluso el fortalecimiento de las estructuras existentes, puede implicar ventajas económicas y sociales y, por tal motivo, debería tomarse en cuenta al establecer o adaptar sistemas de gestión de desechos. Son ejemplos interesantes de ello las iniciativas de reciclado y compostaje emprendidas con éxito por asociaciones de vecinos de Bombay, en la India, y El Cairo, en Egipto (Kumar 2000; Faccini 1999).

7. Eliminación final

Aun con buenos resultados en la prevención de desechos y con metas ambiciosas de reciclado, quedan desechos para eliminar. La cantidad de desechos, su composición y características peligrosas, así como la viabilidad técnica y económica para su eliminación, son factores que deben tomarse en cuenta al elegir el método de eliminación final.

Si los desechos mixtos contienen un porcentaje elevado de desechos vegetales, se deberían analizar las posibilidades de compostaje o digestión anaeróbica. En algunos casos, los desechos se componen principalmente de materia vegetal, polvo y tierra, y el compostaje de estos desechos, habiendo separado ciertas fracciones (ej., plásticos), puede resultar una opción viable. Se deberá evaluar la calidad y uso de la composta producida.

El tratamiento biológico o bio-mecánico de los desechos son buenas alternativas si los desechos mixtos contienen, además de material biodegradable, una gran proporción de plásticos, metales y otros tipos de desechos. Los procesos de tratamiento bio-mecánico consisten en la clasificación mecánica de desechos y la separación del flujo de desechos

para segregar los materiales biodegradables, destinados a procesos biológicos, de los materiales no biodegradables. El proceso mecánico puede ser programado para separar además los materiales no biodegradables en fracciones que puedan ser recicladas. También es posible recuperar partes combustibles de los desechos. Esta fracción combustible, también llamada combustible derivado de desecho, casi siempre está contaminada con metales pesados y contiene más cloro que los combustibles normales. Por ello, estos productos derivados de la gestión de desechos sólo pueden utilizarse como combustibles en instalaciones equipadas con sistemas de control de contaminación atmosférica y eliminación cuidadosa de cenizas. Los productos derivados del tratamiento biológico pueden ser utilizados como composta, si son de buena calidad, o pueden ser depositados en rellenos.

7.1 Rellenos sanitarios

En muchos países, los desechos domésticos siempre se han eliminado en rellenos sanitarios. Por los cambios significativos en la composición de los desechos (ej., más plásticos) y las cantidades cada vez mayores de desechos que requieren eliminación, se han designado terrenos como sitios de eliminación para los desechos locales.

En el relleno sanitario los desechos se depositan por capas en celdas preparadas y se compactan para reducir su volumen. Luego se les cubre, por lo menos una vez al día, con un cierto tipo de tierra para ahuyentar alimañas, moscas, aves y otros carroñeros y evitar heridas por cortes. Muchos desechos, en particular los peligrosos, deberían ser depositados sólo en rellenos exclusivos (Hay información más detallada sobre este tipo de rellenos especiales en las directrices técnicas del Convenio de Basilea (D 5)).

La fracción putrescible de desechos es sometida a procesos aeróbicos y anaeróbicos. En el relleno se producen gases, una mezcla de metano y bióxido de carbono, y se forman otros compuestos orgánicos. Muchos son solubles en agua y se disuelven en cualquier humedad que haya en el relleno, con lo que se genera una mezcla líquida conocida como lixiviado. Los lixiviados pueden ser muy contaminantes, y es necesario evitar que se mezclen con aguas subterráneas o aguas superficiales. El tratamiento de los lixiviados y la eliminación segura de los gases de relleno, o incluso su utilización, forman parte de las políticas de gestión ambientalmente racional de los desechos. De cualquier manera, es necesario evitar la migración de lixiviados pues pueden seguir produciendo gases de relleno incluso lejos del sitio.

En la mayoría de los países los rellenos sanitarios son, por mucho, el método más comúnmente empleado de eliminación de desechos. Como consecuencia de los graves problemas ambientales y de salud asociados a antiguos vertederos abandonados, y de los muy altos costos de las medidas de saneamiento de esos sitios contaminados, muchos países han introducido el concepto de relleno para fines específicos, para referirse a la eliminación de desechos en lugares escogidos por sus propiedades de confinamiento. Pueden ser sitios naturales, o ampliados o acondicionados directamente con revestimientos; lo importante es que el diseño garantice en la medida de lo posible el aislamiento de los desechos del medio ambiente. Este tipo de rellenos se consideran la última opción a la que sólo se debe recurrir una vez agotados todos los esfuerzos para controlar, reducir o eliminar los peligros que presentan estos desechos.

8. Incineración

En algunos países con elevada densidad de población y carentes de zonas adecuadas para construir rellenos, la incineración de desechos ha sido, durante los últimos 50 años, el método principal de tratamiento y eliminación de desechos no reciclables. Los desechos sólidos urbanos contienen muchos elementos combustibles, con lo se puede generar exceso de calor. Los gérmenes patógenos y elementos organoquímicos en desechos pueden ser destruidos casi por completo. Puesto que los desechos domésticos contienen una gran variedad de materiales, incluso elementos no combustibles, es necesario que los incineradores tengan una construcción sólida y sean versátiles para tratar material de alimentación muy variable en cuanto a composición y valor calorífico de los desechos. Por lo general, se trata de hornos con parrillas de cadena o parrillas de agitación y, aunque son menos frecuentes, hornos giratorios. Para los lodos de alcantarillado y desechos industriales se utiliza la combustión en lecho fluidizado. Para garantizar una alta eficacia de combustión, debe haber un estricto control del rango de temperatura al que el horno opera y quema los desechos, del tiempo en que los desechos llegan a la temperatura del horno y se mantienen en ella, así como de la turbulencia en la cámara del horno. El principio de “las tres *tes*” -temperatura, tiempo y turbulencia en presencia de suficiente oxígeno- es fundamental para una buena combustión (véase también la sección V.A sobre Incineradoras de desechos en estas directrices).

Para evitar emisiones de gases o partículas, los incineradores deben estar equipados con sistemas eficaces de limpieza de gases de combustión que, en muchos casos, funcionan con convertidores catalíticos o añadiendo carbón activado a los gases de combustión o depuradores. Si se descarga agua de los depuradores, debe ser tratada. Las cenizas volantes de los precipitadores electrostáticos y los residuos de los equipos de contaminación atmosférica casi siempre contienen cantidades considerables de sustancias del Anexo C del Convenio, por lo que estos desechos deben ser eliminados en condiciones controladas.

La necesidad de un control fidedigno de los parámetros de combustión, los requisitos de los sistemas muy tecnificados de limpieza de gases de combustión, y la inversión necesaria para la recuperación de energía (calderas, turbinas, generadores eléctricos) quizás expliquen por qué los que los incineradores tienen una tecnología muy desarrollada, eficiente y al mismo tiempo muy costosa. Existen instalaciones más pequeñas pero, para que alcancen economías de escala es preciso, en la mayoría de los casos, que lleguen cuando menos a las 100,000 toneladas de desechos por año.

Durante los últimos años se han creado nuevos métodos para la combustión de componentes no reciclables de desechos sólidos urbanos. En algunos casos, primero se trituran o muelen los desechos y luego se queman en una planta concebida para ello. Así, en una primera fase, se pueden desgasificar a temperaturas más bajas o tratar sin oxígeno, o con muy poco oxígeno (proceso conocido como pirólisis). Luego, en una segunda fase, el gas resultante es quemado -después de lavado- a temperaturas elevadas. Esta combustión a altas temperaturas permite la vitrificación de los residuos de combustión y brinda algunas posibilidades para destruir de forma controlada los desechos contaminados con las sustancias del Anexo C. En este proceso hay que vigilar que los productos que no se quemaron por completo no se liberen al medio ambiente.

■ Anexo 1:

Tratamiento de desechos en cuarentena

Los controles de cuarentena en las zonas fronterizas proporcionan a los países una protección importante contra la introducción de enfermedades, plagas, y organismos patológicos. Los productos y sustancias interceptadas en una barrera de cuarentena pueden ser muy variados, por ejemplo, desechos de barcos o aviones (incluso desechos de alimentos y papel), materias primas o procesadas, como canastas y *souvenirs*, materiales infestados de organismos (ej., gusano barrenador de la madera) o granos con semillas de maleza, material de construcción o maquinaria contaminada con tierra.

En cualquier caso, lo primero que se debe hacer es buscar el tratamiento adecuado para destruir el organismo y el material en cuestión. Tradicionalmente, el método preferido es la incineración, pero también deben considerarse las tecnologías que no se basan en la combustión, como la esterilización con vapor. Un ejemplo de reemplazo del método de incineración a altas temperaturas por el de esterilización con vapor es el del Aeropuerto Internacional de Auckland, en Nueva Zelandia, en 2005. Fue una decisión de carácter comercial, en la que participó la comunidad local. A principios de 2006, se encargó un equipo de esterilización con capacidad para tratar 22 toneladas diarias; en fecha de esta publicación, diciembre de 2006, esta unidad sigue en operación sin haber registrado dificultades.

■ Anexo 2:

Un ejemplo de gestión de desechos médicos²⁵

Desde 1996, las organizaciones no gubernamentales *Cristi* y *ToxicsLink*, de Nueva Delhi, han prestado asistencia a instalaciones sanitarias en la solución de problemas relativos a la gestión de desechos sanitarios. Según su experiencia, la cualidad fundamental necesaria en una institución de salud es la buena disposición del personal administrativo. En 1998, varios hospitales privados de Nueva Delhi comenzaron a trabajar en ello, poco después de la adopción de normativas nacionales sobre desechos hospitalarios. En estos casos, el administrador principal encabezó los cambios en los sistemas y las políticas. Hoy en día, estos hospitales tienen sistemas establecidos gracias al compromiso adoptado en 1998 y mantenido en los años posteriores. Fracasaron los hospitales cuyo personal de más rango consideraba que la gestión de desechos era una carga innecesaria para ellos y sus subalternos.

En los casos en que el programa de gestión de desechos tuvo éxito, los encargados hacían rondas periódicas para identificar y resolver problemas directamente con el personal correspondiente. El jefe del personal médico y el superintendente de enfermería también participaban activamente en los programas de gestión de desechos. En otros casos, el programa se sostenía gracias al esfuerzo de un equipo. El administrador principal daba todo su apoyo, y se constituyó un comité de gestión integral de desechos encabezado por el director adjunto. El éxito del programa se basaba en una capacitación especializada y constante para todo el personal. Se subrayó la importancia de la capacitación y se asignó el tiempo necesario para realizarla.

En vista de que aproximadamente 80% de los desechos generados en las instalaciones sanitarias eran desechos generales, no infecciosos o no peligrosos, la separación y el reciclado de desechos eran actividades importantes. Muchos hospitales instalaron autoclaves, un sistema avanzado de tratamiento con vapor conocido como hidroclave, o una unidad de microondas para tratar la mayor parte de sus desechos infecciosos. Los desechos patológicos eran enviados a crematorios. Los desechos no infecciosos eran eliminados como desechos domésticos ordinarios. El tratamiento y eliminación de elementos cortopunzantes representaban una preocupación especial, en particular por el peligro de las jeringas contaminadas. Algunos desechos cortopunzantes se enterraban en fosas especiales. En otros se trataban en autoclaves, se trituraban, y reprocesaban las partes de plástico y metal previamente separadas. La Organización Mundial de la Salud publicó un total de 13 monografías con el título *Safe Management of Bio-Medical Sharps Waste in India*. Las organizaciones no gubernamentales también promovieron sistemas de tratamiento de pequeña escala y bajo costo para pequeñas instalaciones rurales, como pequeños autoclaves a base de energía solar, y otros métodos presentados al concurso internacional de tecnologías alternativas de tratamiento para zonas rurales de la organización *Health-Care Without Harm*. (www.medwastecontest.org).

(iii) Co-beneficios de la aplicación de mejores técnicas disponibles a las sustancias del Anexo C

1. Consideraciones generales

La aplicación de mejores técnicas disponibles para las sustancias incluidas en el Anexo C del Convenio de Estocolmo a menudo trae consigo co-beneficios. Por otro lado, las medidas para proteger la salud humana y el medio ambiente de otros contaminantes también ayudarán a reducir y eliminar las sustancias del Anexo C.

Entre estos otros contaminantes están el material particulado, ciertos metales (como el mercurio), óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO_2) y compuestos orgánicos volátiles. Algunas medidas para combatirlos son los procesos de limpieza de gases de combustión, tratamiento de aguas residuales y desechos sólidos, así como las actividades de vigilancia continua y notificación.

A continuación se presentan algunos ejemplos de estos vínculos y co-beneficios. En las secciones de las presentes directrices donde se abordan categorías específicas de fuentes se proporciona más información sobre mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales.

2. Información, sensibilización y capacitación

Las actividades de información, sensibilización y capacitación relativas a los problemas ambientales y la protección de la salud pueden significar co-beneficios para la reducción de las sustancias del Anexo C y otros contaminantes.

3. Procesos de limpieza de gases de combustión

Diversos procesos de tratamiento de gases de combustión implicarán co-beneficios en la reducción de las sustancias que figuran en el Anexo C y otros contaminantes. He aquí algunos ejemplos:

3.1 Contención, recolección y ventilación

Estas medidas reducirán la exposición humana en hogares y en lugares de trabajo a material particulado total, material particulado de menos de 10 micrones (PM_{10}) y material particulado de menos de 2.5 micrones ($\text{PM}_{2.5}$). También se pueden reducir los contaminantes asociados al material particulado, como metales y compuestos de metales (ej., plomo) y los contaminantes gaseosos, como compuestos orgánicos volátiles.

3.2 Procesos de separación de polvos

Las medidas como el uso de ciclones, precipitadores electrostáticos y filtros de tela reducirán las emisiones en el medio ambiente de material particulado y contaminantes asociados con ésta.

3.3 Procesos de depuración

Estas medidas reducirán las emisiones de material particulado mediante el uso de eliminadores de neblina eficaces y pueden reducir contaminantes gaseosos como gases ácidos y mercurio. La desulfurización de gases de combustión reducirá las emisiones de SO_2 .

3.4 Procesos de sorción

Las medidas como la adsorción con carbón activado reducirán las emisiones de mercurio, compuestos orgánicos volátiles, dióxido de azufre (SO_2), cloruro de hidrógeno (HCl), fluoruro de hidrógeno (HF) y dibenzoparadioxinas policloradas y dibenzofuranos policlorados (PCDD/PCDF), según el caso.

3.5 Procesos catalíticos

Las medidas como la reacción catalítica selectiva para la reducción de NO_x también pueden reducir las emisiones gaseosas de las sustancias el Anexo C si también se produce oxidación catalítica en el sistema. La reacción catalítica selectiva también puede oxidar el mercurio elemental, que es soluble en agua y puede ser eliminado por los sistemas de desulfuración de gases de combustión. Los filtros de tela catalíticos también pueden reducir compuestos orgánicos volátiles.

4. Procesos de tratamiento de aguas residuales

El tratamiento primario de aguas residuales eliminará sólidos suspendidos. El tratamiento terciario como el carbón activado puede eliminar diversos compuestos orgánicos.

Las tortas de filtración del tratamiento de aguas residuales se consideran desechos peligrosos y deben ser eliminadas de modo ambientalmente racional (ej., en rellenos sanitarios especiales).

5. Procesos de tratamiento de residuos sólidos

Las medidas como solidificación y tratamiento térmico de residuos reducirán el contenido total de contaminantes y lixiviados de diversos contaminantes en el medio ambiente.

6. Monitoreo y registro

Es posible que las plantas tengan la obligación de monitorear, medir, estimar y registrar las liberaciones al medio ambiente. Estas medidas podrían proporcionar información a la ciudadanía sobre diversos contaminantes y generar incentivos para mejoras constantes en el desempeño ambiental de las plantas.

Las mediciones de barrido exhaustivas y periódicas de una gran variedad de contaminantes, incluidos los PCDD/PCDF, hexaclorobenceno (HCB) y bifenilos policlorados (PCB), además del monitoreo de contaminantes comunes, podrían proporcionar información útil sobre muchas fuentes potenciales de las sustancias del Anexo C y otros contaminantes.

(iv) Gestión de gases de combustión y otros residuos

1. Técnicas de tratamiento de gases de combustión (dispositivos de control de la contaminación atmosférica)

En principio, se puede lograr la reducción de emisiones de dibenzoparadioxinas policloradas (PCDD) y dibenzofuranos policlorados (PCDF) mediante los siguientes procesos de limpieza de gases de escape:

- Cámaras de post-combustión
- Sistemas de enfriamiento brusco
- Separación de polvos
- Procesos de depuración
- Procesos de sorción
- Oxidación catalítica

Los procesos de control de la contaminación atmosférica pueden ser húmedos, secos o semihúmedos, dependiendo del papel del agua en el proceso. Los dispositivos de control de la contaminación atmosférica en húmedo y, algunas veces, en semihúmedo, implican procesos adicionales para limpiar las aguas residuales generadas antes de que salgan de las instalaciones.²⁶ Los desechos sólidos derivados de procesos semihúmedos y secos (y también de procesos húmedos después del tratamiento de aguas residuales) tienen que eliminarse de modo ambientalmente racional, o recibir un tratamiento complementario antes de su eliminación o reutilización potencial.

La sección V.A, subsección 6.4, contiene más información sobre las aplicaciones para incineración de desechos.

1.1 Comparación de las técnicas de control de PCDD/PCDF

Las técnicas que han resultado más efectivas para reducir contaminantes orgánicos persistentes en los gases de combustión son las que utilizan adsorbentes y control de partículas y las que utilizan catalizadores. En la Tabla 1 se resumen las eficiencias de recolección de determinadas técnicas de control de PCDD/PCDF.

Los costos del control de PCDD/PCDF en instalaciones existentes pueden reducirse aprovechando los dispositivos de control de contaminación atmosférica:

- Mediante la inyección de coque activado se puede extender un filtro de tela o un precipitador electrostático existente a un reactor de inyección de lechada para reducir PCDD/PCDF. Los costos adicionales de la reducción de PCDD/PCDF provienen del almacenamiento, transporte, inyección y eliminación de coque activado que se utiliza como adsorbente adicional, y de la manipulación libre de riesgos del carbono y los residuos para eliminación, que pueden ser de distintos tipos.
- Los PCDD/PCDF pueden ser destruidos con un catalizador de oxidación. Para tal fin, se puede utilizar un catalizador existente empleado para la eliminación selectiva de óxidos de nitrógeno (NO_x). Puede generar costos adicionales la ampliación de la superficie del catalizador agregando una o dos capas para obtener concentraciones de PCDD/PCDF por debajo de $0.1 \text{ ng EQT-l/Nm}^3$.²⁷

Además de la eliminación o destrucción de PCDD/PCDF, también se reducirán otros contaminantes como metales pesados, aerosoles u otros contaminantes orgánicos.

■ **Tabla 1. Comparación de los sistemas de control de PCDD/PCDF**

Opción de control	Eficiencia de eliminación de PCDD/PCDF	Co-beneficios
Ciclón	Eficiencia baja	Eliminación de polvo grueso
Precipitador electrostático	Eficiencia baja	Diseñado para eliminar polvo
Filtro de manga	Eficiencia media	Diseñado para eliminar polvo
Depurador en húmedo	Eficiencia media	Diseñado para eliminar polvo o gases ácidos
Enfriamiento brusco seguido de un depurador en húmedo de gran eficiencia	Eficiencia media a alta	Reducción simultánea de polvo, aerosoles, HCl, HF, metales pesados y SO ₂
Cámara de post-combustión	Eficiencia alta	Cero residuos, pero se requiere el enfriamiento brusco de gases de combustión
Oxidación catalítica (reacción catalítica selectiva)	Eficiencia alta; destrucción de PCDD/PCDF y otros compuestos orgánicos	Cero residuos, reducción simultánea de NO _x
Filtros de manga catalíticos	Eficiencia alta	Eliminación simultánea de polvo
Adsorción seca en resinas (partículas de carbón dispersas en una matriz polimérica)	Depende de la cantidad de material instalado	Selectivo para PCDD/PCDF; el material puede incinerarse una vez utilizado
Reactor de arrastre de flujo con agregado de carbón activado o coque/cal o soluciones de piedra caliza y posteriormente filtro de tela	Eficiencia media a alta	Reducción simultánea de diversos contaminantes como PCDD/PCDF y mercurio; el material puede incinerarse una vez utilizado ^a
Reactor de lecho fluidizado fijo o circulante, adsorción con carbón activado o coque de horno de solera abierta	Eficiencia alta	Reducción simultánea de diversos contaminantes como PCDD/PCDF y mercurio; el material puede incinerarse una vez utilizado ^a

a. Como un adsorbedor de carbón también adsorberá mercurio, hay que vigilar la circulación del mercurio cuando el carbono empleado se vuelve a quemar. Será necesario volver a eliminar el mercurio.

1.2 Sistemas de enfriamiento brusco

Los sistemas de enfriamiento brusco con agua también se utilizan para reducir rápidamente la temperatura de los gases de combustión a fin de reducir los umbrales de formación de las sustancias del Anexo C del Convenio de Estocolmo. Estos sistemas y los sistemas de tratamiento de aguas residuales asociados se deben diseñar de forma

que puedan ingresar una mayor carga de partículas que, como consecuencia, irán a parar a las aguas del depurador.

1.3 Cámaras de post-combustión

Las cámaras de post-combustión son dispositivos independientes o integrados a la cámara principal de combustión que destruyen compuestos de carbono en los gases de combustión no quemados o parcialmente quemados. Según las condiciones, se puede precisar un catalizador, aire de combustión adicional o un quemador (de gas natural). Cuando proceda, la legislación debería especificar las temperaturas mínimas de destrucción para un proceso determinado. Se necesitan medidas que garanticen que las cámaras de post-combustión se utilizan adecuadamente.

1.4 Separación de polvos

Se liberan PCDD/PCDF junto con los gases de combustión en la fase gaseosa o ligados a partículas. La fracción de polvo fino puede enriquecerse en particular por su superficie específica alta. Como los precipitadores electrostáticos no siempre logran separar la fracción de polvo fino, los filtros de tela bien diseñados suelen ser más efectivos para reducir las emisiones de PCDD/PCDF. La adición de sorbentes puede mejorar la eficacia de eliminación (Hübner *et al.* 2000).

1.4.1 Ciclones y multiciclones

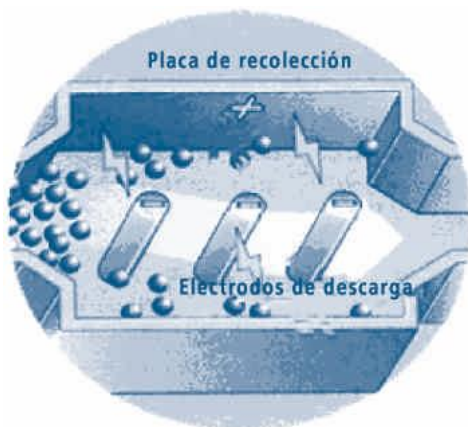
Los ciclones y multiciclones (compuestos por varios ciclones pequeños) extraen material particulado de la corriente de gas por medio de la fuerza centrífuga. Los ciclones son mucho menos eficaces que otros dispositivos, como los precipitadores electrostáticos o filtros de tela, para el control de liberaciones de material particulado, y no se utilizan solos en las aplicaciones avanzadas de limpieza de gases de combustión.

1.4.2 Precipitadores electrostáticos

Los precipitadores electrostáticos (en Europa, a estos sistemas se les llama filtros electrostáticos) suelen utilizarse para recolectar y controlar material particulado en gases de combustión mediante la aplicación de un campo eléctrico potente en la corriente de los gases (Figura 2), con lo que se cargan las partículas atrapadas en los gases de combustión.

Una serie de placas de recolección reciben carga opuesta para atraer y recolectar las partículas. La eficiencia de la recolección depende de la resistividad eléctrica de las partículas atrapadas. Los precipitadores electrostáticos eliminan con eficacia la mayor parte del material particulado, incluso las sustancias del Anexo C adsorbidas a partículas.

■ Figura 2. Principio del precipitador electrostático



Fuente: European Commission 2005

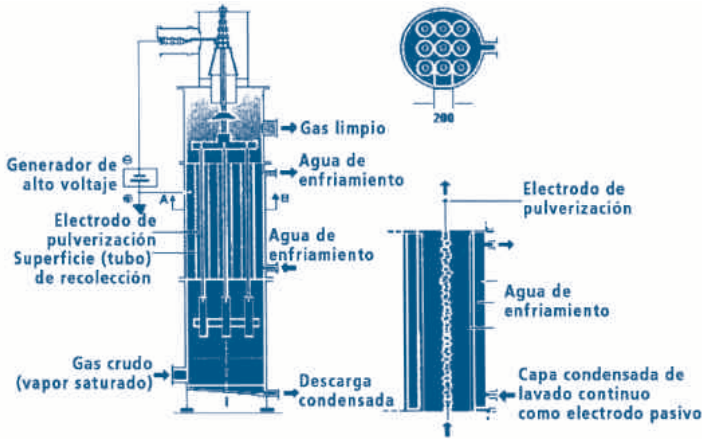
Dentro del precipitador electrostático se pueden formar sustancias del Anexo C a temperaturas entre 200 °C y 450 °C. A la entrada del precipitador las temperaturas aumentan de 200 °C a 300 °C y se ha observado que las concentraciones de PCDD/PCDF aumentan con la temperatura. A medida que la temperatura supera los 300 °C, los índices de formación disminuyen.

Las temperaturas a las que suele operar un precipitador electrostático son de 160-260 °C. Por lo regular, se evita operar a temperaturas más elevadas (es decir, por encima de los 250 °C) ya que pueden aumentar los riesgos de formación de PCDD/PCDF.

Los precipitadores electrostáticos húmedos utilizan líquidos, por lo regular agua, para eliminar los contaminantes de las placas de recolección. Estos sistemas funcionan mejor cuando los gases entrantes son más fríos o húmedos.

Los precipitadores electrostáticos de condensación utilizan tubos de plástico dispuestos en haces, refrigerados exteriormente con agua, que recolectan líquidos o sólidos finos facilitando la condensación con un dispositivo de enfriamiento brusco (Figura 3).

■ Figura 3. Precipitador electrostático por condensación

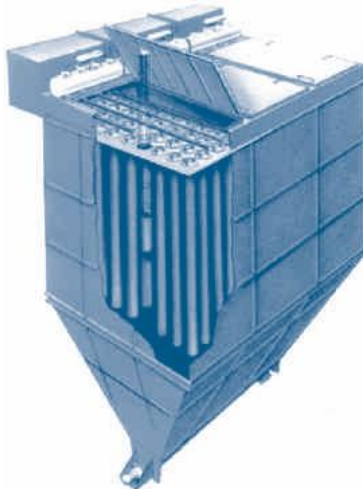


Fuente: European Commission 2005

1.4.3 Filtros de tela

Los filtros de tela también se conocen como filtros de manga o cámara de filtros (Figura 4). Estos sistemas de control de material particulado son muy efectivos para eliminar las sustancias del Anexo C que pueden encontrarse asociadas a partículas y vapores que se adsorben a las partículas de la corriente de gases de escape.

■ Figura 4. Esquema de un filtro de tela



Fuente: European Commission 2005

Los filtros suelen ser bolsas de 16 a 20 cm de diámetro y 10 m de longitud, hechas de material de fibra de vidrio tejida o politetrafluoroetileno (PTFE), y dispuestas en serie (ver Tabla 2). Un ventilador de inducción empuja los gases de combustión a través de la tupida tela, que proporciona un lecho donde se forma una torta de filtración. La porosidad del tejido y la torta de filtración resultante permiten que las bolsas actúen como medio de filtración y retengan una gran variedad de partículas de incluso menos de 1 m de diámetro (aunque a 1 m la eficiencia de la captura empieza a disminuir).²⁸ Los filtros de tela pueden estropearse o corroerse con el agua y, para evitar estos efectos, las corrientes de gas deben mantenerse por arriba del punto de condensación (130 °C - 140 °C). Algunos materiales para filtro son más resistentes. Los filtros de tela son sensibles a ácidos; por eso, suelen utilizarse en combinación con sistemas de adsorción de secado por atomización para la eliminación gases ácidos en etapas previas. El secado por atomización también sirve para enfriar los gases de entrada. Si no son enfriados, se pueden formar las sustancias del Anexo C en los filtros de tela, como ocurre con los precipitadores electrostáticos. La Tabla 3 presenta una comparación de los sistemas de eliminación de polvo.

■ Tabla 2. Características de los materiales de los filtros de tela

Material	Temperatura máxima (°C)	Resistencia		
		Ácido	Álcali	Flexibilidad física
Algodón	80	Deficiente	Buena	Muy buena
Polipropileno	95	Excelente	Excelente	Muy buena
Lana	100	Regular	Deficiente	Muy buena
Poliéster	135	Buena	Buena	Muy buena
Nylon	205	Deficiente a regular	Excelente	Excelente
PTFE	235	Excelente	Excelente	Regular
Poliamida	260	Buena	Buena	Muy buena
Fibra de vidrio	260	Regular a buena	Regular a buena	Regular

Fuente: European Commission 2005

■ **Tabla 3. Comparación de sistemas de eliminación de polvo**

Sistema de eliminación de polvo	Concentraciones típicas de emisiones de polvo	Ventajas	Desventajas
Ciclón y multiciclón	Ciclones: 200-300 mg/m ³ Multiciclones: 100-150 mg/m ³	Potente, relativamente sencillo y fiable Utilizado en incineración de desechos	Sólo para pre-desempolvado Consumo de energía relativamente alto (en comparación con el precipitador electrostático)
Precipitador electrostático, en seco	<5-25 mg/m ³	Necesita relativamente poca energía Puede utilizar temperaturas de gases de 150 °C - 350 °C pero, de hecho, limitadas a 200 °C por los PCDD/PCDF (ver columna derecha)	Formación de PCDD/ PCDF a temperaturas de 200 °C - 450 °C
Precipitador electrostático, húmedo	<5-20 mg/m ³	Pueden alcanzar concentraciones bajas de contaminantes	Utilizado sobre todo para post-desempolvado Generación de aguas residuales en el proceso Aumento de la visibilidad del penacho emitido
Filtro de manga	<5 mg/m ³	La capa de residuos actúa como filtro adicional y como reactor de adsorción	Consumo de energía relativamente elevado (en comparación con el precipitador electrostático) Sensible a la condensación de agua y a la corrosión

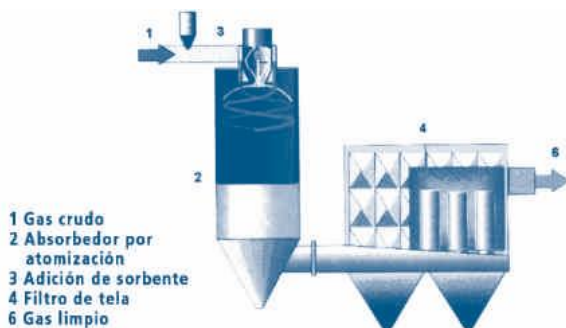
Fuente: European Commission 2005

1.5 Procesos de depuración

1.5.1 Depuración con secado por atomización

La depuración con secado por atomización, también llamada adsorción-secado-atomización o depuración semihúmeda, elimina tanto gases ácidos como material particulado de los gases de post-combustión. En un secador por atomización convencional típico, los gases calientes de combustión entran a una cuba del reactor depurador (Figura 5).

■ Figura 5. Adsorción/depuración con secado por atomización



Fuente: European Commission 2005

Se inyecta una lechada de cal hidratada y atomizada (agua y cal) al reactor a una velocidad controlada. La lechada se mezcla rápidamente con los gases de combustión dentro del reactor. El agua de la lechada se evapora rápidamente y el calor de evaporación provoca un rápido descenso de la temperatura de los gases de combustión. La capacidad neutralizadora de la cal hidratada puede reducir hasta un 90% los componentes ácidos en los gases de combustión (ej., HCl y SO₂). Sin embargo, en plantas de incineración de desechos, los sistemas de depuración con secado por atomización logran incluso un control de 93% de SO₂ y 98% de HCl. El producto resultante, un compuesto de material particulado y cal hidratada, se asienta en el fondo de la cuba del reactor o es capturado por un dispositivo de captura de partículas posterior (precipitador electrostático o filtro de tela).

La tecnología de secado por atomización se combina con filtros de tela o precipitadores electrostáticos. Además de reducir gases ácidos y material particulado, y de controlar los metales volátiles, el secado por atomización reduce las temperaturas de entrada que a su vez ayudan a reducir la formación de las sustancias del Anexo C. Las posibilidades de formación y liberación de PCDD/PCDF se reducen considerablemente enfriando bruscamente los gases de combustión a un rango de temperatura desfavorable para su formación y gracias a una mayor eficacia de recolección del material particulado resultante.

Los residuos sólidos del secado por atomización suelen contener una mezcla de sulfatos, sulfitos, cenizas volantes y adsorbentes no reaccionados y deben ser depositados en rellenos sanitarios.

1.5.2 Depuradores en húmedo

Los depuradores húmedos implican una serie de procesos destinados a eliminar gases ácidos y polvo. Entre las opciones de tecnologías se encuentran los depuradores de chorro, de rotación, de tipo Venturi, por atomización, de torre seca y de torre empacada (European Commission 2005). Los depuradores en húmedo ayudan a reducir la formación y liberación de las sustancias del Anexo C tanto en forma de vapor como de partícula. En un depurador de dos fases, la primera consiste en eliminar el cloruro de hidrógeno (HCl) con la introducción de agua; la segunda consiste en eliminar dióxido de azufre (SO₂) agregando cal cáustica o cal hidratada. En el proceso de depuración húmeda se puede producir yeso, que reduce la cantidad de desechos destinados a relleno sanitario.

En el caso del depurador de torre empacada, el empaque con polipropileno con incrustaciones de carbono se puede utilizar específicamente para eliminar PCDD/PCDF.

De las técnicas antes expuestas en las que la eficacia de eliminación depende del pH del agua del depurador, los depuradores en húmedo son los más eficaces para la eliminación de gases ácidos solubles. Las partículas sólidas en el agua del depurador también pueden entrar en contacto con los PCDD/PCDF en la corriente de gas móvil, y ello incide en el nivel de fiabilidad de la relación entre resultados obtenidos en vigilancias periódicas de gases de escape y la eficiencia de destrucción de contaminantes de la planta.

Los efectos memoria se deben principalmente a la acumulación de diversos congéneres de PCDD/PCDF en materiales plásticos utilizados en los depuradores en húmedo. El efecto puede durar varias horas o ser de largo plazo. En sí, se prefiere eliminar los PCDD/PCDF antes de la depuración en húmedo, a fin de reducir los efectos memoria. Se debería realizar una evaluación de la acumulación de PCDD/PCDF en el depurador para luego adoptar las medidas adecuadas para resolver dicha acumulación y evitar la irrupción de los contaminantes fuera del depurador. Se debe prestar especial atención a la posibilidad de que se produzcan efectos memoria durante los períodos de apagado y encendido.

1.5.3 Absorbedor de polvo fino

Los absorbedores de polvo fino están equipados con muchos chorros neumáticos de doble componente (agua y aire comprimido). Estos adsorbedores de gran eficiencia pueden separar el polvo fino cubierto con PCDD/PCDF por dispersión muy fina, similar a una atomización, de la solución de adsorción y gracias a la gran velocidad de las gotículas de agua. Además, el enfriamiento de los gases de escape y el subenfriamiento en el absorbedor de polvo provocan la condensación y mejoran la adsorción de compuestos volátiles a las partículas de polvo. La solución de adsorción es tratada por procesamiento de aguas residuales. Al agregar adsorbentes se puede lograr una mayor reducción de PCDD/PCDF. Con depuradores sencillos para la separación de gases de escape ácidos no se puede lograr una eliminación apreciable de PCDD/PCDF. Los valores de emisión alcanzables de los absorbedores de gran eficiencia son del rango de 0.2-0.4 ng EQT-1/Nm³, lo que equivale a una eficiencia de separación de aproximadamente 95%

(Hübner *et al.* 2000). Los desechos derivados de este proceso se depositan por lo regular en rellenos sanitarios especiales.

1.6 Procesos de sorción

1.6.1 Filtros de lecho fijo

En el proceso con lecho fijo, los gases de escape prelavados pasan a temperaturas de 110°C - 150°C a través de un material adsorbente a base de carbón activado. Es preciso prever la alimentación del adsorbente nuevo, el reactor de lecho fijo y un sistema para tratar el adsorbente gastado. El lecho de coque activado separa los polvos, aerosoles y contaminantes gaseosos residuales. Se desplaza a través de la corriente y a contracorriente para evitar bloquear el lecho con el polvo residual, por ejemplo.

En general, el coque cubierto con PCDD/PCDF se elimina mediante combustión (interna), en la que se destruye la mayor parte de los contaminantes orgánicos. Los contaminantes inorgánicos son liberados en las escorias o se separan en el nuevo lavado intensivo de los gases de combustión. Con el proceso de lecho fijo se obtienen reducciones de PCDD/PCDF de 99.9%. Se considera que las tecnologías que cumplen con una norma de desempeño de 0.1 ng EQT-I/Nm³ son las más avanzadas (Hübner *et al.* 2000; Hartenstein 2003).

1.6.2 Procesos de inyección de flujo

Para mejorar la eficiencia de separación de los filtros de tela, se inyectan en la corriente de gases de escape adsorbentes con gran capacidad de captación de PCDD/PCDF. En general, se utilizan como adsorbentes el carbón activado o coque de horno de tipo solera junto con hidrato de cal. La separación se realiza en el filtro de tela que se encuentra al final del proceso, donde se separan los adsorbentes y polvo y se forma una capa de filtro. Debe asegurarse la eliminación apropiada del polvo del filtro, que contiene PCDD/PCDF. Las temperaturas habituales de operación son de 135°C a 200°C.

Por lo general, el coque cubierto con PCDD/PCDF se elimina por combustión (interna). La combustión (interna) destruye gran parte de los contaminantes orgánicos. Los contaminantes inorgánicos son liberados en las escorias o se separan en el nuevo lavado intensivo de los gases de combustión.

El proceso de inyección de flujo tiene una eficacia de filtración de 99%. La eficacia de eliminación de PCDD/PCDF depende de la calidad de la inyección de adsorbente, la efectividad del sistema de mezclado de gases de combustión y adsorbente, el tipo de filtro de partículas y el funcionamiento del sistema. Otro parámetro esencial es la velocidad del flujo de masa del adsorbente inyectado. Para lograr la máxima efectividad con esta tecnología debe emplearse un filtro de manga. Se considera que las tecnologías que cumplen con la norma de desempeño de 0.1 ng EQT-I/Nm³ son las más avanzadas (Hübner *et al.* 2000; Hartenstein 2003).

1.6.3 Reactor de arrastre de flujo

En este proceso se emplean los mismos adsorbentes que en el de inyección de adsorbentes pero en este caso el adsorbente suele aplicarse mezclado con cal hidratada

u otros materiales inertes como piedra caliza, cal viva o bicarbonato de sodio. Antes del reactor de arrastre de flujo para la depuración los gases de combustión, se necesita un sistema convencional de limpieza de gases de combustión para eliminar el grueso de cenizas volantes y los gases ácidos. Debe preverse la alimentación de adsorbente nuevo, filtro de tela, sistema de recirculación y sistema para tratar el adsorbente usado. Las temperaturas habituales de operación son 110°C a 150°C. Se considera que las tecnologías que cumplen con la norma de desempeño de 0.1 ng EQT-I/Nm³ son las más avanzadas (Hübner *et al.* 2000; Hartenstein 2003).

1.6.4 Adsorción en seco (en resinas)

Existe una nueva tecnología para la limpieza de gases de combustión que combina la adsorción y la absorción de PCDD/PCDF en estructuras de plástico que contienen partículas dispersas de carbón. En este nuevo material, los PCDD/PCDF primero se adsorben en la matriz polimérica y luego se difunden a la superficie de las partículas de carbono, donde son absorbidos de forma irreversible. El AdioxTM se encuentra más comúnmente aplicado en los empaques de torres de los sistemas de limpieza de gases. Hasta ahora, se han instalado más de 30 líneas de incineración completas con flujos de gas entre los 5,000 y 100,000 Nm³/h en sistemas de limpieza de gases de combustión en húmedo. La eficiencia de eliminación depende de la cantidad de material instalado. Esta tecnología puede emplearse como sistema principal de limpieza de PCDD/PCDF o bien para aumentar los márgenes de seguridad o reducir el efecto de memoria en los depuradores en húmedo. Si el Adiox se utiliza en los adsorbedores secos, la eficiencia de eliminación por cantidad instalada es mayor (Andersson 2005).

1.7 Oxidación catalítica de PCDD/PCDF

1.7.1 Reacciones catalíticas selectivas

Los procesos de oxidación catalíticos, que suelen aplicarse a la reducción de emisiones de óxido de nitrógeno, también se emplean en la destrucción de PCDD/PCDF. Por eso debe realizarse un desempolvamiento efectivo (ej., valores de emisión de material particulado de menos de 5 mg/m³) a fin de lograr emisiones generales bajas de las sustancias del Anexo C. Si el objetivo es eliminar únicamente PCDD/PCDF (ej., con el proceso DeDiox), no se requiere la inyección de amoníaco. En este caso, las temperaturas de operación se sitúan en un rango de 130°C a 350°C.

Este proceso tiene como principales ventajas la facilidad de operación y la nula generación de residuos, aparte de una porción muy pequeña de catalizador gastado. Por lo tanto, la oxidación catalítica no causa problemas de eliminación.

La reacción de descomposición de Cl₄DD es:



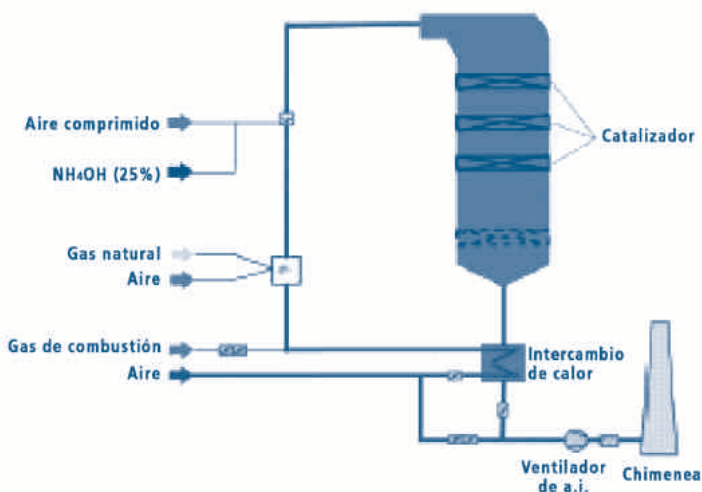
En general, las instalaciones operan en circuitos de gas limpio, es decir, que los polvos y metales pesados se separan antes del catalizador para evitar el desgaste acelerado y la desactivación de catalizadores por envenenamiento.

Con la oxidación catalítica sólo se captura la fracción de PCDD/PCDF en fase gaseosa. Sin embargo, se pueden lograr reducciones de emisiones de 95% a 99%. El índice de

reducción de PCDD/PCDF depende del volumen del catalizador instalado, la temperatura de reacción y la velocidad espacial de los gases de combustión a través del catalizador. Algunas pruebas de PCDD/PCDF arrojaron valores de emisión inferiores a $0.01 \text{ ng EQT-I/Nm}^3$ (en seco, 11% O_2).

Para la eliminación combinada de PCDD/PCDF y NO_x con el proceso de reacción catalítica selectiva, se inyecta una mezcla de aire y amoníaco en la corriente de gases de combustión y se hace pasar a través de un catalizador-tamiz (Figura 6). El amoníaco y NO_x reaccionan para formar agua y N_2 (European Commission 2005; Hübner *et al.* 2000; Hartenstein 2003).

■ **Figura 6. Reactor de reducción catalítica selectiva de alta temperatura para eliminar simultáneamente NO_x y PCDD/PCDF**



Fuente: Hartenstein 2003

1.7.2 Filtros de manga catalíticos

Los filtros de manga catalíticos con membrana de PTFE permiten que las concentraciones de polvo en gases de combustión limpios sean de aproximadamente $1\text{--}2 \text{ mg/Nm}^3$. Se utilizan actualmente en la incineración de desechos, crematorios, plantas metalúrgicas y plantas de cemento. En la reducción de emisiones de PCDD/PCDF se emplean bolsas de filtro impregnadas con catalizador, o que contienen un catalizador pulverizado mezclado directamente con las fibras del material. Este tipo de bolsas de filtro se suele utilizar sin agregar carbón activado, de tal manera que los PCDD/PCDF se puedan destruir en el catalizador en lugar de ser absorbidos por el carbón y descargados como residuos sólidos. Los filtros de manga operan a temperaturas entre 180°C y 250°C .

Un sistema de filtro catalizador agrega incorpora fibra microporosa de PTFE a las partículas de catalizador insertadas en la estructura de la fibra. En este proceso, las

partículas de PTFE se mezclan con el catalizador y se procesan para producir fibras. Una membrana microporosa de ePTFE se lamina sobre las fibras microporosas del catalizador/ePTFE para producir el medio de filtración. Este material se cose luego en forma de bolsa de filtro, y se puede instalar en una cámara de filtros. Su empleo en crematorios en Alemania y Japón arrojó emisiones inferiores a 0.1 ng EQT-I/Nm³ (Xu *et al.* 2003).

2. Tratamiento de los residuos del tratamiento de gases de combustión

El tratamiento de gases de combustión para eliminar contaminantes (descrito anteriormente) genera algunos residuos que deben ser eliminados o tratados una vez más antes de ser eliminados definitivamente, o incluso reutilizados. Las opciones de eliminación final o reutilización de residuos dependerán del tipo y grado de contaminación, así como de la matriz de desechos (fracción inerte). Los residuos del tratamiento de gases de combustión pueden ser sólidos (ej., polvo de cámaras de filtros o de precipitadores electrostáticos), aguas residuales o lodos con cantidades variables de sólidos disueltos y suspendidos (ej., de precipitadores electrostáticos y otros depuradores en húmedo) o materiales adsorbentes usados (ej., resinas saturadas). Estos residuos pueden contener, además de los materiales inertes, metales tóxicos, como arsénico, plomo, cadmio, mercurio y otros, así como PCDD/PCDF.²⁹ Estos residuos pueden ser tratados de varias maneras, como las que se presentan a continuación. Entre las prácticas existentes de tratamiento y eliminación de residuos derivados del tratamiento y eliminación de gases de combustión se encuentran la reutilización en el proceso en el que se generaron, eliminación en rellenos sanitarios, estabilización y eliminación ulterior, vitrificación, incorporación a materiales de construcción de carreteras, eliminación o valorización en minas de sal o de carbón, y tratamiento catalítico o térmico.

De conformidad con el Anexo I del Convenio de Basilea sobre el Control de Movimientos Transfronterizos de Desechos Peligrosos y su Eliminación, los desechos que contienen PCDD o PCDF, entre ellos las cenizas volantes, se consideran desechos peligrosos.

2.1 Gestión de los residuos del tratamiento de gases de combustión³⁰

Uno de los principales residuos derivado del tratamiento de gases de combustión (o del control de la contaminación atmosférica) son las cenizas volantes. La eliminación de cenizas volantes de gases de combustión por medio de depuradores en seco, ciclones o filtros de tela generará material particulado sólido, fino y seco con diversas propiedades y contaminantes, según la fuente de combustión que las produjo. El control de la contaminación ambiental de muchos tipos de fuentes de combustión, incluidos los incineradores de desechos urbanos y desechos peligrosos, hornos eléctricos de arco para la producción de acero y hornos de cemento, puede generar este tipo de material particulado seco y fino cuando se recurre a controles en seco. Estos residuos de partículas secas contienen distintos niveles de metales (según el material de alimentación) y también pueden contener algunos PCDD/PCDF y otros hidrocarburos aromáticos policíclicos adsorbidos en ellos, según las condiciones de combustión.

Las liberaciones de contaminantes en el medio ambiente de estos materiales secos pueden seguir diversas rutas, como lixiviación hacia aguas subterráneas, polvo transportado por el viento, absorción en los cultivos o ingesta directa de seres humanos o animales silvestres (potencialmente, incluso, animales de granja). Todas las actividades de gestión de estos materiales deben tomar en cuenta estas liberaciones potenciales, en función de cada residuo particular. Para estos residuos secos existen diversas opciones de gestión, que pueden ser tanto de reutilización con fines de ganancia como de tratamiento o eliminación, según sean las propiedades de la fracción inerte y el tipo y nivel de contaminación con metales y compuestos orgánicos.

2.1.1 Reutilización de residuos

Hay pocas posibilidades de reutilización de residuos sólidos o secos.

Por sus propiedades puzolánicas las cenizas volantes de carbón se reutilizan principalmente en la construcción de carreteras o edificios. Se pueden utilizar en la producción de cemento y hormigón.

Las cenizas volantes nunca deben utilizarse para el mejoramiento del suelo en prácticas agrícolas o prácticas similares. Su adición al suelo puede provocar la dispersión tanto de las mismas cenizas como de cualquier otro contaminante. En usos agrícolas, las plantas pueden absorber los contaminantes y, con esto, los seres humanos o los animales que las consumen podrían quedar expuestos. Al picotear o pastar, los animales pueden ingerir directamente estos contaminantes y exponer así a los seres humanos cuando consumen estos animales o sus productos (ej., leche y huevo).

2.1.2 Estabilización y solidificación

Una de las opciones para tratar y eliminar los residuos sólidos derivados del control de gases de combustión es la solidificación o estabilización con cemento Portland (u otros materiales puzolánicos), por sí solo o con aditivos o diversos tratamientos térmicos, seguidas de una eliminación adecuada (según las liberaciones previstas de los residuos tratados). Es posible que algunos residuos con bajos niveles de contaminación no requieran tratamiento antes de su eliminación en rellenos sanitarios; la decisión se basará en una evaluación de su potencial de liberación de contaminantes.

El propósito principal de la solidificación es producir un material con propiedades físicas y mecánicas que propicien una reducción de la liberación de contaminantes de la matriz de residuos. Si se agrega cemento, por ejemplo, se puede reducir la conductividad hidráulica y porosidad del residuo, y al mismo tiempo incrementar su durabilidad, fuerza y volumen.

Los métodos de solidificación suelen emplear varios agregantes, principalmente inorgánicos: cemento, cal y otros materiales puzolánicos como las cenizas volantes de carbón, cenizas residuales de altos hornos o polvo de hornos de cemento, aunque también pueden emplearse algunos aglomerantes orgánicos como bitumen/asfalto o parafina y polietileno. También se usan combinaciones de aglomerantes y diversos tipos de aditivos patentados y no patentados. La estabilización con cemento es, por mucho, la técnica de solidificación más utilizada.

El propósito principal de la estabilización química es aglomerar los metales pesados en formas más insolubles que las que presentan en los residuos originales no tratados. Estos métodos de estabilización usan tanto la precipitación de los metales en nuevos minerales, la aglomeración de los metales con minerales por sorción. Este proceso consiste en la solubilización de los metales pesados en los residuos y la posterior precipitación, o sorción, en minerales nuevos.

Varios de los métodos de estabilización incluyen una etapa inicial de lavado en la que una parte importante de sales solubles y, hasta cierto punto, metales, son extraídos antes de la aglomeración química de los metales restantes. Estos métodos concluyen con la desecación del producto estabilizado.

Las opciones de tratamiento que emplean procesos de extracción y separación pueden, en principio, abarcar todos los tipos de procesos para extraer componentes específicos de los residuos. Sin embargo, toda la atención se ha concentrado en los procesos que implican la extracción de metales pesados y sales con ácido.

Si bien suelen emplearse para controlar la liberación de metales contaminantes, los métodos de estabilización y solidificación para el tratamiento de residuos pueden controlar sólo de manera parcial los PCDD/PCDF y otros hidrocarburos aromáticos policíclicos (aunque estos compuestos son muy hidrofóbicos y por lo regular no se lixivian rápidamente o lo hacen en concentraciones muy elevadas). La adición de adsorbentes (como arcillas o carbón activado), que luego se incorporan a la matriz de desechos tratada, puede mejorar el control de estos compuestos orgánicos. Se deberían realizar pruebas de lixiviación en laboratorios u otras evaluaciones para determinar la efectividad de cada una de estas técnicas de tratamiento.

2.2 Tratamiento térmico de residuos del tratamiento de gases de combustión

Los procesos de tratamiento térmico pueden dividirse en tres categorías: vitrificación, fusión y sinterización. Las diferencias entre estos procesos tienen que ver sobre todo con las características y propiedades del producto final.

- La **vitrificación** es un proceso por el que los residuos se tratan a altas temperaturas (actualmente de 1,300°C y 1,500°C) y luego se enfrían bruscamente (con aire o agua) a fin de obtener una matriz vítrea amorfa. Un vez enfriada, la sustancia derretida forma un producto de una sola fase que se conoce como vitrificado. El vitrificado puede ser un producto de apariencia vítrea o pétreo, según la composición del fundido. A veces (no habitualmente) se agregan aditivos a los residuos para favorecer la formación de la matriz vítrea.
- La **fusión** es similar a la vitrificación pero el procedimiento de enfriamiento brusco se controla para que el material fundido pueda cristalizarse lo más posible. El resultado es un producto multifásico. Las temperaturas y las posibles separaciones de fases metálicas específicas son similares a las del vitrificado. También se pueden agregar aditivos específicos para favorecer la cristalización de la matriz.

- La **sinterización** consiste en calentar los residuos hasta un punto en que se pegan las partículas unas con otras y se reconfiguran las fases químicas en los residuos. Esto genera un producto más denso, menos poroso y más resistente. Las temperaturas habituales se sitúan en torno a los 900 °C. Cuando se incineran los desechos sólidos urbanos se produce normalmente cierto nivel de sinterización en el horno, sobre todo si se utiliza un horno rotatorio en el proceso de incineración.

Independientemente del proceso que se emplee, el tratamiento térmico de residuos produce en la mayoría de los casos un producto más homogéneo y denso, con mejores propiedades de lixiviación. Las exigencias energéticas de este tipo de tratamientos que se aplican por sí solos suelen ser muy altas.

Estos procesos suelen emplearse para inmovilizar metales o contaminantes radiológicos, y disminuyen considerablemente el potencial de lixiviación de muchos contaminantes que pueden encontrarse en los residuos sólidos derivados del tratamiento de gases de combustión. Nuevamente, las pruebas de lixiviación pueden ayudar a evaluar la efectividad de estos tratamientos. Tratándose de procesos a alta temperatura, puede que se destruya cualquier PCDD/PCDF o hidrocarburo aromático policíclico adsorbido en los sólidos secos originales como parte del proceso de tratamiento. Sin embargo, al ser procesos a altas temperaturas, se deben monitorear las emisiones al aire del propio tratamiento, pues pueden convertirse a su vez en residuos del control de la contaminación atmosférica, que entonces tendrán que ser tratados en condiciones ambientalmente racionales.

2.3 Tratamiento de resinas utilizadas en la adsorción en seco

El uso de resinas secas especiales para eliminar contaminantes de los gases de combustión como PCDD/PCDF antes de liberarlos en el aire también genera un residuo de resina, sea en forma de cartuchos usados, sea como material suelto. Si las resinas van a ser regeneradas, por desorción térmica o por otros medios, el proceso de regeneración producirá a su vez residuos o liberaciones en el aire que deben ser controlados y gestionados. Si las resinas usadas se eliminan después de un único uso (o si se trata de resinas regeneradas que ya no son útiles), una evaluación del nivel y tipo de contaminantes que contienen ayudará a determinar si pueden ser depositadas en rellenos sin tratamiento, o bien si requieren algún tratamiento antes de su eliminación. Para ciertas resinas, también se puede recurrir a la incineración o algún otro tratamiento que destruya tanto la resina como los contaminantes adsorbidos.

2.4 Tratamiento de aguas residuales

Muchos procesos producen efluentes de aguas residuales que, sin tratamiento, no deberían ser liberados en el medio ambiente. Los sistemas de tratamiento de gases de combustión se asemejan a los procesos químicos en la medida en que todos pueden requerir tratamiento de aguas residuales.

También se pueden aplicar diversos procesos en húmedo para eliminar contaminantes de corrientes de gases de combustión y así prevenir su liberación en el aire. Las aguas residuales resultantes contendrán cierta cantidad de materiales disueltos y suspendidos.

Como sucede con muchos procesos químicos, el primer paso en el manejo de estos residuos del tratamiento de gases de combustión, sobre todo en aquéllos en los que los metales son la principal preocupación, suele consistir en separar las porciones líquida y sólida. Se suelen separar en estanques o tanques de decantación, aunque, en el caso de los estanques, por estar en contacto con el suelo, habrá que revestirlos para evitar la lixiviación de contaminantes a las aguas superficiales. Se puede extraer más humedad de la fracción sólida, secarla y luego tratarla como un material sólido, como ya se ha explicado. La porción de agua puede requerir una eliminación más a fondo de contaminantes para cumplir con los requisitos de descarga a las zonas de recarga de aguas superficiales o subterráneas. Como tratamiento se podría añadir productos químicos para precipitar sales metálicas o emplear materiales adsorbentes para eliminar residuos orgánicos. Entonces, estos residuos del tratamiento de aguas residuales también requerirían un tratamiento y eliminación adecuados.

Los residuos del tratamiento de gases de combustión generados por procesos en húmedo también pueden contener material orgánico, entre ellos PCDD/PCDF u otros hidrocarburos aromáticos policíclicos. El tratamiento biológico en estanques o depósitos pueden reducir la concentración de éstos y otros componentes orgánicos que puedan presentarse en los residuos del tratamiento de gases de combustión.

La mayoría de las aguas residuales no ofrecen la posibilidad de ser reutilizadas. Sin embargo, el tratamiento de gases de combustión para eliminar azufre, utilizando cal apagada o hidratada, constituye una de estas escasas posibilidades. Cuando se emplea la oxidización total en este tratamiento, el residuo sólido en las aguas residuales es un sulfato de calcio de gran calidad, o yeso. Este yeso puede ser desecado y utilizado para fabricar paneles de tablaroca para la construcción, a veces a un precio mucho más bajo que el de los paneles hechos con yeso natural.

(v) Capacitación de los responsables de la toma de decisiones y el personal técnico

En el preámbulo del Convenio de Estocolmo se reconoce la importancia de la asistencia técnica, en particular la capacitación, necesaria para reforzar las capacidades nacionales de los países en desarrollo (en especial los menos desarrollados) y países con economías en transición. De igual modo, el artículo 12 estipula que “las Partes reconocen que la prestación de asistencia técnica oportuna y adecuada en respuesta a las solicitudes de las Partes que son países en desarrollo y las Partes que son países con economías en transición es esencial para la aplicación de efectiva del presente Convenio”.

A este respecto, la asistencia técnica para creación de capacidad, en particular la capacitación en metodologías, prácticas y herramientas ambientales disponibles, en función de las necesidades particulares de cada Parte, debe proporcionar una mejor comprensión de los procedimientos para realizar, de manera sostenida, prácticas operativas diarias y mantenimiento preventivo de las mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales que se introduzcan como elementos del plan de acción nacional de sus respectivos planes. Es de vital importancia que la asistencia técnica para la creación de capacidad, en particular la capacitación, se brinde tanto en los niveles

directivos como en los técnicos u operativos, en las organizaciones públicas y del sector privado que participen en la aplicación de las directrices sobre mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales. Teniendo en cuenta la complejidad de muchas mejores técnicas disponibles y la perspectiva integral y preventiva requerida para la introducción de mejores prácticas ambientales, en la creación de capacidad se debe considerar de manera prioritaria la gestión del ciclo de vida, además de las cuestiones pertinentes sobre salud y seguridad, con un enfoque basado en la prevención y reducción de los riesgos.

(vi) Pruebas de laboratorio, monitoreo y registro

1. Pruebas de laboratorio y monitoreo

La vigilancia de las liberaciones de las sustancias incluidas en el Anexo C del Convenio de Estocolmo es crucial para el logro de los objetivos del Convenio. Sin embargo, muchos países en desarrollo y países con economías en transición no tienen la capacidad necesaria en cuanto a costos, experiencia técnica y laboratorios y, en algunos casos, los beneficios de las plantas pueden ser insuficientes para cubrir todos los costos que implica el monitoreo. Por consiguiente, es necesario establecer y fortalecer la capacidad y experiencia técnica regional, subregional y nacional, en particular en los laboratorios. Mejorar esta capacidad también puede propiciar el monitoreo de fuentes existentes a intervalos determinados.

Las propuestas de instalaciones nuevas o propuestas para realizar modificaciones importantes a las instalaciones existentes deberían, como parte de las mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales, incluir planes para la evaluación del cumplimiento de los valores establecidos para las liberaciones de las sustancias del Anexo C provenientes de gases de chimeneas y otras fuentes que se mencionan en las presentes directrices. Por consiguiente, como parte de sus operaciones permanentes, estas instalaciones deberían demostrar, mediante monitoreo a intervalos específicos, y cuando proceda, que los niveles de desempeño se siguen respetando.^{31 32}

1.1 Muestreo y análisis de PCDD/PCDF y PCB similares a las dioxinas

Existen métodos validados y normalizados de muestreo y análisis de dibenzoparadioxinas policloradas (PCDD) y dibenzofuranos policlorados (PCDF) pero todavía no para todas las sustancias incluidas en el Anexo C (Tabla 4). Es preciso crear y validar métodos de muestreo y vigilancia de bifenilos policlorados (PCB) y hexaclorobenceno (HCB). Hay métodos de muestreo de gases de chimenea que prevén períodos de muestreo de 4 a 8 horas, así como métodos de muestreo casi continuo. La mayoría de los regímenes reglamentarios para PCDD/PCDF, si no todos, se basan en equivalentes tóxicos (EQT).³³

A la fecha, el muestreo de emisiones de PCDD/PCDF se realiza principalmente con alguno de los métodos que figuran en la Tabla 4.

■ **Tabla 4: Métodos de muestreo y análisis de PCDD/PCDF y PCB en gases de chimenea**

Método	Sustancias analizadas	Principio analítico	Referencia
EN 1948	PCDD/PCDF	HRGC/HRMS	Comité Europeo de Normalización
Método 23 de la US EPA	PCDD/PCDF	HRGC/HRMS	Organismo de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA)
Método VDI 3499	PCDD/PCDF	HRGC/HRMS	Asociación Alemana de Ingenieros (VDI)
Métodos EPS 1/RM/2 y EPS 1/RM/3 de Canadá	PCDD/PCDF, PCB	HRGC/HRMS	Ministerio de Medio Ambiente de Canadá (Environment Canada)
Norma Industrial de Japón K 0311	PCDD/PCDF, PCB similares a las dioxinas	HRGC/HRMS	Comité de Normas Industriales de Japón

El análisis de PCDD/PCDF se realiza mediante espectrometría de masas de alta resolución. En cada fase del análisis se requieren procedimientos de control de calidad y de recuperación de concentraciones adicionadas asociadas al muestreo y la extracción. El Método 23 de la EPA, de los Estados Unidos, especifica que todas las recuperaciones deberían ser de 70% a 130%. En su Método de Referencia EPS 1/RM/2, Canadá ofrece orientación detallada sobre garantía de la calidad para el análisis de muestras que contienen dioxinas y furanos en diversas matrices.

Se ha elaborado la Norma Europea EN 1948 para la separación, detección y cuantificación de PCDD/PCDF y PCB similares a dioxinas en muestras de emisiones de fuentes fijas, con concentraciones aproximadas de 0.1 ng EQT/Nm³. En las partes 1-3 se explica el muestreo, extracción y limpieza, e identificación y cuantificación de PCDD/PCDF (adoptada en 1996; versión revisada adoptada en 2006). En la parte 4 se presenta la norma para PCB similares a las dioxinas (adoptada en 2007).

Los límites de detección más bajos medidos durante la prueba de validación de la EN 1948 en un incinerador de desechos sólidos urbanos fueron de 0.0001 a 0.0088 ng/Nm³ para cada uno de los 17 congéneres tóxicos de PCDD/PCDF (CEN 1996c. Ver también CEN 1996a, 1996b).

En el Anexo B de la nueva versión de la EN 1948-3, de febrero de 2004 (actualización CEN 1996c), la incerteza para el procedimiento completo se calcula de 30% a 35%, y la variabilidad externa se estima en ± 0.05 ng EQT-I/m³, con una concentración media de 0.035 ng EQT-I/Nm³.

Tomando en cuenta los factores de equivalencia de toxicidad para congéneres específicos, los límites de detección general resultantes varían entre 0.001 y 0.004 ng

EQT-I/Nm³. Cabe asumir que las concentraciones inferiores a 0.001 ng EQT-I/m³ deberían ser consideradas como inferiores al límite de detección.

En un estudio realizado por el ministerio de medio ambiente canadiense se evaluó la variabilidad del muestreo y análisis de 53 conjuntos de datos de emisiones de PCDD/PCDF de 36 instalaciones de combustión. El límite de cuantificación para emisiones de PCDD/PCDF se estimó en 0.032 ng EQT-I/m³, aunque podría variar según el volumen de muestreo, las sustancias interferentes, y otros factores.

Cabe esperar que haya interferencias de compuestos que tienen propiedades químicas y físicas similares a las de los PCDD/PCDF (CEN 1996c).

1.2 Límite de detección y límite de cuantificación

El “límite de detección” (LD) es la cantidad más pequeña o concentración de analito en la muestra de prueba que puede distinguirse con fiabilidad, y con significancia declarada, del fondo o nivel de blanco.

El “límite de cuantificación” (LC) de un procedimiento analítico es la cantidad más baja o concentración de analito en una muestra que puede determinarse cuantitativamente con un nivel de precisión y fiabilidad aceptables. El límite de cuantificación debería determinarse si es necesario especificar un límite de medición más bajo por debajo del cual no se alcanzan una precisión y fiabilidad aceptables. Utilizando el método, háganse varias determinaciones independientes, de preferencia >20, empleando una muestra cuyo analito se sabe que equivale a 2 o 5 veces el límite de detección estimada. El límite de cuantificación es la concentración a la que se obtiene un nivel aceptable de desempeño, en términos de porcentaje de RSD (desviación relativa estándar). Suele suceder que el límite de cuantificación corresponda al nivel de concentración estándar más bajo en el rango de calibración.

En el contexto de los valores límites de reglamentación, o para registrar las concentraciones medidas, no existe una regla general sobre cómo tratar los resultados inferiores al LC. Muy a menudo, en las normativas o leyes se define la forma en que deben registrarse los resultados. Para efectuar el registro, deberán tomarse en cuenta las siguientes definiciones:

- Límite inferior: Los picos no cuantificables se fijan en cero
- Límite superior: El LC completo se incluye en la presentación de resultados

Se deberían establecer criterios para definir concentraciones inferiores y superiores límite, así como el valor de registro y, por lo tanto, el LC debería ser de por lo menos 1/5 del límite reglamentario o nivel de interés o concentración de referencia.

1.3 Condiciones de referencia de gases

La Tabla 5 presenta las conversiones de condiciones de referencia utilizadas en Canadá, los Estados Unidos de Norteamérica y la Unión Europea.

■ **Tabla 5: Conversiones de condiciones de referencia**

Unidad	País/Región	Temperatura (°C)	Presión (atm)	Condiciones de los gases
Nm³ (Metro cúbico normal)	Unión Europea (UE)	0	1	Secos; 11% de oxígeno para incineradores de desechos urbanos y co-combustión de desechos; 10% de oxígeno para plantas de cemento; sin requisitos de nivel de oxígeno para todas las demás plantas (es decir, las concentraciones se registran según el contenido real de oxígeno y no son homologadas a ningún contenido fijo de O ₂)
Rm³ (Metro cúbico de referencia)	Canadá	25	1	Secos; 11% de oxígeno para incineradores y calderas de fábricas de pulpa y papel costeras, niveles de oxígeno de operación para plantas de sinterización y hornos eléctricos de arco para producción de acero.
Sm³ (o mcss) (Metro cúbico seco estándar)	Estados Unidos (EE.UU.)	20	1	Secos; 7% de oxígeno o 12% de dióxido de carbono para incineradores y casi todas las fuentes de combustión.

0.1 ng EQT/Nm³ (UE) = 0.131 ng EQT/Sm³ (EE.UU.) = 0.092 ng EQT/Rm³ (Canadá)

1.4 Métodos de bioensayo

En Japón se han aprobado cuatro métodos de bioensayo -tres métodos de gen indicador y un método de inmunoensayo de enzima- para medir las dioxinas en la emisión de gases, polvo y cenizas provenientes de incineradores de desechos. Los métodos constituyen una alternativa más económica que la espectrometría de masa/cromatografía de gases de alta resolución y han sido aprobados para la medición de emisiones de incineradores con una capacidad inferior a 2 toneladas/hora (normas de emisión para nuevas instalaciones: 5 ng EQT-OMS/Nm³) y polvo y cenizas de todos los incineradores de desechos (norma de tratamiento de 3 ng EQT-OMS/g).

■ **Tabla 6: Métodos de bioensayo para mediciones de residuos y gases de escape en pequeñas incineradoras de desechos**

Método	Principio de análisis	Referencia
Ensayo CALUX	Ensayo de gen indicador	Xenobiotic Detection Systems International
Sistema de Gen Indicador Humano P450	Ensayo de gen indicador	Columbia Analytical Services
Ensayo AhR luciferasa	Ensayo de gen indicador	Sumitomo Chemical Co., Ltd

También se necesitan directrices para programas de monitoreo adecuados. A este respecto, el Programas de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, 2004) ha preparado una orientación general para jerarquizar las mediciones y reducir el número de mediciones para las evaluaciones de impacto. La Comisión Europea ha elaborado un documento de referencia sobre los principios generales de monitoreo, y algunas empresas y asociaciones empresariales han acordado requisitos al respecto. Una legislación y normatividad modelo también facilitarán el establecimiento y aplicación de programas para monitorear las liberaciones de las sustancias del Anexo C, incluidos los métodos como el de monitoreo con ensayos biológicos.

2. Registro

El registro de liberaciones y otros datos pertinentes es un elemento esencial en el cumplimiento de las obligaciones de las Partes en virtud de los artículos 9 (Intercambio de información), 10 (Información, sensibilización y formación del público) y 11 (Investigación, desarrollo y vigilancia) del Convenio de Estocolmo. Las Partes que deseen emplear mejores prácticas ambientales para las fuentes del Anexo C deberían aplicar las medidas descritas en estos artículos, que comprenden:

- Mecanismos como registros de emisión y transferencia de contaminantes para recopilar registros y divulgar información química específica y exhaustiva sobre la producción y liberación de las sustancias incluidas en los Anexos A, B o C, así como sobre sus fuentes
- Participación pública en la reglamentación de fuentes de sustancias químicas del Anexo C
- Acceso público a datos de vigilancia recolectados de fuentes que figuran en el Anexo C (tomando en cuenta el párrafo 5 del artículo 9)
- Hacer accesible al público en forma oportuna y regular los resultados de sus investigaciones y actividades de desarrollo y vigilancia (artículo 11, párrafo 2 (e))

Dar a conocer información completa y pertinente puede fomentar y propiciar la participación pública.

Referencias

Andersson S. 2005. "PCDD/F Removal from Gases Using a Dry Adiox Absorber." *Organohalogen Compd.* 67:2226-2229.

Association of German Engineers (VDI). 2003-2004. Emission measurement - Determination of polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDDs) and dibenzofurans (PCDFs) - Dilution method; Example of application of DIN EN 1948 for the concentration range 0,1 ng I-TEQ/m<(hoch)3> and supplement to DIN EN 194.

Basel Convention Secretariat. 2007. *Updated General Technical Guidelines for the Environmentally Sound Management of Wastes Consisting of, Containing or Contaminated with Persistent Organic Pollutants (POPs)*. Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal, UNEP, Ginebra.

CEN (European Committee for Standardization). 1996a. "EN 1948-1: Sampling." Part 1 of *Stationary Source Emissions: Determination of the Mass Concentration of PCDDs/PCDFs*. CEN, Brussels, Belgium.

CEN (European Committee for Standardization). 1996b. "EN 1948-2: Extraction and Clean-up." Part 2 of *Stationary Source Emissions: Determination of the Mass Concentration of PCDDs/PCDFs*. CEN, Brussels, Belgium.

CEN (European Committee for Standardization). 1996c. "EN 1948-3: Identification and Quantification." Part 3 of *Stationary Source Emissions: Determination of the Mass Concentration of PCDDs/PCDFs*. CEN, Brussels, Belgium.

Environment Canada, Standard Reference Methods for Source Testing: Measurement of Releases of Selected Semi-volatile Organic Compounds from Stationary Sources, Department of the Environment Report EPS 1/RM/2 1989

Environment Canada, A Method for the Analysis of Polychlorinated Dibenzo-Para-Dioxins (PCDD), Polychlorinated Dibenzofurans (PCDF) and Polychlorinated Biphenyls (PCB) in Samples from the Incineration of PCB Waste, Department of the Environment, Report EPS 1/RM/3, junio de 1989

European Commission. 2005. *Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration*. BAT Reference Document (BREF), Final Draft, July 2005. European IPPC Bureau, Seville, Spain. eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm.

Hartenstein H.U. 2003. "Dioxin and Furan Reduction Technologies for Combustion and Industrial Thermal Process Facilities." In: *The Handbook of Environmental Chemistry* Vol. 3, Part O: *Persistent Organic Pollutants* (ed. H. Fiedler). Springer-Verlag, Berlin and Heidelberg.

Hübner C., Boos R., Bohlmann J., Burtcher K. and Wiesenberger H. 2000. *State-of-the-Art Measures for Dioxin Reduction in Austria*. Viena.
www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/M116.pdf

UNEP (2004): Guidance for a Global Monitoring Programme for Persistent Organic Pollutants, 1a. edición, junio de 2004. <http://www.chem.unep.ch/gmn/GuidanceGPM.pdf>

Xu Z., Wedman E., Bucher R., Petzoldt O., Sasamoto T. and Wilkin M. 2003. "Removal and Destruction of PCDD/F from Crematories by REMEDIA TM Catalytic Filter System." *Organohalogen Compd.* 63:216-219.

- ¹¹ World Commission on Environment and Development. 1987. www.un.org/documents/ga/res/42/ares42-187.htm.
- ¹² UNEP (United Nations Environment Programme). 1994. Oslo Symposium: Sustainable Consumption. Oslo, Noruega, Enero de 1994. www.iisd.org/susprod/principles.htm.
- ¹³ UNEP (United Nations Environment Programme). 2002. Environmental Impact Assessment Training Resource Manual. Página 558. www.iaia.org/Non_Members/EIA/ManualContents/Vol1_EIA_Manual.pdf.
- ¹⁴ UN DESA (United Nations Department of Economic and Social Affairs) 2002 Plan of Implementation of the World Summit on Sustainable Development, pag 50. http://www.un.org/esa/sustdev/documents/WSSD_POI_PD/English/WSSD_PlanImpl.pdf
- ¹⁵ UNEP (United Nations Environment Programme). 1992. Rio Declaration on Environment and Development. Principle 15. Rio de Janeiro, Brasil, 1992. www.unep.org/Documents/Default.asp?DocumentID=78&ArticleID=1163.
- ¹⁶ Preámbulo del Convenio de Estocolmo y Principio 16 de la Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo.
- ¹⁷ Environment Canada. 1995. Pollution Prevention - A Federal Strategy for Action. www.ec.gc.ca/cppic/aboutp2/en/glossary.cfm.
- ¹⁸ European Commission. 1996. Integrated Pollution Prevention and Control Directive. 96/61/EC. europa.eu.int/smartapi/cgi/sga_doc?smartapi!celexapi!prod!CELEXnumdoc&lg=EN&numdoc=31996L0061&model=guichet.
- ¹⁹ UNEPTIE. www.uneptie.org/pc/cp/understanding_cp/home.htm.
- ²⁰ European Environment Agency. glossary.eea.eu.int/EEAGlossary.
- ²¹ UNEPTIE. www.uneptie.org/pc/sustain/reports/lcini/lc-initiative-barcelona-workshop.pdf.
- ²² Environment Canada. 1999. Canadian Environmental Protection Act, 1999. Section 65. www.ec.gc.ca/CEPARRegistry/the_act/.
- ²³ Aarhus Convention on Access to Information, Public Participation in Decision Making and Access to Justice in Environmental Matters, United Nations Economic Commission for Europe, www.unece.org/env/pp
- ²⁴ Los PCDD/PCDF también pueden ser considerados como contaminantes en materias primas o desechos y, por consiguiente, pueden figurar en procesos en los que no se da formación de PCDD/PCDF.
- ²⁵ Información recopilada de Srishti (Nueva Delhi, India): <http://www.toxicslink.org/ovrvw-prog.php?progrum=1> y *Safe Management of Bio-Medical Sharps Waste in India*, SEA-EH-548, World Health Organization South-East Asia Regional Office, 2005.
- ²⁶ Los controles de combustión y otros factores que inciden en la formación y liberación de las sustancias del Anexo C del Convenio de Estocolmo antes de la formación de gases de combustión se describen en los respectivos apartados por sector de la orientación general (secciones V y VI).
- ²⁷ 1 ng (nanogramo) = 1×10^{-12} kilogramo (1×10^{-9} gramo); Nm³ = metro cúbico normal, volumen de gas seco medido a 0 °C y 101.3 kPa. Para más información sobre registro de resultados de PCDD/PCDF, véase la sección I..C, subsección 3, de las presentes directrices.
- ²⁸ 1 m (micrometro) = 1×10^{-6} metro.

- ²⁹ Para orientación complementaria sobre gestión de residuos según su concentración de contaminantes orgánicos persistentes (incluso cuando el contenido de contaminante orgánico persistente es bajo, según el artículo 6.1 d) ii) del Convenio de Estocolmo), véase Basel Convention Secretariat 2005.
- ³⁰ Los incisos del párrafo 2 han sido extraídos de European Commission 2005, capítulo 2.7.3.
- ³¹ La determinación de la concentración de masa de las sustancias del anexo C en liberaciones de una fuente dada debería basarse en métodos normalizados de muestreo, análisis y evaluación del cumplimiento reconocidos a nivel nacional o internacional.
- ³² Actualmente, en la mayoría de los casos sólo existen valores establecidos para los PCDD/PCDF.
- ³³ Para determinar las concentraciones del FET, se cuantifica cada uno de los 17 congéneres de PCDD/PCDF que son objeto de mayor preocupación a causa de su toxicidad por medio de cromatógrafo de gases capilar de alta resolución/ espectrómetro de masas.

Sección IV

**Resúmenes de las categorías de fuentes que figuran
en las secciones V y VI**

Preámbulo

Esta sección contiene una compilación de todos los resúmenes de las categorías de fuentes que se presentan en las secciones V y VI del proyecto de directrices sobre mejores técnicas disponibles y orientación provisional sobre mejores prácticas ambientales conforme a lo dispuesto en el artículo 5 y en el Anexo C del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes.

Todos los resúmenes contienen, conforme proceda, la siguiente información:

- Una breve descripción de la fuente, su finalidad y procesos que implica
- El potencial de la fuente para generar las sustancias que figuran en el Anexo C del Convenio de Estocolmo, a saber: dibenzoparadioxinas policloradas (PCDD), dibenzofuranos policlorados (PCDF, bifenilos policlorados (PCB), y hexaclorobenceno (HCB)
- Mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales para disminuir las emisiones de las sustancias del Anexo C
- Medidas primarias y secundarias que pueden ayudar a reducir las emisiones
- Alternativas, de haberlas, que sean preferibles a los procesos y prácticas actuales
- Niveles de desempeño asociados a las mejores técnicas disponibles

Resúmenes de la sección V: categorías de fuentes incluidas en la parte II del Anexo C

A. Incineradoras de desechos

(i) Desechos sólidos urbanos, desechos peligrosos y lodos de alcantarillado

Resumen

En el Convenio de Estocolmo se señala a las incineradoras de desechos como industrias con un potencial de formación y liberación con un potencial relativamente alto de sustancias que figuran en el Anexo C.

Los objetivos previstos de la incineración son la reducción del volumen de los desechos, recuperación de energía, destrucción o, al menos, disminución, de componentes peligrosos, desinfección y recuperación de algunos residuos.

Al considerar propuestas para construir nuevas incineradoras de desechos, debería darse prioridad a alternativas como las actividades para disminuir la generación de desechos, en particular la recuperación y reutilización de recursos, reciclaje, separación de desechos y promoción de productos que generen menos desechos. También debería

darse prioridad a los métodos que prevengan la formación y liberación de contaminantes orgánicos persistentes.

Para lograr un diseño y funcionamiento de incineradoras de desechos ambientalmente racional se requiere a la vez el uso de mejores técnicas disponibles y de mejores prácticas ambientales (que son, hasta cierto punto, coincidentes), que permitan evitar o disminuir la formación y liberación de las sustancias que figuran en el Anexo C.

Las mejores prácticas ambientales para incineración de desechos comprenden procedimientos *ex situ* (como la gestión integral de desechos y el estudio de las repercusiones ambientales del emplazamiento) y procedimientos *in situ* (como la inspección de desechos, manipulación de desechos, funcionamiento de incineradores y prácticas de gestión y manipulación de residuos adecuadas).

Las mejores técnicas disponibles para la incineración de desechos son la selección apropiada del sitio, ingreso y control de desechos, técnicas de combustión, tratamiento de gases de combustión, residuos sólidos y efluentes.

Para obtener los mejores resultados para la protección integral del medio ambiente es esencial coordinar el proceso de incineración de desechos con las etapas anteriores (ej., técnicas de gestión de desechos) y las etapas posteriores (ej., eliminación de residuos sólidos derivados de la incineración de desechos).

Las liberaciones de las sustancias del Anexo C provenientes de las incineradoras de desechos sólidos urbanos concebidas y operadas según las mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales se generan principalmente por cenizas volantes, cenizas de fondo y tortas de filtro del tratamiento de aguas residuales. Por ello es de suma importancia prever el depósito de estos tipos de desechos en condiciones de seguridad, con un pretratamiento y eliminación final en rellenos sanitarios exclusivos, preparados y operados según las mejores técnicas disponibles.

Con una combinación apropiada de medidas principales y secundarias, se asocian a las mejores técnicas disponibles niveles de desempeño no superiores a 0.1 ng EQT-I Nm³ (con 11% de O₂) para PCDD/PCDF, en emisiones atmosféricas. Se ha observado además que, en condiciones normales de funcionamiento, se pueden obtener emisiones inferiores a este nivel en una planta incineradora de desechos bien concebida.

Las mejores técnicas disponibles para descargas de aguas residuales provenientes de plantas de tratamiento de efluentes, que reciben efluentes del tratamiento de depuración de gases de combustión, se asocian con niveles de concentración de PCDD/PCDF muy por debajo de 0.1 ng EQT-I/l.

(ii) Desechos médicos

Resumen

La incineración de desechos médicos (desechos sanitarios infecciosos, desechos biológicos y objetos cortantes) se efectúa en plantas incineradoras de desechos exclusivas a fin de evitar al máximo los riesgos químicos, biológicos y físicos, y reducir el volumen de desechos como etapa de tratamiento previo a la expedición a rellenos sanitarios ambientalmente racionales.

Si los desechos médicos se incineran en condiciones que no constituyen mejores técnicas disponibles o mejores prácticas ambientales, las concentraciones de PCDD y PCDF emitidas pueden ser relativamente altas. En el caso de pequeñas incineradoras de desechos médicos, suele ser difícil aplicar mejores técnicas disponibles por lo elevado de los costos asociados a la construcción, funcionamiento, mantenimiento y vigilancia de estas instalaciones.

Las alternativas posibles a la incineración son la esterilización (vapor, sistemas mejorados, calor seco), el tratamiento por microondas, la hidrólisis alcalina, el tratamiento biológico o, en ciertos casos, el vertido en rellenos sanitarios. El paso más importante en la gestión de desechos médicos consiste en separar los distintos tipos de desechos desde su origen. En vista de que de 75% a 90% de los desechos de hospitales son comparables a los desechos sólidos urbanos, la separación disminuye enormemente la cantidad de desechos médicos. Es esencial una gestión eficaz de los desechos, en particular la reducción y separación de los desechos desde su origen.

El tratamiento adecuado de cenizas de fondo y residuos generados por la depuración de gases de combustión es primordial para disminuir las liberaciones de PCDD/PCDF al medio ambiente. El uso de mejores técnicas disponibles en las incineradoras reducirá asimismo las emisiones de ácido clorhídrico y metales (en particular, mercurio) y, de hecho, también reducirá las posteriores emisiones de los residuos depositados en vertederos sanitarios.

En cuanto a la incineración, tan solo las medidas primarias reducirán ya significativamente la emisión de las sustancias del Anexo C del Convenio de Estocolmo. Sin embargo, la aplicación de las mejores prácticas disponibles requiere medidas primarias y también secundarias.

Con una combinación apropiada de medidas primarias y secundarias, se asocian a mejores técnicas disponibles los niveles de desempeño de un máximo de 0.1 ng EQT-I/Nm³ (con 11% O₂) para PCDD/PCDF, en emisiones atmosféricas. Se observa además que en condiciones normales de funcionamiento se pueden obtener emisiones inferiores a este nivel en una planta incineradora de desechos bien diseñada.

Las mejores técnicas disponibles para descargas de aguas residuales provenientes de plantas de tratamiento de efluentes, que reciben efluentes del tratamiento de depuración de gases de combustión, se asocian a niveles de concentración de PCDD/PCDF muy por debajo de 0.1 ng EQT-I/l.

B. Hornos de cemento que queman desechos peligrosos

Resumen

La finalidad principal de los hornos de cemento es la producción de clinker. Con la combustión de desechos en hornos de cemento se busca recuperar energía y sustituir combustibles fósiles o minerales. En algunos casos se eliminan desechos peligrosos en estas plantas.

El proceso de fabricación comprende la descomposición de carbonato de calcio (CaCO_3) a 900°C aproximadamente para obtener óxido de calcio (CaO , cal) (calcinación), seguida de un proceso de clinkerización a unos 1450°C , en horno rotatorio. A continuación, se muele el clinker junto con yeso y otros aditivos para producir cemento. Según las condiciones físicas y químicas, los principales procesos de fabricación de cemento se conocen como proceso seco, húmedo, semiseco y semihúmedo.

El proceso de combustión en el horno tiene el potencial de producir y luego liberar sustancias que figuran en el Anexo C del Convenio de Estocolmo. Además, se pueden producir liberaciones en los lugares de almacenamiento.

Un buen diseño de las condiciones del proceso, así como la aplicación de medidas primordiales adecuadas, debería permitir que los hornos de cemento que incineran desechos peligrosos funcionen de manera tal que la formación y liberación de sustancias del Anexo C ser lo bastante reducidas para lograr concentraciones de PCDD y PCDF en gases de combustión de $<0.1 \text{ ng EQT-I/Nm}^3$ (10% de contenido de oxígeno), dependiendo de factores como el uso de combustibles limpios, alimentación de desechos, temperatura y eliminación de polvo. Cuando sea necesario, deberían aplicarse medidas secundarias adicionales para reducir las emisiones.

Se cuenta con muchos datos sobre las emisiones atmosféricas de PCDD/PCDF.

Se han registrado liberaciones de PCDD/PCDF provenientes del polvo de hornos de cemento y, posiblemente, del clinker, que se siguen investigando. Los datos sobre liberaciones de PCB y HCB todavía son escasos.

Los niveles de desempeño que se asocian a mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales para el control de PCDD/PCDF en gases de combustión son $<0.1 \text{ ng EQT-I/Nm}^3$ en condiciones de referencia de 273 K, 101.3 kPa, 10% de O_2 y gas seco.

C. Producción de pasta de papel utilizando cloro elemental o productos químicos que producen cloro elemental

Resumen

Los procesos principales de la fabricación de productos de papel y pasta de papel son el manejo y la preparación de materias primas, almacenamiento (y la conservación de materiales no madereros), descortezado de madera, astillado y limpieza de residuos agrícolas, eliminación de nudos, elaboración de pasta, procesamiento y blanqueo de la pasta, si es necesario y, finalmente, la fabricación de papel o cartón.

Se ha determinado que, de las sustancias que figuran en el Anexo C del Convenio de Estocolmo, sólo se generan PCDD y PCDF durante la producción de pasta de papel a base de cloro elemental. De los 17 congéneres de PCDD/PCDF con cloro en las posiciones 2,3,7 y 8, sólo dos congéneres, a saber 2,3,7,8-TCDD y 2,3,7,8-TCDF, se han identificado como posiblemente producidos durante el blanqueo químico de pasta de papel a base de cloro. La mayor parte de la formación de 2,3,7,8-TCDD y 2,3,7,8-TCDF

ocurre en la etapa C del blanqueo por la reacción del cloro con precursores de TCDD y TCDF. No se forman HCB ni PCB durante el blanqueo de la pasta de papel.

En resumen, pueden tomarse las siguientes medidas primarias para disminuir o eliminar la formación de 2,3,7,8-TCDD y 2,3,7,8-TCDF durante los procesos de blanqueo de materiales madereros y no madereros: eliminar el cloro elemental reemplazándolo por dióxido de cloro (blanqueo libre de cloro elemental) o, en algunos casos, por procesos totalmente libres de cloro, reducir la utilización de cloro elemental disminuyendo el múltiplo de cloro o aumentando la sustitución de dióxido de cloro por cloro molecular, disminuir los precursores como dibenzoparadioxinas y dibenzofuranos que ingresan en la planta de blanqueo usando aditivos libres de precursores y un lavado intensivo, aumentar la eliminación de nudos, y eliminar la elaboración de pulpa con materiales contaminados con fenoles policlorados.

D. Procesos térmicos de la industria metalúrgica

(i) Producción secundaria de cobre

Resumen

La fundición secundaria de cobre consiste en la producción de cobre a partir de fuentes como chatarra de cobre, sedimentos, chatarra de computadores y aparatos electrónicos, y escorias de refinерías. Los procesos que implica la producción de cobre son el pretratamiento del material, fundición, aleación y vaciado. La presencia de metales catalizadores (y el cobre es uno de los más efectivos), los materiales orgánicos que pueden encontrarse en los aceites, plásticos y revestimientos alimentados, la combustión incompleta del combustible y las temperaturas entre 250°C y 500°C son factores que pueden generar las sustancias que figuran en el Anexo C del Convenio de Estocolmo.

Son mejores técnicas disponibles la clasificación previa, limpieza de los materiales de alimentación, mantener las temperaturas por encima de 850°C, utilización de cámaras de postcombustión con enfriamiento brusco, adsorción por carbón activado y despolvamiento mediante filtros de tela.

Los niveles de desempeño que se asocian a mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales de PCDD/PCDF en materia de emisiones atmosféricas para plantas de fundición secundaria de cobre son <0.5 ng EQT-I/Nm³ (con concentraciones operacionales de oxígeno).

(ii) Plantas de sinterización en la industria del hierro y el acero

Resumen

Las plantas de sinterización en la industria siderúrgica son un paso de pretratamiento en la producción de hierro en el que se aglomeran por combustión partículas finas de minerales de hierro y, en algunas plantas, desechos de óxido de hierro secundario (polvo capturado, cascarilla de laminación). La sinterización consiste en el calentamiento de mineral de hierro fino con fundente y finos de coque o carbón para producir una masa

semifundida que se solidifica en piezas porosas de sinterizado con las características de tamaño y fuerza necesarias para servir de alimento de alto horno.

Las sustancias que figuran en el Anexo C parecen formarse en el proceso de sinterización del hierro principalmente por síntesis *de novo*. Por lo general, son los PCDF los que predominan en los gases residuales de las plantas de sinterización. Al parecer, el mecanismo de formación de PCDD/PCDF comienza en las zonas superiores del lecho de sinterizado poco después del encendido, y luego las dioxinas, furanos y otros compuestos se condensan en la carga subyacente, que es más fría, a medida que la capa de sinter avanza por la banda hacia el punto de penetración por quemado.

Entre las medidas primarias determinadas para prevenir o disminuir la formación de PCDD/PCDF durante la sinterización de hierro se encuentran el funcionamiento estable y uniforme de la planta de sinterización, vigilancia continua de parámetros, recirculación de gases residuales, disminución de los materiales de alimentación que contienen contaminantes orgánicos persistentes o contaminantes que ayudan a su formación, y preparación del material de alimentación.

Las medidas secundarias determinadas para controlar o reducir las liberaciones de PCDD/PCDF de la sinterización de hierro son adsorción/absorción (por ejemplo, inyección de carbón activado), supresión de la formación por medio de adición de urea, despolvamiento de alta eficiencia, limpieza minuciosa de los gases residuales mediante depuradores húmedos en combinación con tratamiento efectivo de las aguas residuales del depurador, y eliminación de fangos residuales en rellenos sanitarios seguros.

Los niveles de desempeño que se asocian a mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales en materia de emisiones atmosféricas de PCDD/PCDF, para una planta de sinterización de hierro son $<0.2 \text{ ng EQT-I/Nm}^3$ (con concentraciones operativas de oxígeno).

(iii) Producción secundaria de aluminio

Resumen

La fundición secundaria de aluminio consiste en la producción de aluminio a partir de productos de aluminio usados o de desechos de procesos, para recuperar los metales mediante pretratamiento, fundición y refinación.

Se utilizan combustibles, fundentes y aleaciones, mientras que el magnesio se elimina agregando cloro, cloruro de aluminio o sustancias orgánicas cloradas. Las sustancias que figuran en el Anexo C del Convenio de Estocolmo se generan probablemente a partir de sustancias añadidas para eliminar el magnesio, por combustión incompleta, sustancias orgánicas en el alimento, compuestos clorados, y por formación en el sistema a temperaturas entre 250 °C y 500 °C.

Como mejores técnicas disponibles están los hornos avanzados de alta temperatura, alimentación libre de aceite y cloro (si hay opción), cámaras de postcombustión con enfriamiento rápido, adsorción con carbón activado y filtros de tela para

desempolvamiento, así como evitar el uso de hexacloroetano para eliminar el magnesio de la fundición y, en general, ejercer un control cuidadoso sobre este proceso.

Los niveles de desempeño que se asocian a mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales en materia de emisiones atmosféricas de PCDD/PCDF, para las fundidoras secundarias de aluminio son $<0.5 \text{ ng EQT-I/Nm}^3$ (con concentraciones operativas de oxígeno).

(iv) Producción secundaria de zinc

Resumen

La fundición secundaria de zinc consiste en la producción de zinc a partir de materiales como los polvos provenientes de la producción de aleaciones de cobre y de la fabricación de acero en hornos de arco eléctrico, y los residuos derivados de los procesos de fragmentación y galvanizado de la chatarra de acero.

Los procesos de producción son: preclasificación, limpieza de pretratamiento, y trituración del alimento, exudación en hornos a 364°C , fundición, refinación, destilación y aleación. Los contaminantes presentes en el alimento (incluidos aceites y plásticos), una combustión deficiente y temperaturas entre 250°C y 500°C pueden dar origen a las sustancias que figuran en el Anexo C del Convenio de Estocolmo.

Las mejores técnicas disponibles son: limpieza del alimento, conservación de temperaturas por encima de 850°C , captura de vapores y gas, cámaras de postcombustión con enfriamiento rápido, adsorción con carbón activado, y desempolvamiento con filtros de tela.

Los niveles de desempeño que se asocian a mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales en materia de emisiones atmosféricas de PCDD/PCDF, para fundidoras secundarias de zinc son $<0.5 \text{ ng EQT-I/Nm}^3$ (con concentraciones operativas de oxígeno).

Resúmenes de la sección VI: categorías de fuentes incluidas en la parte III del Anexo C

A. Quema a cielo abierto de desechos, incluida la quema en vertederos

Resumen

La quema a cielo abierto es un proceso inaceptable en términos ambientales, que genera sustancias que figuran en el Anexo C del Convenio de Estocolmo y varios otros contaminantes, producto de combustión incompleta. De conformidad con el Anexo C, Parte V, sección A, inciso (f) del Convenio de Estocolmo, lo más recomendable es reducir

la cantidad de material que se elimina por quema a cielo abierto, con el objetivo de erradicar definitivamente este método.

Otras técnicas que pueden significar avances con respecto a la quema de materiales son: evitar materiales no combustibles, como vidrio y metales en masa, desechos húmedos y materiales de baja combustibilidad, evitar cargas de desechos con alto contenido de cloro, sean cloruros inorgánicos como la sal, sean compuestos orgánicos clorados como el PVC, y evitar materiales que contengan metales catalíticos como cobre, hierro, cromo y aluminio, incluso en cantidades pequeñas. Los materiales por quemar deberían ser secos, homogéneos o bien mezclados, y de baja densidad, como los desechos sin compactar.

Con respecto al proceso de combustión, los objetivos deberían ser: suministrar el aire suficiente, mantener una combustión o tasa de pérdida de masa estable, evitar la combustión lenta, apagando incluso directamente el fuego, y sólo hacer fuegos pequeños, bien ventilados, revolviendo los materiales, en lugar de hacerlos en vertederos grandes, mal ventilados o en contenedores.

B. Procesos térmicos de la industria metalúrgica no mencionados en la Parte II del Anexo C

(i) Producción secundaria de plomo

Resumen

La fundición secundaria de plomo consiste en producir plomo y aleaciones de plomo, mayormente a partir de baterías de vehículos de chatarra, y también de otras fuentes de plomo usado (cañerías, soldaduras, escoria, revestimientos de plomo). Los procesos de producción consisten en el pretratamiento, fundición y refinación de la chatarra. Factores como la combustión incompleta, altos niveles de aceites, plásticos y otros materiales orgánicos en el alimento, y temperaturas entre 250°C y 500°C, pueden dar origen a las sustancias que figuran en el Anexo C del Convenio de Estocolmo.

Las mejores técnicas disponibles implican usar un material de alimentación que no contenga plásticos ni aceites, temperaturas por encima de 850°C en el horno, captura efectiva de los gases, cámaras de postcombustión y enfriamiento rápido, adsorción por carbón activado, y despolvamiento con filtros de tela.

Los niveles de desempeño que se asocian a mejores técnicas disponibles en materia de emisiones al aire de PCDD/PCDF para fundidoras secundarias de plomo son <0.1 ng EQT-I/Nm³ (con concentraciones operativas de oxígeno).

(ii) Producción primaria de aluminio

Resumen

El aluminio primario se produce directamente del mineral extraído, la bauxita. La bauxita se refina en alúmina mediante el proceso Bayer. Luego, por el proceso Hall-Héroult, la

alúmina se reduce a aluminio metálico por electrólisis (con ánodos de autococción, o ánodos Söderberg, o con ánodos precocidos).

Por lo general, la producción primaria de aluminio no se considera una fuente significativa de las sustancias que figuran en el Anexo C del Convenio de Estocolmo. No obstante, la contaminación por PCDD y PCDF puede ocurrir por los electrodos de grafito empleados en el proceso de fundición electrolítica.

Las técnicas posibles para reducir la producción y liberación de las sustancias del Anexo C provenientes del sector del aluminio primario implican mejoras en la producción y control de los ánodos, y el uso de procesos de fundición avanzados. Los niveles de desempeño asociados a mejores técnicas disponibles para emisiones atmosféricas de PCDD/PCDF del sector del aluminio primario son <0.1 ng EQT-I/Nm³ (con concentraciones operativas de oxígeno).

(iii) Producción de magnesio

Resumen

El magnesio puede producirse a partir de cloruro de magnesio puro por electrólisis de sales fundidas, o por reducción de los óxidos de magnesio con ferrosilicio o aluminio a altas temperaturas, así como por recuperación secundaria del magnesio (por ejemplo, de residuos de amianto).

En la producción de magnesio, factores como la adición de cloro o cloruros, la presencia de ánodos de carbono, y las altas temperaturas del proceso pueden llevar a la formación de sustancias que figuran en el Anexo C del Convenio de Estocolmo, y a su emisión al aire y descarga en aguas.

Entre las técnicas alternativas está la eliminación de la fuente de carbono mediante ánodos sin grafito, y la aplicación de carbón activado. No obstante, los niveles de desempeño asociados a mejores técnicas disponibles dependen del tipo de proceso y de los controles utilizados para las liberaciones al aire y agua.

(iv) Producción secundaria de acero

Resumen

El acero secundario se produce por fundición directa de chatarra ferrosa en hornos de arco eléctrico. El horno funde y refina una carga metálica de chatarra de acero para producir aceros al carbón, aleados e inoxidables en acerías no integradas. Los materiales de alimentación ferrosos pueden ser chatarra, como vehículos triturados y virutas de metal, o hierro de reducción directa. Además, la chatarra puede destinarse a otros hornos de fundición dentro de la planta y a los sectores de hierro y acero primario.

Parece ser más probable que se formen sustancias que figuran en el Anexo C del Convenio de Estocolmo, como PCDD y PCDF, en el proceso de fabricación de acero con hornos de arco eléctrico por síntesis *de novo* en la combustión de materia orgánica no clorada, como son los plásticos, carbón y partículas de carbono, en presencia de

donantes de cloro. Muchas de estas sustancias se encuentran en concentraciones traza en la chatarra de acero, o son materias primas del proceso, como el carbono inyectado.

Las medidas primarias consisten en un manejo y acondicionamiento apropiados de los gases residuales para evitar las condiciones que propician la formación de PCDD/PCDF por síntesis *de novo*. A este respecto cabe señalar el uso de postquemadores, seguidos de un enfriamiento rápido de los gases residuales. Entre las medidas secundarias está la inyección de adsorbente (por ejemplo, de carbón activado) y desempolvamiento de alta eficiencia con filtros de tela.

Los niveles de desempeño que se asocian a mejores técnicas disponibles en materia de emisiones atmosféricas de PCDD/PCDF para la producción secundaria de acero son $<0.1 \text{ ng/Nm}^3$ (con concentraciones operativas de oxígeno).

(v) Fundición primaria de metales comunes

Resumen

La fundición primaria de metales comunes consiste en la extracción y refinación de níquel, plomo, cobre, zinc y cobalto. Por lo general, las instalaciones de fundición primaria de metales comunes procesan concentrados de mineral. La mayoría de las fundiciones primarias tienen la capacidad técnica de complementar el alimento de concentrado primario con materiales secundarios (ej., reciclables).

Las técnicas de producción pueden comprender procesos pirometalúrgicos o hidrometalúrgicos. Se considera que las sustancias que figuran en el Anexo C del Convenio de Estocolmo se originan por procesos térmicos metalúrgicos a altas temperaturas; por lo tanto, los procesos hidrometalúrgicos no se analizarán en esta sección sobre mejores técnicas disponibles para la fundición primaria de metales comunes.

La información existente sobre emisiones de PCDD y PCDF provenientes de diversos sectores de fuentes (ej., incineradoras, hornos de arco eléctrico para acero, plantas de sinterización de hierro) sugiere que las tecnologías y técnicas de procesamiento, y el correspondiente acondicionamiento de gases residuales, pueden afectar la formación y la posterior liberación de PCDD/PCDF. Al momento de considerar propuestas para la construcción y puesta en servicio de nuevas instalaciones o procesos para fundir metales comunes, deben considerarse los procesos hidrometalúrgicos, si son técnica y económicamente viables, como alternativa a los procesos pirometalúrgicos.

Las medidas primarias consisten en el uso de procesos hidrometalúrgicos, control de calidad de los materiales y chatarra de alimentación a fin de disminuir al mínimo los contaminantes que ayudan a la formación de PCDD/PCDF, control efectivo del proceso para evitar las condiciones que ayudan a la formación de PCDD/PCDF, y uso de la tecnología de fusión *flash*. Las medidas secundarias establecidas son la depuración de gases de alta eficiencia, la conversión de dióxido de azufre en ácido sulfúrico, recolección efectiva de vapores y gases, y desempolvado de alta eficiencia.

Los niveles de desempeño que se asocian a mejores técnicas disponibles en materia de emisiones atmosféricas de PCDD/PCDF para fundiciones primarias de metales comunes son $<0.1 \text{ ng EQT-I /Nm}^3$ (con concentraciones operativas de oxígeno).

C. Fuentes de combustión domésticas

Resumen

La presente sección trata de la combustión de madera, carbón, gas y otros compuestos orgánicos utilizados principalmente para calefacción y cocina domésticas. La combustión se realiza en estufas o chimeneas de encendido manual y, en el caso de sistemas centrales de calefacción más grandes, en instalaciones de encendido automático. Algunos estudios han demostrado que las fuentes de combustión domésticas liberan cantidades importantes de las sustancias químicas que figuran en el Anexo C del Convenio de Estocolmo. La cantidad de compuestos liberados depende principalmente del combustible utilizado (desechos domésticos, maderos impregnados de sal marina y madera tratada son fuentes importantes de PCDD/PCDF) y de la eficiencia de la combustión. La eficiencia de la combustión depende de la temperatura de la misma, adecuada mezcla de los gases, tiempo de residencia, suficiente oxígeno y propiedades del combustible. Por su gran profusión, los aparatos de combustión doméstica contribuyen perceptiblemente a las liberaciones globales de las sustancias químicas que figuran en el Anexo C.

La quema eficiente de combustibles limpios y no tratados para calefacción y cocina de importancia primordial para reducir la formación y liberación de las sustancias químicas del Anexo C. Algunas estrategias para reducir las liberaciones de estas sustancias a partir de fuentes de combustión doméstica son los programas de educación, sensibilización y capacitación sobre el uso correcto de aparatos, uso de combustibles adecuados y efectos de la combustión doméstica no controlada en la salud. Los aparatos pequeños de calefacción y cocina domésticas no suelen contar con las tecnologías de reducción utilizadas comúnmente en establecimientos industriales. No obstante, con el uso y buen funcionamiento de estufas bien diseñadas se pueden lograr reducciones de las sustancias químicas del Anexo C, con la importante ventaja complementaria de mejorar la calidad del aire en interiores.

Los quemadores cerrados de baja emisión, con ductos de escape y uso de leña seca bien curada se consideran mejores técnicas disponibles. En países y regiones donde no se dispone de este tipo de combustibles y aparatos, las mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales para la combustión doméstica consisten en garantizar la separación de los desechos domésticos de los combustibles para evitar la quema de los primeros en aparatos de calefacción y cocina. En todos los países, debería evitarse el uso de madera tratada o maderos impregnados de sal marina, así como el uso de plásticos como material para encendido o combustible.

En todos los países del mundo cocinar y calentar la vivienda con leña es una práctica común y significativa. Toda acción para reducir las emisiones de las sustancias químicas que figuran en el Anexo C provenientes de la combustión doméstica también tendrá

que tomar en cuenta factores locales, sociales, culturales y económicos. Para subrayar la importancia de tales factores, se exponen casos de Australia y Nueva Zelanda.

D. Combustión de combustibles fósiles en centrales termoeléctricas y calderas industriales

Resumen

Las calderas industriales y de centrales termoeléctricas queman combustible para calentar agua o producir vapor que se utiliza en la generación de electricidad o en procesos industriales. Las concentraciones volumétricas de las sustancias químicas que figuran en el Anexo C del Convenio de Estocolmo en las emisiones provenientes de calderas que utilizan combustibles fósiles son, por lo general, muy bajas. Sin embargo, el total de emisiones del sector de calderas puede resultar significativo por la magnitud de la combustión a base de combustibles fósiles, tanto en términos de tonelaje como de distribución, para la generación de electricidad y producción de calor o vapor.

Las medidas que se pueden adoptar para reducir la formación y liberación de las sustancias químicas del Anexo C son: mantener condiciones eficientes de combustión en la caldera y garantizar el tiempo necesario para la combustión completa, adoptar medidas para asegurarse de que el combustible no esté contaminado con PCB, HCB o cloro, y de que tenga un bajo contenido de compuestos que actúen como catalizadores en la formación de PCDD y PCDF, utilizar métodos apropiados de depuración de gases para disminuir las emisiones que puedan contener estos contaminantes, y emplear estrategias adecuadas de eliminación, almacenamiento o uso regular de las cenizas recolectadas.

Los niveles de emisión de PCDD/PCDF al aire asociados a mejores técnicas disponibles pueden ser considerablemente inferiores a 0.1 ng EQT-I/Nm³ (contenido de oxígeno de 6% para combustibles sólidos y de 3% para combustibles líquidos).

E. Instalaciones de combustión de madera u otros combustibles de biomasa

Resumen

El objetivo principal de las instalaciones de combustión de madera y otras biomásas es la conversión de energía. Las grandes instalaciones de combustión de madera y otras biomásas utilizan principalmente hornos de lecho fluidizado y hornos de parrilla. Entre las tecnologías empleadas en plantas pequeñas se encuentran los hornos de alimentación por la parte inferior y hornos de suspensión de ciclones. Las calderas de recuperación de la industria de la pulpa y el papel siguen determinadas condiciones de combustión. La selección de la tecnología depende de las propiedades del combustible y la capacidad térmica requerida.

Durante la combustión de madera y otras biomásas se pueden formar las sustancias químicas que figuran en el Anexo C del Convenio de Estocolmo, sobre todo si el combustible está contaminado. En el caso de plantas alimentadas con biomasa, en especial instalaciones que queman madera, los niveles de emisión de PCDD/PCDF asociados a mejores técnicas disponibles por lo general son inferiores a 0.1 ng EQT-I/Nm³. Dentro de las medidas primarias, el control de la calidad del combustible es un factor clave (que comprende la exclusión de madera tratada). Las medidas de control de biomasa no contaminada implican técnicas optimizadas de combustión y eliminación de polvos. La combustión de paja incrementa el ensuciamiento de superficies y requiere técnicas de combustión que no sean sensibles a la escorificación de cenizas.

En este tipo de instalaciones se debería evitar la combustión de biomasa contaminada, como desechos de madera. Las cenizas volantes (especialmente las fracciones más finas) producidas por la combustión de biomasa deben ser depositadas en rellenos sanitarios por su elevado contenido de metales pesados. En muchos países (entre ellos los de la Unión Europea), la madera tratada con compuestos clorados o metales pesados se considera como desecho y está sujeta a las directivas o reglamentos sobre incineración de desechos.

Otros beneficios ambientales derivados de la aplicación de mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales son la conservación de recursos y la no emisión de dióxido de carbono proveniente de combustibles fósiles (en caso de sustitución).

F. Procesos de producción de productos químicos determinados que liberan sustancias químicas que figuran en el Anexo C

Resumen

La presente sección trata de los procesos de fabricación de productos químicos industriales que teóricamente podrían generar contaminantes orgánicos persistentes (en particular las sustancias químicas que figuran en el Anexo C del Convenio de Estocolmo). La mayor parte de los procesos aquí descritos implican las mismas etapas, como cloración de materias primas orgánicas e inorgánicas, purificación de las sustancias, separación de corrientes de sustancias (generalmente por destilación), destrucción de subproductos de alto peso molecular y reciclado o comercialización de cloruro de hidrógeno. Separar y destruir con eficiencia los subproductos orgánicos clorados, que pueden contener contaminantes orgánicos persistentes, así como seguir las correspondiente orientaciones para cualquier procedimiento de incineración, son factores importantes de las mejores técnicas disponibles aplicables a estos procesos. También se describen los procesos modernos de producción de ciertos productos que reducen la formación de contaminantes orgánicos persistentes. Se presentan asimismo diversas normas de desempeño asociadas a mejores técnicas disponibles para procesos específicos.

G. Crematorios

Resumen

Desde la antigüedad hasta nuestros días, la cremación ha sido una práctica aceptada, de importancia religiosa y cultural, que muchos países y culturas utilizan en la muerte de los seres humanos. Para algunos países y culturas, la cremación es parte integral de las prácticas religiosas y funerarias; para otras, se trata de una alternativa voluntaria a la inhumación. Las presentes directrices no pretenden redefinir estas prácticas o subestimar el significado que tienen en algunas poblaciones. Para los países en los que se practica la cremación, y siguiendo las disposiciones del Convenio de Estocolmo, el objetivo de estas directrices es ofrecer métodos para reducir al mínimo o eliminar la formación y liberación de las sustancias químicas del Anexo C del Convenio de Estocolmo durante el proceso de cremación.

Los crematorios pueden formar y liberar PCDD, PCDF, HCB y PCB por la presencia de estos compuestos clorados, precursores o cloro en los cadáveres y en algunos plásticos co-incinerados. Algunas medidas para reducir al mínimo la formación y liberación de las sustancias del Anexo C son: evitar el material clorado, diseñar crematorios que operen a una temperatura mínima de 850 °C, disponer un tiempo de residencia de 2 segundos para los gases de combustión y suficiente aire para garantizar la combustión. Los crematorios nuevos y grandes deberían además estar equipados con sistemas de control de la contaminación atmosférica para reducir al mínimo la emisión de dióxido de azufre, cloruro de hidrógeno, monóxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles, material particulado y contaminantes orgánicos persistentes. Con la aplicación de mejores técnicas disponibles se pueden alcanzar niveles de <0.1 ng EQT-I/Nm³ en emisiones atmosféricas de PCDD/PCDF.

H. Vehículos de motor, en particular los que utilizan gasolina con plomo como combustible

Resumen

Los principales combustibles que se utilizan en los vehículos de motor son la gasolina y el diesel. El gas licuado de petróleo, el combustible a base de aceite vegetal y otros biocarburos, además de las mezclas de alcohol y petróleo están adquiriendo importancia.

Se ha detectado la presencia de PCDD y PCDF en las emisiones provenientes de los vehículos de motor que utilizan gasolina o diesel. Las concentraciones más altas que se han identificado en las emisiones de los vehículos que funcionan con gasolina con plomo se deben a la presencia de fuentes de cloro y bromo en forma de aditivo de limpieza (scavenger) en el combustible.

Pueden considerarse los siguientes combustibles como alternativas a la gasolina con plomo: gasolina sin plomo (de preferencia con catalizador), diesel (de preferencia con catalizador de oxidación diesel y filtro de partículas), gas licuado de petróleo, gas natural

comprimido, gas propano / butano, combustibles de biomasa y mezclas de alcohol y petróleo.

Entre las mejores técnicas disponibles se cuenta la prohibición de los aditivos de limpieza halogenados y el equipamiento de los vehículos con un catalizador de oxidación o un filtro de partículas.

No hay datos de mediciones de combustibles de biomasa, mezclas de alcohol y petróleo o gas licuado de petróleo. Tampoco los hay para los motores de dos tiempos.

I. Destrucción de carcasas de animales

Resumen

La formación y emisión de PCDD, PCDF, PCB y HCB de incineradores de carcasas de animales se debe a la presencia de estos materiales clorados, precursores y cloro en las carcasas o en algunos plásticos que pueden co-incinerarse con las carcasas y subproductos. Algunas de las medidas que se pueden tomar para reducir la formación y liberación de contaminantes orgánicos persistentes son evitar la co-incineración con otros desechos, mantener un mínimo de temperatura de 850°C en el horno, un tiempo residencia de los gases de combustión de 2 segundos y suficiente exceso de aire para garantizar la combustión. Las instalaciones grandes (>50 kg/h) deberían contar con equipo de control de la contaminación atmosférica para reducir emisiones de bióxido de azufre, cloruro de hidrógeno, monóxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles, material particulado y contaminantes orgánicos persistentes. Los niveles de desempeño para PCDD/PCDF en emisiones atmosféricas asociados con mejores técnicas disponibles son <0.1 ng EQT-I/Nm³.

Otros métodos de eliminación, por ejemplo, inhumación, vertido en rellenos o compostaje, no se consideran emisores significativos de las sustancias químicas del Anexo C, pero hay que tener en cuenta los aspectos ambientales, de salud pública y sanidad animal, así como inconvenientes varios. La digestión por hidrólisis alcalina es otra técnica de destrucción de carcasas de animales.

J. Teñido (con cloranil) y terminado (con extracción alcalina) de textiles y cueros

Resumen

Se ha encontrado contaminación con PCDD y PCDF tanto en productos textiles como en curtidos. La presencia de PCDD/PCDF en las industrias textiles y del cuero se debe al uso de sustancias químicas cloradas, concretamente pentaclorofenol y cloronitrofenol, para proteger las materias primas (algodón, lana y otras fibras, cuero), y al uso de tintes contaminados con dioxinas (dioxinas o ftalocianinas). Se pueden formar cantidades más pequeñas de PCDD/PCDF en el acabado y durante la incineración de lodo generado durante el proceso.

Existen alternativas a los pigmentos de tinte mencionados, por lo que no deberían aplicarse.

Algunas alternativas posibles al pentaclorofenol y cloronitrofen: 2-(tiocianometil)tio benzotiazole (TCMTB); *o*-fenilfenol (oPP); 4-cloro-3-metilfenol (CMK); y 2-*n*-octil-4-isotiazolin-3-ona (OIT).

En lo referente a mejores técnicas disponibles, la medida primordial más eficiente para evitar la contaminación de productos textiles y curtidos con PCDD/PCDF sería no emplear biocidas y tintes contaminados con dioxinas en las cadenas de producción. Asimismo, si se emplean estas sustancias, debe darse preferencia a los lotes que tengan concentraciones bajas (sustancias destiladas o purificadas de alguna otra forma). En lo posible, debería evitarse la quema de materiales textiles, de tapicería, curtidos y alfombras para evitar la formación de PCDD/PCDF.

A fin de evitar o reducir la formación y emisión de PCDD/PCDF en la incineración de lodos del tratamiento de aguas residuales y producto de la flotación, deberían aplicarse las mejores técnicas disponibles que se describen en la sección VI.D de esta guía. No obstante, deberían asimismo considerarse otras técnicas respetuosas del medio ambiente.

K. Plantas de fragmentación para el tratamiento de vehículos fuera de uso

Resumen

En el Anexo C del Convenio de Estocolmo las plantas de fragmentación para el tratamiento de vehículos fuera de uso figuran como fuente con potencial para formar y liberar las sustancias nombradas en el mismo Anexo. Las fragmentadoras son grandes máquinas compuestas por uno o más yunques o barras rompedoras y revestidas con placas de desgaste de acero aleado. Un motor eléctrico mueve el rotor con los martillos de acero aleado cuyo movimiento es de cabeceo libre. En la parte inferior de la fragmentadora hay una bandeja vibratoria que recibe el material triturado que se descarga a través de las parrillas. Según el procedimiento, se produce un flujo de metal ferroso, relativamente limpio y compuesto de trozos de acero pequeños (50 mm) y una “borra” que contiene fragmentos de metales no ferrosos y de otros materiales que ingresaron a la fragmentadora (conocida también como trituradora).

Hay muy pocos datos de mediciones de emisiones de chimenea en plantas de fragmentación; sin embargo, los resultados de algunos estudios arrojan niveles de emisiones de PCDD/PCDF al aire de más de 0.1 ng EQT-I/m³. Por el momento no hay pruebas suficientes de que durante la fragmentación (mecánica) de vehículos, equipos eléctricos domésticos u otros aparatos eléctricos se produzca nueva formación de dibenzoparadioxinas (PCDD) policloradas, dibenzofuranos policlorados (PCDF) o bifenilos policlorados (PCB). La información existente indica que los PCDD/PCDF y PCB liberados por las plantas de fragmentación son un producto industrial, intencional, que

ha ingresado con los aceites, fluidos dieléctricos y otros materiales contenidos en estos vehículos o bienes de consumo, y que este proceso mecánico se limita a liberar.

En todo caso, en las plantas de fragmentación se deben aplicar medidas para evitar incendios accidentales (que podrían provocar la formación de sustancias del Anexo C). La borra de la fragmentación está compuesta de películas de plástico inflamable y polvo fibroso, lo que obliga a una cuidadosa operación de la planta para evitar incendios accidentales. Normalmente se instalan sistemas para eliminación de polvo (por ejemplo, fragmentación en húmedo) o para recolección de polvo (por ejemplo, ciclones, lavadores Venturi o cámaras de filtros) en plantas de fragmentación para el tratamiento de vehículos fuera de uso. Estos sistemas ayudan a reducir la emisión potencial de contaminantes orgánicos persistentes. Para aumentar el control de las emisiones de polvo, los residuos secos finos se deberían almacenar de forma que su dispersión sea mínima. Otras fuentes de precursores de dioxinas que pueden provocar la formación de PCDD/PCDF cuando son quemadas son los condensadores que contienen PCB, aceites de desecho o textiles contaminados con PCB o clorobenceno y polímeros que contienen pirotardantes bromados (formación de dibenzoparadioxinas polibromadas (PBDD) y dibenzofuranos polibromados (PBDF) como contaminantes).

L. Recuperación del cobre de cables por combustión lenta

Resumen

Se suele recuperar la chatarra de cobre quemando a cielo abierto los cables e hilos eléctricos que vienen recubiertos de plástico. Las sustancias químicas del Anexo C del Convenio de Estocolmo se forman probablemente a partir del plástico y los residuos de aceite, con el cobre como catalizador, a temperaturas de fundición que van de 250 °C a 500 °C.

Las mejores técnicas disponibles son el triturado o pelado del cable por medios mecánicos, o la incineración a temperaturas de >850 °C. Se ha considerado fijar un precio especial para los cables e hilos eléctricos sin pelar, para así promover que se lleve el material intacto a los fundidores que empleen las mejores técnicas disponibles para su tratamiento.

No se puede hablar de niveles de desempeño asociados con las mejores técnicas disponibles, ya que el proceso de recuperación térmica de cobre de cables no es una de ellas ni una de las mejores prácticas ambientales, y no debería ser practicada.

M. Refinerías de aceites de desecho

Resumen

En el Anexo C del Convenio de Estocolmo las refinerías de aceites de desecho figuran como una de las fuentes que pueden formar y liberar las sustancias nombradas en el mismo anexo.

Para fines de esta sección de las directrices, los aceites de desecho (o aceites usados) son cualquier aceite derivados del petróleo sean sintéticos o de origen vegetal o animal que haya sido usados. Según su origen pueden clasificarse en dos grandes fuentes: aceites industriales de desecho y aceites vegetales o de origen animal. Se pueden identificar tres tipos principales de aceite industrial de desecho: aceite industrial (ej. Aceite hidráulico, lubricante de motores, aceite de corte), aceite de garaje o taller mecánico, y aceite de transformador.

Se ha comprobado que los aceites de desecho están contaminados con dibenzo-p-dioxinas policloradas, dibenzofuranos policlorados y bifenilos policlorados, pero, por ahora, no hay pruebas de nueva formación de estas sustancias en refinerías de aceites de desecho. Los datos existentes indican que las dibenzoparadioxinas policloradas y los dibenzofuranos policlorados o los bifenilos policlorados liberados por las refinerías de aceites de desecho o por las plantas de manipulación y gestión de aceites de desecho provienen de la producción industrial, intencional, de bifenilos policlorados o clorobenzenos que se encuentran en los aceites de desecho, sea por contaminación en el proceso de síntesis (de estas sustancias), o por haberse contaminado durante su uso o en procesos de reciclaje anteriores. En este sentido, más que una fuente de formación, las refinerías de aceites de desecho representan una fuente de distribución de las sustancias del Anexo C.

Según la información disponible, algunas opciones para la gestión de aceites de desecho son la reutilización y regeneración, craqueo térmico, incineración o utilización como combustible. Hay que señalar que en muchos países también se practica el vertido y la quema a cielo abierto.

Para obtener información sobre la eliminación de los aceites de desecho o sobre su uso como combustible, consúltese las secciones pertinentes en estas directrices (secciones V.A Incineradoras de desechos; V.B Hornos de cemento que queman desechos peligrosos; VI.A Quema de desechos a cielo abierto; VI.C Fuentes de combustión doméstica y VI.D Combustión de combustibles fósiles en centrales termoeléctricas y calderas industriales).



<http://www.pops.int>
UNEP/SSC/BATBP/2008/1