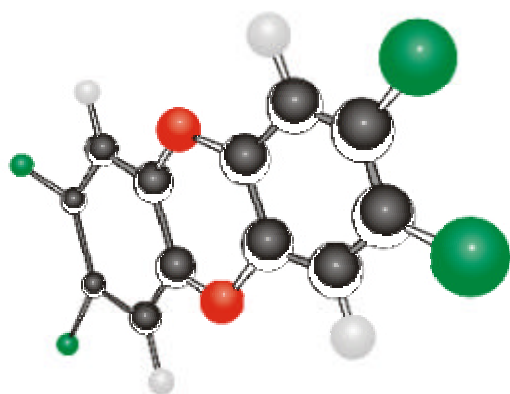




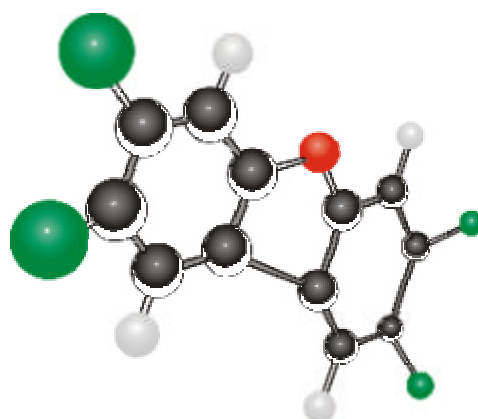
**Programa de las Naciones Unidas
para el Medio Ambiente**



Instrumental normalizado para la identificación y cuantificación de liberaciones de dioxinas y furanos



Agua
Tierra
Productos
Residuos



BORRADOR

Enero de 2001

**Preparado por Productos Químicos
Ginebra, Suiza**



**Programa de las Naciones Unidas
para el Medio Ambiente**



**Instrumental normalizado para la
identificación y cuantificación de liberaciones
de dioxinas y furanos**

BORRADOR

Enero de 2001

**Preparado por Productos Químicos
Ginebra, Suiza**

Con la presente publicación se trata de facilitar una primera guía sobre inventarios disponibles de dioxinas y furanos establecida por países o regiones. La información que contiene el presente informe se ha tomado de publicaciones científicas, informes gubernamentales e Internet, así como de comunicaciones personales. Aun considerando que la información que aquí se da es fidedigna, el PNUMA declina toda responsabilidad en cuanto a posibles inexactitudes u omisiones y a las consecuencias que éstas puedan tener. Ni el PNUMA ni ninguna de las personas implicadas en la preparación del presente informe podrán ser tenidos por responsables de cualquier tipo de lesión, pérdida, daño o perjuicio que pueda causarse a personas que hayan actuado según hayan comprendido la información presentada en esta publicación.

La designación empleada y la presentación del material del presente informe no expresan en modo alguno ningún tipo de opinión por parte de las Naciones Unidas o del PNUMA con respecto a la situación jurídica de ningún país, territorio, ciudad o área o a ninguna de sus autoridades, ni tampoco en relación con cualquier tipo de delimitación de sus fronteras o límites. Las opiniones expresadas en el documento no reflejan necesariamente las propias del PNUMA.

Esta publicación se ha preparado en virtud de un contrato con Hans-Ulrich Hartenstein, E&EC – consultores en materia de energía y medio ambiente, GmbH, Waldbröl, Alemania, Patrick H. Dyke, PD Consulting, Lechlade, Reino Unido y Dra. Heidelore Fiedler, de Productos Químicos, PNUMA.

Cubierta: Moléculas de 2,3,7,8-tetraclorodibenzeno-p-dioxina y tetraclorodibenzo-furano, con la autorización de Wellington Labs, Guelph, ONT, Canadá

Esta publicación se ha producido dentro del marco del Programa Interinstitucional para el manejo adecuado de los productos químicos (IOMC)

El Programa Interinstitucional para el manejo adecuado de los productos químicos (IOMC) fue establecido en 1995 por el PNUMA, OIT, FAO, OMS, ONUDI y OCDE (organizaciones participantes), a raíz de las recomendaciones formuladas en 1992 por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo con miras a reforzar la cooperación y aumentar la coordinación en el campo de la seguridad química. En enero de 1998, UNITAR se unió oficialmente al IOMC como organización participante. El objetivo del IOMC consiste en fomentar la coordinación de las políticas y actividades de las organizaciones participantes, conjuntamente o por separado, con miras a la buena gestión de las sustancias químicas en relación con la salud humana y el medio ambiente.

El material que figura en la presente publicación se puede citar o reimprimir libremente, pero citando su origen y haciendo referencia al número de documento correspondiente. Deberá enviarse a Productos Químicos, PNUMA, una copia de la publicación que contenga la cita o reimpresión.

Pueden obtenerse ejemplares de este informe en:

Productos Químicos, PNUMA,
11-13 chemin des Anémones
CH-1219 Châtelaine (Ginebra), Suiza
Tel.: +41 (22) 917 8170
Fax: +41 (22) 797 3460
e-mail: chemicals@unep.ch

Productos Químicos, PNUMA, forma parte de la División de Tecnología, Industria y Economía del PNUMA

Productos Químicos PNUMA

Enero de 2001

Prefacio

El presente borrador del “Instrumental normalizado para la identificación y cuantificación de liberaciones de dioxinas y furanos” (Instrumental) se ha preparado con el fin de ayudar a los países en la identificación de fuentes y estimación de liberaciones de dioxinas y furanos. Al tiempo que se publica este borrador de Instrumental, Productos Químicos, PNUMA, organiza varios talleres de formación que forman parte de su programa de establecimiento de capacidad con el que trata de dar asistencia a los países para que puedan adoptar medidas dirigidas a reducir y/o eliminar liberaciones al medio ambiente de contaminantes orgánicos persistentes (COP).

La futura convención global sobre COP exigirá que las Partes reduzcan el total de sus liberaciones de productos secundarios como dibenzo-p-dioxinas policloradas y dibenzofuranos policlorados (PCDD/PCDF), con miras a mantener unas emisiones mínimas y, cuando sea factible, eliminar toda liberación. Por consiguiente, las Partes necesitarán cuantificar sus fuentes de PCDD/PCDF. La metodología utilizada para evaluar las fuentes deberá ser siempre la misma de manera que puedan evaluarse las liberaciones de PCDD/PCDF a lo largo del tiempo y entre distintos países.

El borrador de Instrumental da una metodología que permita identificar y evaluar de forma completa procesos e industrias que pueden liberar PCDD y PCDF al medio ambiente. Está destinado a dar asistencia a los países para la preparación de inventarios de esos contaminantes. Aunque en el concepto es fácil constituir un inventario, los pocos que hasta la fecha se han establecido sufren limitaciones consecutivas a la carencia de datos y también a la falta de una metodología común, por ejemplo, en muchos casos no se han tenido en cuenta todas las posibles fuentes. Por consiguiente, los inventarios existentes son en general incompletos y difícilmente comparables. Este borrador de Instrumental incluye todas las fuentes conocidas de liberaciones ambientales, y trata de hacerlo de manera que pueda asentar la base de una futura comparabilidad.

El borrador de Instrumental es flexible y aplicable a todos los países. Los países que carezcan por completo de datos sobre PCDD/PCDF encontrarán útil el borrador de Instrumental para examinar las diversas actividades industriales y de otros tipos y hacer primeras estimaciones sobre la escala de posibles fuentes de PCDD/PCDF. Los países que posean datos medidos pueden utilizar el Instrumental para revisar y poner al día la cobertura de sus inventarios, y también para cotejar el acuerdo existente entre sus datos y los que facilita el borrador de Instrumental.

Como sucede con toda metodología, el Instrumental deberá ser ensayado y comprobado en la práctica. Se ruega a los usuarios del Instrumental que consulten con Productos Químicos, PNUMA, todo problema de aplicación, interpretación y ejecución que se les plantee o si observan que el sistema no parece aplicable a una determinada situación de su país.

Se invita a los países a que utilicen el borrador de Instrumental para preparar sus inventarios y enviárselos al PNUMA, que así podrá poner al día y completar su actual Inventario de Liberaciones de Dioxinas y Furanos (Informe del PNUMA, mayo de 1999). Los inventarios que se reciban se publicarán y estarán disponibles en el centro de acopio y distribución de informaciones sobre COP (<http://www.chem.unep.ch/pops>). Además, el PNUMA invita a todos los usuarios del borrador de Instrumental a que den retroinformación sobre todos los aspectos de este producto.

Ginebra, enero de 2001

James B. Willis
Director
Productos Químicos, PNUMA

Instrumental normalizado para la identificación y cuantificación de liberaciones de dioxinas y furanos

Indice

| | Página |
|--|--------|
| Indice | i |
| Indice de cuadros | iv |
| Indice de figuras | vii |
| Abreviaturas y siglas | viii |
| 0 Resumen Ejecutivo | 1 |
| 1 Introducción | 5 |
| 2 Objetivos y Limitaciones | 7 |
| 2.1 Objetivos | 7 |
| 2.2 Limitaciones | 8 |
| 3 Formación y Liberación de PCDD y PCDF | 11 |
| 3.1 Formación de PCDD/PCDF | 11 |
| 3.2 Liberaciones directas de PCDD/PCDF | 13 |
| 3.2.1 Liberaciones a la atmósfera | 13 |
| 3.2.2 Liberaciones al agua | 13 |
| 3.2.3 Liberaciones a la tierra | 14 |
| 3.2.4 Liberaciones con productos | 15 |
| 3.2.5 Liberaciones con residuos | 15 |
| 3.2.6 Puntos calientes potenciales | 17 |
| 4 Protocolo para la preparación del inventario | 19 |
| 4.1 Etapa 1: Matriz de selección: Principales categorías de fuentes | 20 |
| 4.2 Etapa 2: Identificación de subcategorías | 21 |
| 4.2.1 Subcategorías de la incineración de desechos | 22 |
| 4.2.2 Subcategorías de la producción de metales ferrosos y no ferrosos | 22 |
| 4.2.3 Subcategorías de generación de energía y calefacción | 23 |
| 4.2.4 Subcategorías de la producción de minerales | 24 |
| 4.2.5 Subcategorías de transporte | 25 |
| 4.2.6 Subcategorías de procesos de combustión incontrolados | 25 |
| 4.2.7 Subcategorías de producción y uso de sustancias químicas y bienes de consumo | 26 |
| 4.2.8 Subcategorías de varios | 27 |
| 4.2.9 Subcategorías de evacuación | 27 |
| 4.2.10 Subcategorías de puntos calientes | 28 |
| 4.3 Etapa 3: Acopio de información | 29 |
| 4.4 Etapa 4: Clasificación de procesos y cuantificación de fuentes | 30 |
| 4.4.1 Clasificación de procesos | 30 |
| 4.4.2 Clasificación de fuentes | 32 |
| 4.4.3 Determinación del flujo o tasa de actividad | 33 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 4.4.4 | Utilización de los factores de emisión por defecto del Instrumental | 33 |
| 4.4.5 | Uso de datos de emisión propios | 34 |
| 4.5 | Etapa 5: Compilación del inventario | 34 |
| 5 | Presentación del inventario | 35 |
| 5.1 | Establecimiento de un inventario provisional | 35 |
| 5.2 | Informe final | 37 |
| 6 | Factores de emisión por defecto | 39 |
| 6.1 | Categoría principal 1 – Incineración de desechos | 39 |
| 6.1.1 | Desechos sólidos municipales | 39 |
| 6.1.2 | Incineración de desechos peligrosos | 43 |
| 6.1.3 | Incineración de desechos médicos | 46 |
| 6.1.4 | Incineración de desechos de desguace, fracción ligera | 49 |
| 6.1.5 | Incineración de lodos de alcantarilla | 51 |
| 6.1.6 | Incineración de desechos de madera y de biomasa | 53 |
| 6.1.7 | Combustión de cadáveres de animales | 55 |
| 6.2 | Categoría principal 2 – Producción de metales ferrosos y no ferrosos | 57 |
| 6.2.1 | Sinterización del mineral de hierro | 57 |
| 6.2.2 | Producción de cok | 60 |
| 6.2.3 | Plantas de producción de hierro y acero | 62 |
| 6.2.4 | Producción de cobre | 68 |
| 6.2.5 | Producción de aluminio | 70 |
| 6.2.6 | Producción de plomo | 72 |
| 6.2.7 | Producción de zinc | 74 |
| 6.2.8 | Producción de bronce | 76 |
| 6.2.9 | Producción de magnesio | 77 |
| 6.2.10 | Producción de otros metales no ferrosos | 79 |
| 6.2.11 | Desguazadoras | 81 |
| 6.2.12 | Recuperación térmica de cables | 82 |
| 6.3 | Categoría principal 3 – Generación de energía y calefacción | 84 |
| 6.3.1 | Centrales de energía de combustibles fósiles | 85 |
| 6.3.2 | Centrales de energía de biomasa | 87 |
| 6.3.3 | Combustión de terraplén/biogás | 90 |
| 6.3.4 | Calefacción doméstica y cocina (biomasa) | 91 |
| 6.3.5 | Calefacción doméstica (combustibles fósiles) | 93 |
| 6.4 | Categoría principal 4 – Productos minerales | 95 |
| 6.4.1 | Producción de cemento | 95 |
| 6.4.2 | Producción de cal | 99 |
| 6.4.3 | Producción de ladrillos | 101 |
| 6.4.4 | Producción de vidrio | 102 |
| 6.4.5 | Producción de cerámica | 103 |
| 6.4.6 | Mezclado del asfalto | 103 |
| 6.5 | Categoría principal 5 – Transportes | 105 |
| 6.5.1 | Motores de 4 tiempos | 105 |
| 6.5.2 | Motores de 2 tiempos | 106 |
| 6.5.3 | Motores diesel | 107 |
| 6.5.4 | Motores de aceite pesado | 108 |
| 6.6 | Categoría principal 6 – Procesos de combustión incontrolados | 109 |
| 6.6.1 | Quema de biomasa | 109 |
| 6.6.2 | Quema de desechos e incendios accidentales | 111 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 6.7 | Categoría principal 7 – Producción y uso de sustancias químicas y bienes de consumo | 115 |
| 6.7.1 | Fábricas de pasta y papel | 116 |
| 6.7.2 | Industria química | 124 |
| 6.7.3 | Industria del petróleo | 141 |
| 6.7.4 | Plantas textiles | 142 |
| 6.7.5 | Industria del cuero | 144 |
| 6.8 | Categoría principal 8 – Varios | 145 |
| 6.8.1 | Desecado de biomasa | 146 |
| 6.8.2 | Crematorios | 146 |
| 6.8.3 | Ahumaderos | 148 |
| 6.8.4 | Limpieza en seco | 149 |
| 6.8.5 | Consumo de tabaco | 150 |
| 6.9 | Categoría principal 9 – Evacuación/terraplén | 151 |
| 6.9.1 | Terraplenes y vertederos | 152 |
| 6.9.2 | Aguas de alcantarilla y su tratamiento | 154 |
| 6.9.3 | Compostado | 156 |
| 6.9.4 | Vertidos al agua abierta | 157 |
| 6.9.5 | Evacuación de aceites de desecho (no térmicos) | 158 |
| 6.10 | Categoría principal 10 – Puntos calientes | 159 |
| 6.10.1 | Lugares de producción de sustancias orgánicas cloradas | 160 |
| 6.10.2 | Lugares de producción de cloro | 160 |
| 6.10.3 | Lugares de formulación de fenoles clorados | 160 |
| 6.10.4 | Lugares de aplicación de fenoles clorados | 160 |
| 6.10.5 | Fabricación de madera y lugares de tratamiento | 161 |
| 6.10.6 | Transformadores y capacitores rellenos de PCB | 161 |
| 6.10.7 | Vertederos de desechos/residuos de categorías 1-9 | 162 |
| 6.10.8 | Lugares donde se hayan producido accidentes importantes | 162 |
| 6.10.9 | Dragado de sedimentos | 162 |
| 6.10.10 | Lugares donde hay caolina o arcilla plástica | 163 |
| 7 | Referencias | 164 |
| 8 | Anexos | 171 |
| 8.1 | Compilación de todos los factores de emisión por defecto | 172 |
| 8.2 | Cuestionarios | 179 |
| 8.3 | Ejemplos de cuadros para la presentación de los inventarios | 187 |
| 9 | Anexos técnicos | 191 |
| 9.1 | Factores de Equivalencia de Toxicidad (FET) | 191 |
| 9.2 | Valores calóricos– para la categoría principal 3 | 192 |
| 9.3 | Factores de conversión de combustibles líquidos y gaseosos – para las categorías principales 3 y 5 | 194 |
| 9.4 | Secuencias de blanqueo– para la categoría principal 7 | 195 |

Índice de cuadros

| | Página |
|---|--------|
| Cuadro 1: Matriz de selección – Principales categorías de fuentes | 21 |
| Cuadro 2: Subcategorías de la matriz del inventario – Sector 1 | 22 |
| Cuadro 3: Subcategoría de la matriz del inventario – Sector 2 | 23 |
| Cuadro 4: Subcategorías de la matriz del inventario – Sector 3 | 24 |
| Cuadro 5: Subcategorías de la matriz del inventario – Sector 4 | 25 |
| Cuadro 6: Subcategorías de la matriz del inventario – Sector 5 | 25 |
| Cuadro 7: Subcategorías de la matriz del inventario – Sector 6 | 26 |
| Cuadro 8: Subcategorías de la matriz del inventario – Sector 7 | 26 |
| Cuadro 9: Subcategorías de la matriz del inventario – Sector 8 | 27 |
| Cuadro 10: Subcategorías de la matriz del inventario – Sector 9 | 28 |
| Cuadro 11: Subcategorías de la matriz del inventario – Sector 10 | 28 |
| Cuadro 12: Ejemplo de clasificación – aplicada a la producción de aluminio térmico | 31 |
| Cuadro 13: Factores de emisión resultantes de la incineración de desechos sólidos municipales | 41 |
| Cuadro 14: Factores de emisión para la incineración de desechos peligrosos | 44 |
| Cuadro 15: Factores de emisión para la incineración de desechos médicos | 47 |
| Cuadro 16: Factores de emisión en la incineración de DDFL | 49 |
| Cuadro 17: Factores de emisión para la incineración de lodos de alcantarilla | 52 |
| Cuadro 18: Factores de emisión en la incineración de desechos de madera/biomasa | 54 |
| Cuadro 19: Factores de emisión para la combustión de cadáveres de animales | 56 |
| Cuadro 20: Factores de emisión para el mineral de hierro en plantas de sinterización | 58 |
| Cuadro 21: Factores de emisión a partir de la producción de cok | 61 |
| Cuadro 22: Factores de emisión de la industria del acero y las funderías de hierro | 65 |
| Cuadro 23: Factores de emisión para la industria del cobre | 68 |
| Cuadro 24: Factores de emisión de la industria del aluminio | 71 |
| Cuadro 25: Factores de emisión aplicables a la industria del plomo | 73 |
| Cuadro 26: Factores de emisión de la industria del zinc | 75 |
| Cuadro 27: Factores de emisión para la industria del bronce | 76 |
| Cuadro 28: Factores de emisión en la industria del magnesio | 78 |
| Cuadro 29: Factores de emisión de procesos de metales no ferrosos | 80 |
| Cuadro 30: Factores de emisión para desguazadoras | 81 |

| | |
|--|-----|
| Cuadro 31: Factores de emisión para la recuperación térmica de cables | 83 |
| Cuadro 32: Categoría principal de fuente 3 y sus correspondientes subcategorías | 84 |
| Cuadro 33: Factores de emisión de la generación de energía basada en combustibles fósiles y la producción de calor/energía en la industria | 86 |
| Cuadro 34: Factores de emisión para la generación de energía basada en la biomasa | 88 |
| Cuadro 35: Factores de emisión para la generación de poder y la combustión de biogás/gas de terraplén | 90 |
| Cuadro 36: Factores de emisión de la calefacción doméstica y la cocina basadas en la biomasa | 91 |
| Cuadro 37: Factores de emisión de la calefacción doméstica basada en combustibles fósiles | 93 |
| Cuadro 38: Factores de emisión de la producción de cemento | 97 |
| Cuadro 39: Factores de emisión en la producción de cal | 100 |
| Cuadro 40: Factores de emisión en la producción de ladrillos | 101 |
| Cuadro 41: Factores de emisión de la producción de vidrio | 102 |
| Cuadro 42: Factores de emisión en el mezclado del asfalto | 104 |
| Cuadro 43: Factores de emisión de motores de 4 tiempos (automóviles de turismo) | 106 |
| Cuadro 44: Factores de emisión para los motores de 2 tiempos (por ejemplo, pequeños velomotores) | 107 |
| Cuadro 45: Factores de emisión de motores diesel (por ejemplo, camiones) | 108 |
| Cuadro 46: Factores de emisión de motores de aceite pesado (por ejemplo, barcos) | 108 |
| Cuadro 47: Factores de emisión para la quema de biomasa | 109 |
| Cuadro 48: Factores de emisión de la quema de desechos e incendios accidentales | 112 |
| Cuadro 49: Producción y uso de sustancias químicas y bienes de consumo: panorámica de las subcategorías con sus posibilidades de generar y/o liberar PCDD/PCDF y principales vectores de la liberación | 116 |
| Cuadro 50: Factores de emisión de la industria de la pasta y el papel: calderas | 119 |
| Cuadro 51: Factores de emisión para efluentes y lodos de pasta y papel | 119 |
| Cuadro 52: Factores de emisión de productos de pasta y papel | 120 |
| Cuadro 53: Concentraciones de PCDF en productos con PCB | 131 |
| Cuadro 54: Estadísticas de derrames a partir de equipos con PCB | 131 |
| Cuadro 55: Factores de emisión para la industria del EDC/VCM/PVC | 137 |
| Cuadro 56: Factores de emisión para la industria textil | 143 |
| Cuadro 57: Factores de emisión de la industria del cuero | 145 |
| Cuadro 58: Subcategorías de la categoría 8 | 145 |
| Cuadro 59: Factores de emisión del desecado de biomasa * tras el desecado | 146 |
| Cuadro 60: Factores de emisión de crematorios | 147 |

| | |
|---|-----|
| Cuadro 61: Factores de emisión para ahumaderos | 148 |
| Cuadro 62: Factores de emisión en residuos de limpieza en seco | 150 |
| Cuadro 63: Factores de emisión del consumo de tabaco | 150 |
| Cuadro 64: Subcategorías de la matriz del inventario– Sector 9 | 152 |
| Cuadro 65: Factores de emisión de terraplenes y vertederos | 153 |
| Cuadro 66: Factores de emisión de los lodos de alcantarilla | 155 |
| Cuadro 67: Factores de emisión del composte | 157 |
| Cuadro 68: Factores de emisión de vertidos a agua abierta | 158 |
| Cuadro 69: Factores de emisión de la evacuación de aceites de desecho | 159 |
| Cuadro 70: Factores de emisión de PCB | 161 |
| Cuadro 71: Cuestionario estándar para la incineración de desechos | 180 |
| Cuadro 72: Cuestionario estándar para la industria de metales ferrosos y no ferrosos | 181 |
| Cuadro 73: Cuestionario estándar para el sector de generación de energía | 182 |
| Cuadro 74: Cuestionario estándar para la industria de minerales | 184 |
| Cuadro 75: Cuestionario estándar para los transportes | 184 |
| Cuadro 76: Cuestionario estándar para la quema no controlada | 185 |
| Cuadro 77: Cuestionario estándar para liberaciones al agua | 186 |
| Cuadro 78: Copia de un ejemplo de cuadro generado por el programa EXCEL en el que se muestran datos de entrada y de salida para liberaciones a la atmósfera, agua, tierra, y con productos y residuos | 189 |
| Cuadro 79: Ejemplo de cuadro para dar una panorámica general de las liberaciones nacionales de PCDD/PCDF (a partir de hojas EXCEL) | 190 |
| Cuadro 80: Presentación de muestra de un inventario de liberaciones a la atmósfera cuando existen datos propios medidos | 190 |
| Cuadro 81: Factores de Equivalencia de Toxicidad (FET) – comparación entre los dos planes más frecuentemente utilizados | 192 |
| Cuadro 82: Valores calóricos del carbón | 193 |
| Cuadro 83: Valores calóricos del cok | 193 |
| Cuadro 84: Valores calóricos del petróleo | 193 |
| Cuadro 85: Valores calóricos del gas | 194 |
| Cuadro 86: Valores calóricos de la madera | 194 |
| Cuadro 87: Valores calóricos de la biomasa | 194 |
| Cuadro 88: Símbolos utilizados en las etapas de blanqueo | 195 |

Índice de figuras

| | Página |
|---|--------|
| Figura 1: Posibles vías de liberación de PCDD/PCDF como producto secundario hacia los tres medios ambientales atmósfera, agua y tierra y/o a productos y desechos | 12 |
| Figura 2: El método en cinco etapas recomendado para preparar un inventario nacional de liberación de PCDD/PCDF utilizando el Instrumental | 20 |
| Figura 3: Ejemplo de presentación gráfica de un extracto de inventario provisional | 37 |

Abreviaturas y siglas

| | |
|---------|---|
| 2,4,5-T | Acido 2,4,5-triclorofenoxiacético |
| °C | Grados Celsius |
| a | Año, 365 días |
| AH/AOB | Alto horno/acero de oxígeno básico |
| AL | Acero líquido |
| C | Etapas de blanqueado por cloración con cloro molecular disperso o disuelto en agua (producción de pasta y papel) |
| CDD | Combustible derivado de desechos |
| CEFV | Consejo Europeo de Fabricantes de Vinilo |
| CEL | Cloro elemento libre (blanqueo) |
| CNP | Eter de 2,4,6-triclorofenil-4'-nitrofenilo |
| COP | Contaminantes orgánicos persistentes |
| D | Etapas de blanqueado con dióxido de cloro utilizando una solución acuosa de dióxido de cloro (ClO ₂) (producción de pasta y de papel) |
| DDFL | Desechos de desguace, fracción ligera |
| DP | Desechos peligrosos |
| E | Etapas de blanqueado por extracción utilizando hidróxido sólido (NaOH) |
| EDC | 1,2-dicloroetano |
| EPA | Agencia de Protección Ambiental (Estados Unidos de América) |
| EQT | Equivalente de Toxicidad |
| EQT-I | Equivalentes de Toxicidad-Internacional |
| EQT-N | Equivalentes de toxicidad-nórdicos (se usa comúnmente en los países escandinavos) ¹ |
| FET | Factor de Equivalencia de Toxicidad |
| FET-I | Factor de Equivalencia de Toxicidad-Internacional |
| FMAM | Fondo para el Medio Ambiente Mundial |
| h | Hora(s) |
| HAE | Horno de arco eléctrico |
| HOB | Horno de oxígeno básico |
| ISO | Organización Internacional de Normalización |
| K | (Grados) Kelvin |
| kPa | Kilopascales (= mil pascales) |
| L | Litro |
| LD | Límite de detección |
| m.s. | Materia seca |

¹ A efectos del Instrumental da igual que las concentraciones o los factores de emisiones se expresen en EQT-I o en EQT-N.

| | |
|-------------------|--|
| Mg | Magnesio |
| MSW | Desechos sólidos municipales |
| MTD | Mejores técnicas/tecnologías disponibles |
| NA | No aplicable (no es un vector de liberación importante) |
| Na ₂ S | Sulfito de sodio |
| NaOH | Hidróxido sódico |
| NCASI | National Council of the Paper Industry) for Air and Steam Improvement, Inc. |
| ND | No determinado/no datos (en otras palabras, hasta ahora no se han hecho mediciones) |
| Nm ³ | Metro cúbico normalizado (estándar); volumen de gas ocupado a la presión atmosférica (1,013 mbar) y a 273,15 K (0 °C) |
| O | Etapas de blanqueo por oxígeno (producción de pasta y papel) |
| OMS | Organización Mundial de la Salud |
| PARCOM | Comisión París-Oslo |
| PCB | Bifenilos policlorados |
| PCDD | Dibenzo- <i>para</i> -dioxinas policloradas |
| PCDF | Dibenzofuranos policlorados |
| PCP | Pentaclorofenol |
| PCP-Na | Pentaclorofenato de sodio |
| PDI | Pérdida de ignición (medida del contenido de carbón residual) |
| PES | Precipitador electrostático |
| PNUMA | Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente |
| PQTM | Pasta químico-termo-mecánica |
| PVC | Cloruro de polivinilo |
| rpm | Revoluciones por minuto |
| (S)CCA | (Sistema) de control de la contaminación atmosférica |
| STP | Sustancias tóxicas persistentes |
| t | Tonelada (métrica) |
| TLC | Totalmente libre de cloro (blanqueo) |
| tSA | Tonelada secada al aire (de pulpa) |
| UE | Unión Europea (15 Estados Miembros: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, Suecia) |
| UV | Ultravioleta |
| VCM | Monómero de cloruro de vinilo |

Unidades

| | | | |
|----|--------------|---------------------|--|
| kt | kilotonelada | 1.000 t | |
| t | tonelada | 10^6 g (1.000 kg) | también: Mg Megagramos (un millón de gramos) |
| kg | kilogramo | 10^3 g | |
| g | gramo | 10^0 g | |
| mg | miligramo | 10^{-3} g | |
| µg | microgramo | 10^{-6} g | |
| ng | nanogramo | 10^{-9} g | |
| pg | picogramo | 10^{-12} g | |

Unidades no métricas

| | | | |
|---------------------------|-------|--------------------------------|-------------------------|
| Galón | 1 gal | = 0,1337 ft ³ | = 0,0038 m ³ |
| Libre | 1 lb | = 0,4536 kg | |
| Pulgada | 1 in | = 2,54 cm | = 0,0254 m |
| 1 tonelada corta (EE.UU.) | | = 0,90718 toneladas (métricas) | |

| | | |
|----|-----------|------------------|
| kJ | Kilojulio | 10^3 julios |
| MJ | Megajulio | 10^6 julios |
| GJ | Gigajulio | 10^9 julios |
| TJ | Terajulio | 10^{12} julios |

| | | |
|-----|------------|---------------|
| Pa | Pascal | |
| kPa | kiloPascal | 10^3 Pascal |

0 RESUMEN EJECUTIVO

En el mundo entero no hay más que un pequeño número de inventarios nacionales que comunican liberaciones de dibenzo-*p*-dioxinas policloradas y dibenzofuranos policlorados (PCDD/PCDF). En una revisión efectuada por Productos Químicos, PNUMA, en 1999 (Productos Químicos, PNUMA, 1999) sólo se identificaron 15 inventarios, casi todos ellos preparados en países del Norte. Desde entonces se ha realizado y publicado un inventario más, correspondiente a Nueva Zelandia.

La convención mundial sobre contaminantes orgánicos persistentes (COP) que actualmente se está negociando se supone que va a requerir la reducción al mínimo de liberaciones de PCDD/PCDF. Por consiguiente, es preciso cuantificar las fuentes de dioxinas y utilizar para la evaluación de esas fuentes una metodología que sea coherente de manera que se puedan seguir o vigilar las liberaciones de dioxina a lo largo del tiempo y entre distintos países.

Los actuales inventarios de PCDD/PCDF no son satisfactorios desde ese punto de vista. Muchos de ellos son incompletos, obsoletos o carecen de una estructura uniforme. Los inventarios que no se ocupan de fuentes potencialmente importantes de PCDD/PCDF, tal vez por la insuficiencia de la información nacional, sugieren erróneamente que esas fuentes no son significativas y no precisan de controles efectivos. Además, sólo un pequeño número de inventarios se ocupan de liberaciones distintas de las atmosféricas.

Para asistir a los países en la identificación de fuentes y la estimación de liberaciones de dioxinas y furanos, Productos Químicos, PNUMA, ha preparado un “Instrumental normalizado para la identificación y cuantificación de liberaciones de dioxinas y furanos”. Además, Productos Químicos, PNUMA, está poniendo en práctica un programa de establecimiento de capacidad y talleres de formación para asistir a los países en la preparación de la Convención sobre los COP.

El “Instrumental” se ha montado gracias a la experiencia acumulada de las personas que han realizado inventarios. El marco de categorías de fuentes ha sido establecido por un equipo central, en consulta con utilizadores finales de países que desean obtener ayuda para la compilación de sus inventarios. Ha sido diseñado como una metodología sencilla y normalizada y con una base de datos acompañante que permita reunir inventarios nacionales y regionales de PCDD/PCDF coherentes.

La compilación de inventarios debe hacerse de forma coherente, eficiente en tiempo y recursos y suficientemente precisa como para que permita identificar de forma fidedigna las principales fuentes y las carencias de datos fundamentales. Para aplicar el Instrumental y compilar un inventario no es necesario realizar pruebas de emisiones. Además, el proceso está diseñado para que sea adaptable. El factor de emisión y la base de datos para la descripción del proceso deben revisarse y mejorarse a medida que vayan obteniéndose nuevos datos sobre emisiones y las nuevas cifras pueden aplicarse al perfeccionamiento del inventario general. Los elementos fundamentales de este “Instrumental” son los siguientes:

- **Una metodología efectiva** para identificar los procesos industriales y no industriales importantes que liberan PCDD y PCDF a la atmósfera, agua, tierra y con productos y residuos en un determinado país y proceder a un examen sistemático para identificar cuáles de entre ellos son los más importantes.

- **Directrices sobre el acopio de información** acerca de los procesos pertinentes, con lo que podrá procederse a la clasificación de esos procesos en clases con emisiones similares.
- **Una base de datos detallada** de factores de emisión que facilite datos por defecto adecuados que puedan aplicarse y que sean representativos de la clase en la cual se ha agrupado el correspondiente proceso. En el futuro y a medida que vaya disponiéndose de nuevos datos de emisiones se irá poniendo al día esta base de datos.
- **Directrices para el montaje y presentación** de un inventario utilizando tanto factores de emisión por defecto como datos específicos de país de manera que los inventarios resultantes sean comparables.

La información sobre liberación de PCDD/PCDF se relaciona con los cinco compartimientos generales y/o medios siguientes a los que liberan o transfieren los PCDD/PCDF: atmósfera, agua, tierra, desechos (residuos) y productos. Para adoptar una metodología más completa será preciso tener en cuenta todos los PCDD/PCDF (pero no debe concluirse que las liberaciones a todos los compartimientos tienen las mismas consecuencias).

El principio básico consiste en reunir “estadísticas de actividad” que describen la cantidad de un proceso (por ejemplo, toneladas de un producto producidas cada año), y “factores de emisión”, que describen la liberación de PCDD/PCDF a cada medio por unidad de actividad (por ejemplo, μg de EQT-I/ton). Multiplicando ambos factores se obtienen las emisiones anuales. Para aplicar el marco y preparar el inventario se siguen las cinco etapas que se muestran en la Figura 2 (página 20). La matriz de selección (Cuadro 1, página 20) indica cuáles son las diez principales categorías de fuentes e incluye fuentes industriales y no industriales, así como reservorios y lugares contaminados. Para cada una de las categorías principales, una lista de subcategorías indica cuáles son las actividades de procesamiento detalladas. Con respecto a cada tipo de proceso se dan los parámetros fundamentales o las características del proceso. De esta forma pueden asignarse emisiones a todos los medios sobre los que dispone de datos. Una información de acceso relativamente fácil sobre plantas y procesos puede servir para seleccionar adecuada y simplemente un factor de emisión adecuado para la base de datos.

La operación de reunir información detallada sobre los procesos que se realizan en el interior del país se amoldará a la situación. En muchos casos bastará con los datos estadísticos centrales. Otros pueden requerir la realización de cuestionarios planta por planta y se dan ejemplos al respecto. En el momento en que se dispone de estadísticas sobre actividad, se pueden calcular los límites de liberaciones potenciales aplicando los factores de emisión más altos y más bajos a la actividad general. Esta información contribuirá a la fijación de prioridades para un acopio de datos más detallados.

Con el fin de que los inventarios sean claros, coherentes y comparables se dan directrices para la presentación de los resultados. Además, los resultados se pueden ir actualizando y mejorando a medida que se actualicen y perfeccionen las estadísticas de actividad y los factores de emisión. Cuando se disponga de datos medidos o se hayan hecho cálculos nacionales, el Instrumental está diseñado de forma que permita su inclusión junto a las estimaciones obtenidas a partir de los factores de emisión por defecto. Así pueden apreciarse las carencias de datos, las incertidumbres y las diferencias entre los procesos en un país y los factores de emisión generados a partir de las publicaciones internacionales.

Los inventarios finales de país mostrarán claramente que se han tomado en consideración

todas las posibles fuentes, incluso si no hay actividad o ésta es insignificante en ese país. Para cada fuente de un país existirá una estimación de liberaciones a todos los medios sobre los que haya suficientes datos y una indicación de la magnitud probable en caso de que no se disponga de la totalidad de los datos. Se puede incluir además información adicional como planes para mejorar los procesos o para la inminente clausura de plantas. Considerado en su conjunto, este proceso facilitará la interpretación de los resultados y el establecimiento de un orden de prioridades para las actividades futuras.

1 INTRODUCCIÓN

Dioxinas y furanos, más exactamente dibenzo-*p*-dioxinas policloradas (PCDD) y dibenzofuranos policlorados (PCDF) son dos de los doce Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP) que se consideran en las negociaciones dirigidas a un tratado mundial. La decisión 18/32 adoptada en Nairobi en mayo de 1995 se refiere directamente a la necesidad de adoptar medidas internacionales para reducir y eliminar las liberaciones y emisiones de los COP.

En su decisión 19/13 C, de 7 de febrero de 1997, el Consejo de Administración (CA) pidió a la Directora Ejecutiva del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) que, junto con las organizaciones internacionales competentes, convocase un comité intergubernamental de negociación (CIN). El CIN había de preparar un instrumento internacional jurídicamente vinculante para poner en práctica medidas internacionales respecto de doce COP especificados. Además, solicitó que el PNUMA preparara y compartiese información sobre los siguientes temas: alternativas a los COP, inventarios de PCB y de la capacidad de destrucción disponible, y fuentes y estrategias de gestión de PCDD/PCDF.

En cumplimiento de esas peticiones, Productos Químicos, PNUMA, inició varias actividades dirigidas a ayudar a los países a preparar las negociaciones previas a la convención. Alentado por la Directora Ejecutiva del PNUMA, el Dr. Klaus Töpfer, PNUMA, convocó varios talleres regionales y subregionales de concienciación con los que se pretendía informar a los países acerca de las próximas negociaciones sobre los COP y las características de estas sustancias. Además, el PNUMA ha iniciado actividades de intercambio de información sobre COP, incluida la preparación de directrices para identificar y cuantificar las fuentes.

Entre julio de 1997 y junio de 1998, se han convocado ocho talleres conjuntamente con el IFCS (Foro Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas)². Se confirmó que el problema de los COP afecta al mundo entero pero que ciertas cuestiones concretas difieren entre unas regiones y otras. Una demanda frecuente de los participantes en esos talleres era la de que se les ayudase a evaluar liberaciones de PCDD y PCDF en sus países y/o regiones. Los participantes expresaron la inquietud que les causaban los posibles efectos de estos compuestos, que se forman como productos secundarios no deseados en cierto número de procesos.

Recientemente Productos Químicos, PNUMA, ha revisado el escaso número de inventarios nacionales de PCDD/PCDF existentes. Es de lamentar que estos inventarios no se hayan compilado de forma comparable. No existe ninguna lista de fuentes que se haya preparado con ese fin (aún se están descubriendo nuevas fuentes y en diferentes países predominan fuentes distintas) y la intensidad de las fuentes puede variar con la nueva información y los cambios tecnológicos. Varios inventarios no se ocupan de fuentes potencialmente importantes de PCDD/PCDF por poseer información insuficiente, lo que puede conducir a la errónea conclusión de que se trata de fuentes no significativas. A partir de 1999 y a lo largo

² Estos talleres se celebraron en San. Petersburgo – Federación de Rusia, Bangkok – Tailandia, Bamako – Malí, Cartagena – Colombia, Lusaka – Zambia, Puerto Iguazú – Argentina, Krajnska Gora – Eslovenia, y Abu Dhabi – Emiratos Arabes Unidos.

del año 2000, Productos Químicos, PNUMA, está poniendo en práctica un programa de establecimiento de capacidad y reuniendo talleres de formación con el fin de ayudar a los países a preparar la convención relativa a los COP. Parte integrante de esa preparación es el presente “Instrumental normalizado para la identificación y cuantificación de liberaciones de dioxinas y furanos”.

2 OBJETIVOS Y LIMITACIONES

2.1 Objetivos

Con el “Instrumental” se ha tratado de preparar una metodología sencilla y normalizada y una base de datos acompañante que facilite la reunión de inventarios nacionales y regionales de PCDD/PCDF compatibles. Incluye un procedimiento recomendado por el PNUMA para la compilación eficaz de inventarios de fuentes y liberaciones de PCDD/PCDF. Sólo unas series de datos comparables sobre fuentes de liberaciones de PCDD/PCDF podrán dar una clara imagen global de la escala de estas liberaciones, como paso previo para establecer un orden de prioridades entre las medidas dirigidas a controlar o reducir esas liberaciones. La comparabilidad internacional es la meta de este proceso.

La compilación de los inventarios debe hacerse con eficiencia de recursos (es decir, que no exija demasiado tiempo su acopio) y suficientemente exacta como para que permita identificar con fidelidad cuáles son las fuentes principales y las carencias de datos fundamentales. Los inventarios habrán de estar presentados de forma normalizada. Para aplicar el Instrumental y compilar un inventario no es necesario realizar pruebas de emisiones.

Además, el Instrumental está diseñado de forma que sea adaptable. La base de datos sobre factores de emisión se puede revisar y mejorar en respuesta a la recepción de nuevos datos sobre emisiones o a perfeccionamientos de los procesos. Se trata de una pantalla, no de un registro exhaustivo, y está diseñado de tal forma que asegure la identificación positiva de la gran mayoría de las fuentes significativas. Se ha considerado que la rapidez y facilidad de utilización son más importantes para los usuarios del Instrumental que la meta inalcanzable de una precisión del 100%.

Incluye:

- Una metodología efectiva para identificar procesos industriales y no industriales liberadores de PCDD y PCDF y entre ellos poder identificar a los más importantes.
- Directrices para reunir información acerca de procesos importantes, de manera que se les pueda agrupar por clases que tengan emisiones similares.
- Una base de datos sobre factores de emisión detallada y dinámica que facilite datos por defecto adecuados que sean representativos de clases de procesos.
- Directrices para la preparación de un inventario y la presentación de los hallazgos utilizando tanto factores de emisión por defecto como datos específicos de país, de manera que los inventarios resultantes sean comparables. La presentación de los datos prevé la existencia de lagunas y dará límites de emisión cuando no se pueda realizar una clasificación exacta.

El Instrumental está diseñado de manera que sea aplicable a todos los países. Puede acomodar datos específicos de país que complementen factores de emisión por defecto.

Diferentes países investigarán cada sector de forma distinta según los recursos disponibles y las prioridades locales con respecto a una determinada fuente. Tal vez en algún momento del futuro, cuando se disponga de más información o recursos, convenga realizar un esfuerzo adicional en relación con determinadas fuentes. La utilización de factores de emisión por defecto junto a datos medidos localmente contribuirá a refinar y mejorar el Instrumental para su uso en otros países.

2.2 Limitaciones

La mayoría de los inventarios disponibles se refieren a países industrializados y desarrollados. Una reciente revisión (PNUMA, 1999) identificaba 15 inventarios de este tipo, pero ni por su forma de preparación ni por su presentación son contemporáneos ni uniformes. Es posible que no incluyan datos nuevos ni cambios tecnológicos importantes (por ejemplo, reducciones de emisiones de determinados sectores industriales para atenerse a nuevos reglamentos).

En ciertos casos las estimaciones de liberaciones sólo se referían a subseries de procesos (por ejemplo, sólo a procesos industriales). Algunos obtenían sus factores de emisión a partir de otras publicaciones, con lo que suplementaban las mediciones locales de emisiones, pero en casi todos los casos reflejaban procesos y factores de emisión deducidos de países desarrollados. Es relativamente poco lo que se sabe sobre procesos y factores de emisión referidos a procesos y tecnologías utilizados en países menos desarrollados ni sobre piensos o materias primas para procesos específicos de región.

Un inventario puede facilitar valiosa información sobre la magnitud de las liberaciones a cada medio ambiental y sobre productos y residuos. En cambio, no puede dar una orientación precisa acerca del impacto relativo de esas liberaciones sobre el ser humano o la exposición de ecosistemas, ya que el destino de los PCDD y PCDF varía considerablemente entre unas liberaciones y otras.

El proceso de reunir los inventarios puede ser complejo y en él intervienen diversas partes interesadas, de manera que el Instrumental se debe utilizar en el marco de los talleres de formación del PNUMA y con otras informaciones pertinentes. Como no se necesita medir emisiones, este Instrumental **no** dará resultados exactos en lo que se refiere a liberaciones nacionales o regionales de PCDD/PCDF. Se trata de identificar rápidamente las principales fuentes de PCDD/PCDF y, por consiguiente, dar una imagen general de la escala de las liberaciones. Por consiguiente, los Inventarios de Dioxinas que se deduzcan podrán ayudar a los países a dirigir sus esfuerzos a cuantificar y mitigar el problema de las liberaciones de PCDD/PCDF. Contribuirá asimismo a señalar la importancia relativa que dioxinas y furanos han de tener en un plan nacional de acción de un país.

La mayoría de los factores de emisión por defecto se refieren a emisiones a la atmósfera medidas a partir de fuentes puntuales identificables y bien controladas, y están diseñados para que sean representativos de las emisiones medias de cada proceso dentro de una clase. Son mucho menos disponibles las estimaciones de emisiones de procesos escasamente controlados, en pequeña escala o ampliamente dispersos. Son muy pocos los estudios que han

examinado con detalle las liberaciones al agua y a la tierra o con residuos y productos³. Productos Químicos, PNUMA, invita a que se le envíen datos adicionales, en particular datos basados en pruebas de emisiones, de manera que puedan rellenarse las lagunas de datos existentes y se pueda ir mejorando continuamente la calidad de los factores de emisión por defecto.

³ Un estudio reciente de la Comisión Europea se ocupa de las liberaciones de PCDD/PCDF a la tierra y al agua (EC 1999).

3 FORMACIÓN Y LIBERACIÓN DE PCDD Y PCDF

3.1 Formación de PCDD/PCDF

Los PCDD/PCDF se forman como productos secundarios no deseados en gran diversidad de procesos. Se encuentran ampliamente distribuidos en el medio ambiente y pueden estar presentes en procesos fabriles como materias primas o productos. Por consiguiente, las liberaciones o transferencias de PCDD/PCDF se pueden producir incluso en los lugares donde no se formen PCDD/PCDF en los procesos que se consideran.

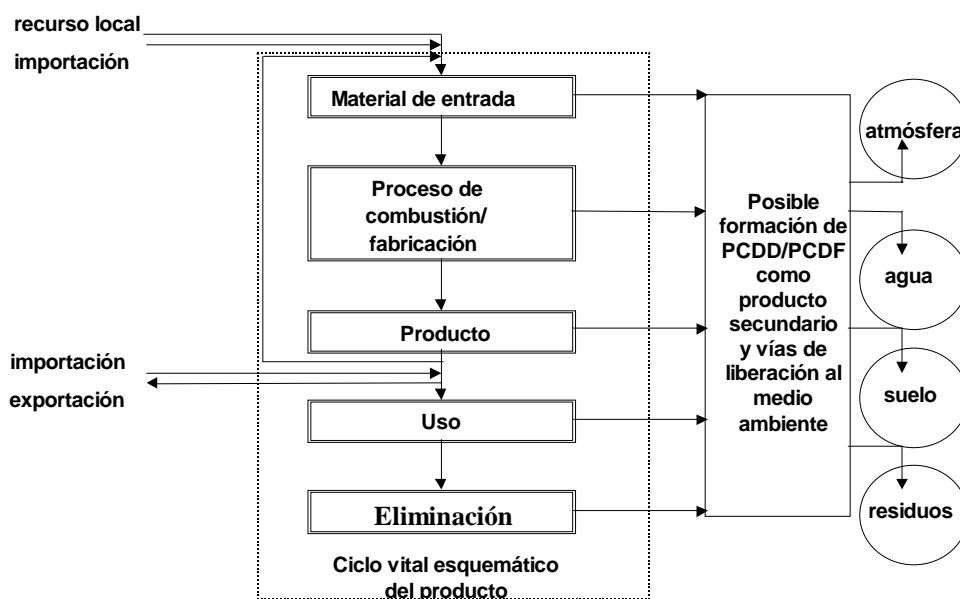
Los PCDD/PCDF persisten en el medio ambiente y pueden transferirse entre unos medios y otros (por ejemplo, desde la escorrentía del suelo al agua). Estas transferencias pueden contribuir en medida importante a la exposición humana a los PCDD/PCDF pero en este Instrumental no se va a tratar de la cuantificación de las liberaciones a partir de estas llamadas fuentes reservorios. Las liberaciones a partir de las fuentes reservorios se controlan mediante factores ambientales específicos de lugar. Este Instrumental se centra en aquellas actividades que se encuentran bajo el control directo humano.

El Instrumental se ocupa de las liberaciones *directas* y de las transferencias de PCDD/PCDF a los cinco compartimientos y/o medios siguientes (Figura 1):

- Atmósfera
- Agua (dulce, océanos, estuarios; después, en sedimentos)
- Tierra (suelos)
- Desechos (incluidos líquidos, lodos y residuos sólidos, que se manejan y eliminan como desechos o, sobre todo, productos reciclados)
- Productos (como preparaciones químicas o bienes de consumo como papel, textiles, etc.).

Los reservorios altamente contaminados que pueden servir como fuente “reservorio” se tratan en una categoría separada.

Como todas las fuentes y transferencias son importantes para el responsable de adoptar decisiones relativas a las liberaciones y transferencias de PCDD/PCDF, van a tomarse en consideración los cinco compartimientos.



Determinación de las posibles vías de liberación de PCDD/PCDF

Figura 1: Posibles vías de liberación de PCDD/PCDF como producto secundario hacia los tres medios ambientales atmósfera, agua y tierra y/o a productos y desechos. Nota: en esta figura no se incluyen los reservorios pero éstos pueden hallarse presentes en el compartimiento “suelo”.

Las emisiones de PCDD y PCDF proceden de cuatro tipos distintos de fuentes. Se relacionan con tres procesos:

- Procesos de producción química – por ejemplo, la producción de fenoles clorados y la oxiclорación de piensos mixtos para fabricar ciertos solventes clorados, o la producción de pasta y papel – en general se pueden tratar y controlar mediante modificaciones del proceso o sustitución del producto;
- Procesos térmicos y de combustión – incluida la incineración de desechos, la utilización de combustibles sólidos y líquidos, y el procesamiento térmico de metales;
- Procesos biogénicos, que pueden formar PCDD/PCDF a partir de precursores – existen algunas pruebas de que esto puede suceder con el compostado.

El cuarto proceso se relaciona con una formación previa:

- Fuentes de reservorios como antiguos vertederos de desechos contaminados y suelos y sedimentos, que pueden haber acumulado PCDD/PCDF durante largos períodos de tiempo.

3.2 Liberaciones directas de PCDD/PCDF

3.2.1 Liberaciones a la atmósfera

Las liberaciones de PCDD/PCDF a la atmósfera se producen o bien a partir de fuentes fijas, asociadas sobre todo a actividades industriales como la producción y fabricación, o de fuentes difusas o dispersas, que en la mayor parte de los casos se relacionan con el uso y aplicación de productos que contienen PCDD/PCDF. Los PCDD/PCDF emitidos de cualquiera de esas dos categorías de fuentes pueden ser transportados a largas distancias, de esta forma pueden detectarse PCDD/PCDF en la atmósfera en lugares muy distantes de donde fueron originalmente liberados.

Entre los procesos que liberan PCDD/PCDF a la atmósfera figuran los gases de salida de:

- Procesos de combustión;
- Operaciones de procesamiento de metales, por ejemplo, sinterización, fundiciones metálicas, etc.;
- Operaciones de secado y cocción, ahumaderos, etc.;
- Otros procesos térmicos industriales, por ejemplo, pirólisis, reciclado de cenizas, termofraccionamiento (*cracking*), etc.

Cuatro circunstancias, combinadas o por separado, pueden dar lugar a la generación de PCDD/PCDF y su liberación a la atmósfera:

- Procesos de alta temperatura (más de 200 °C) y/o combustión incompleta;
- Carbono orgánico;
- Cloro;
- Productos que contienen PCDD/PCDF.

Las posibilidades reales de formación de dioxina y la liberación que verdaderamente se produzca dependerán de las circunstancias del proceso y los controles que se apliquen contra la contaminación atmosférica. Ya se han obtenido para muchos procesos tecnologías que permiten reducir la formación de PCDD/PCDF y controlar sus emisiones hasta concentraciones muy bajas. Como Compendio para Reducir las Emisiones de PCDD/PCDF (PNUMA, 2001) se va a publicar una descripción de las técnicas y tecnologías que permiten prevenir y reducir las emisiones de dioxina.

3.2.2 Liberaciones al agua

Las liberaciones de PCDD/PCDF al agua pueden producirse mediante la descarga de aguas efluentes, la escorrentía a partir de lugares contaminados o la aplicación de sustancias/productos químicos contaminados por la dioxina, por ejemplo, la aplicación directa de plaguicidas, el vertido de desechos, etc. Pueden hallarse PCDD/PCDF en un vertedero siempre que se hayan formado en procesos de producción industrial, hayan

ingresado en procesos industriales junto con los materiales de entrada o hayan sido lixiviados a partir de un depósito. Por ejemplo:

- Descarga de aguas servidas a partir de la producción de pasta y papel utilizando elemento cloro;
- Descarga de aguas servidas a partir de procesos de producción química en los que intervenga el cloro elemento;
- Descarga de aguas servidas procedentes de la utilización de conservadores contaminados por dioxina o productos de teñido de textiles, cuero, madera, etc.;
- Otras descargas de aguas servidas procedentes de procesos claramente asociados a los PCDD/PCDF en uno por lo menos de los otros cuatro compartimientos y/o medios ambientales, o
- Descarga de aguas servidas a partir de operaciones domésticas normales (máquinas de lavar, lavavajillas, etc.).

La liberación de aguas servidas en forma de lixiviados a aguas de superficie y/o aguas subterráneas puede ser deliberada o no. Se produce el lixiviado cuando se permite que el agua pluvial circule a través de depósitos inadecuadamente protegidos de productos, residuos y/o desechos que contienen PCDD/PCDF. También pueden mobilizarse cuando se ha producido una evacuación simultánea de solventes orgánicos. Por ejemplo:

- Sectores contaminados por PCDD/PCDF, como lugares de producción o manejo de herbicidas de clorofenol;
- Lugares donde existen industrias madereras;
- Cementerios de chatarra, en particular cuando contienen aceites de desecho de automóviles.

En consecuencia, entre los criterios utilizados para identificar posibles liberaciones de PCDD/PCDF al agua, figuran los siguientes:

1. Descarga de aguas servidas de procesos en los que interviene el cloro y/o productos contaminados por PCDD/PCDF, o procesos de combustión, incineración y otros procesos térmicos en los que se han utilizado depuradores húmedos para limpiar los gases de escapes;
2. Uso de plaguicidas contaminados por PCDD/PCDF (en particular, el PCP y el 2,4,5-T) y otras sustancias químicas (en particular los PCB);
3. Lixiviados procedentes de lugares de almacenamiento y/o evacuación de materiales contaminados por PCDD/PCDF.

3.2.3 Liberaciones a la tierra

Las fuentes que liberan PCDD/PCDF a la tierra se pueden dividir en dos clases: productos contaminados por PCDD/PCDF “aplicados” directamente a la tierra o PCDD/PCDF depositado en la tierra a través de procesos ambientales. En todos los casos, la tierra sirve de sumidero para los PCDD/PCDF y a partir de ella pueden liberarse para pasar a la cadena alimentaria cuando los captan plantas y/o animales.

Pueden darse como ejemplos:

- Utilización de productos o desechos contaminados por PCDD/PCDF, por ejemplo, plaguicidas, conservadores de la madera;
- Aplicación de lodos de alcantarilla en la agricultura;
- Evacuación directa a la tierra de desechos que contienen PCDD/PCDF.

En el Instrumental no se trata del depósito de PCDD/PCDF a la tierra a través de la atmósfera.

3.2.4 Liberaciones con productos

Antes las principales fuentes de contaminación ambiental por PCDD/PCDF estaban relacionadas con la producción y el uso de productos químicos orgánicos clorados y con la utilización de cloro elemento en la industria de la pasta y el papel. En estos procesos, cuatro factores favorecen la formación de PCDD/PCDF:

- Temperaturas elevadas;
- Un medio alcalino;
- La presencia de luz ultravioleta, y
- La presencia de radicales en los procesos de reacción mezcla/química.

Las más elevadas concentraciones de PCDD/PCDF se han hallado en fenoles clorados y sus derivados, por ejemplo, pentaclorofenol (PCP y su sal sódica), ácido 2,4,5-triclorofenoxiacético (2,4,5-T) o bifenilos policlorados (PCB). Desechos y residuos de su producción también están contaminados por PCDD/PCDF.

Se han reducido los PCDD/PCDF gracias a una modificación de la etapa problemática del proceso de producción. También se han conseguido reducir las liberaciones restringiendo los usos de la sustancia química, mediante su sustitución o su prohibición en ciertos casos. Este tipo de control de fuente afecta a los PCDD/PCDF en todos los puntos del ciclo de vida del producto, incluido el desecho procedente del consumo. Un control efectivo de la fuente de PCDD/PCDF al producto reporta al mismo tiempo beneficios para otros varios compartimientos y medios ambientales.

3.2.5 Liberaciones con residuos

Es prácticamente infinito el número de procesos que pueden transferir PCDD/PCDF a desechos o residuos. De todas formas se pueden clasificar los tipos de desechos más probables según su origen, ya que los PCDD/PCDF son siempre productos secundarios. Figuran entre los ejemplos:

- Basura doméstica, escombros y desperdicios (municipales, industriales, peligrosos, médicos, etc.);
- Productos secundarios de desecho procedentes de procesos de combustión y térmicos

(cenizas volantes, cenizas depositadas, hollín, etc.);

- Residuos de producción y productos residuales (lodos y residuos de producción química, lodo de alcantarilla del tratamiento de aguas servidas, desechos de plaguicidas, aceite de desecho de transformadores, etc.).

Como los PCDD/PCDF son persistentes y se dispersan ampliamente en el medio ambiente, se pueden hallar bajas concentraciones en desechos sólidos municipales normales y en los desechos sólidos industriales, hospitalarios y de otros tipos recogidos en el curso de las actividades cotidianas normales. Se incluyen productos de consumo como plásticos, papel, ropa, productos químicos domésticos y alimentos, y en particular productos utilizados en la industria como solventes, aceites, pinturas, etc.

Los PCDD/PCDF se concentran en las corrientes de desechos sólidos procedentes de la combustión y de procesos térmicos industriales, como cenizas volantes, cenizas depositadas y polvo de otros tipos. Las partículas procedentes de la combustión y de procesos térmicos industriales contienen carbón no incinerado en el cual se absorben los PCDD/PCDF. Cenizas volantes y polvos finos recogidos a partir de procesos térmicos industriales contienen como subproducto PCDD/PCDF en forma concentrada.

En general, el control de los procesos de baja combustión y la elevada eficiencia de retención de partículas del sistema de control de la contaminación atmosférica (SCCA) hacen que las concentraciones más elevadas de PCDD/PCDF aparezcan en los residuos sólidos. La sinterización de mineral de hierro sirve como perfecto ejemplo. La combustión carece prácticamente de control en el interior del lecho de sinterizado; la retención de cenizas volantes por el SCCA es muy eficiente de manera que se recupera una gran parte del contenido de hierro de las cenizas. Por consiguiente, se puede esperar una concentración significativa de PCDD/PCDF en las cenizas volantes procedentes de la sinterización del mineral de hierro.

La producción química en la que interviene cloro elemento produce desechos con concentraciones variables de PCDD/PCDF. Tanto si se trata de la producción de plaguicidas que contienen cloro como del blanqueado con cloro en la producción de papel, los procesos de producción química que se basan en el cloro elemento o que de alguna forma lo utilizan producen corrientes de desechos. En general estos desechos contienen ciertas cantidades de PCDD/PCDF. En el capítulo 6.7 se dan detalles acerca de las causas por las que los PCDD/PCDF se concentran en la corriente de desechos.

Es evidente que los efluentes procedentes de la fabricación de pasta y papel, así como las aguas de alcantarillas municipales constituyen corrientes de desechos contaminadas por PCDD/PCDF. Los residuos restantes tras el tratamiento biológico de las aguas de desechos constituyen el lodo, que en muchos casos está contaminado por PCDD/PCDF. En general, los niveles de vida más elevados producen lodos de alcantarilla con contaminaciones más altas de PCDD/PCDF y los productos de consumo son la fuente.

Merece destacarse el hecho de que los PCDD/PCDF pueden hallarse asociados predominantemente con una sola de las corrientes de residuos procedentes de un proceso mientras que las demás corrientes contienen niveles bajos o insignificantes. Así, por ejemplo, los procesos térmicos concentran con frecuencia los PCDD/PCDF en los residuos procedentes de las operaciones de limpieza de gases de escape (cenizas volantes) mientras que las cenizas de rejilla presentan bajas concentraciones de PCDD/PCDF.

El potencial que tienen los residuos de causar contaminación o exposición ambiental a los PCDD/PCDF depende en gran medida de cómo se traten y evacuen. Por ejemplo, mientras que en unos desechos contaminados procedentes de la industria química e incinerados con eficacia se habrán destruido todos los PCDD/PCDF presentes, unos residuos lanzados a un vertedero crearán una fuente reservorio. Además, los residuos de un proceso pueden utilizarse como materia prima para otro proceso y sin los controles adecuados se pueden producir liberaciones de PCDD/PCDF a la atmósfera, al agua o con los productos.

3.2.6 Puntos calientes potenciales

Los puntos calientes potenciales se incluyen como una categoría para la evaluación (véase la sección 4.1). Esta categoría 10 difiere de las otras nueve en el sentido en que los puntos calientes son lugares que no están liberando ni van a liberar inmediatamente PCDD/PCDF. Contaminación que descende de anteriores operaciones, tiene el potencial de llegar a ser una fuente en el futuro. Aunque los puntos calientes no se incluyen en el Inventario de fuentes de dioxina con valores numéricos, es importante identificarlos.

Los puntos calientes pueden consistir en lugares donde se han fabricado o se están fabricando productos contaminados con PCDD/PCDF. Esto puede ser consecuencia del almacenamiento del producto, su evacuación como desecho o su aplicación durante un largo período. Aunque las concentraciones de PCDD/PCDF en estos puntos calientes pueden ser muy elevadas, las liberaciones por el momento pueden ser despreciables o mínimas. Ello no obstante es preciso identificar y registrar los puntos calientes. En muchos casos, una vez catalogados, no será necesario tomar ninguna otra medida por el momento, a condición de que no haya una amenaza inmediata de liberación considerable. En aquellos casos de escasa urgencia, los puntos calientes se evaluarán y se realizará un plan de acción a más largo plazo.

Si un determinado punto caliente ha empezado ya a liberar grandes cantidades de PCDD/PCDF o es previsible que vaya a haber una liberación inminente, se introducirá en el inventario de fuentes, se anotará la correspondiente urgencia y se dispondrá la adopción de las consiguientes medidas de remedio. En cualquier caso, es necesario realizar una cuidadosa y detallada evaluación específica del lugar y del punto caliente. En la actualidad, bajo la dirección de Productos Químicos, PNUMA, se está poniendo en práctica el proyecto del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) titulado “Evaluación en base regional de sustancias tóxicas persistentes (STP)”. Con él se podrá establecer una base de datos para un inventario global de STP, incluidos los PCDD/PCDF. Una clasificación y una breve evaluación de los reservorios y puntos calientes no dejará de ser útil para otros proyectos del PNUMA.

4 PROTOCOLO PARA LA PREPARACIÓN DEL INVENTARIO

El objetivo fundamental del Instrumental consiste en facilitar una estimación de la liberación anual media a cada vector (atmósfera, agua y tierra, en productos y residuos) para cada uno de los procesos identificados. La estimación puede calcularse por la siguiente ecuación básica:

$$\textit{Intensidad de la fuente (emisiones de dioxina por año)} = \textit{factor de emisión} \times \textit{“tasa de actividad”} \textit{(1)}$$

La emisión de PCDD/PCDF al año se calculará y presentará en gramos de equivalentes de toxicidad (EQT) por año. La **intensidad de la fuente** anual se calcula multiplicando la liberación de PCDD/PCDF (por ejemplo, en μg de EQT-I) por unidad de material de entrada procesado o de producto producido (por ejemplo, toneladas o litros) – lo que se denomina **factor de emisión** – por la cantidad de material de entrada procesado o producto producido (toneladas o litros al año) – lo que se denomina **tasa de actividad**.

El Instrumental está previsto para preparar los datos de actividad necesarios y facilitar un medio de clasificar procesos y actividades en clases, para las cuales se facilita el correspondiente factor medio de emisión.

El Instrumental consiste en un procedimiento normalizado en cinco etapas dirigido a obtener inventarios de fuentes coherentes y comparables (véase la Figura 2). En primer lugar, se utiliza una matriz aproximada de selección para identificar las principales categorías de fuentes de PCDD/PCDF existentes en un país. La segunda etapa detalla esas categorías principales de fuentes dividiéndolas en subcategorías con miras a identificar aquellas actividades concretas que pueden liberar PCDD/PCDF.

En la tercera etapa se utiliza una información específica de proceso para caracterizar, cuantificar y, en último término, clasificar las fuentes de liberación de PCDD/PCDF identificadas en un determinado país o región. Se distribuye un cuestionario normalizado que puede ser útil para obtener la necesaria información.

En una cuarta etapa, se calculan las emisiones sobre la base de la información obtenida en las etapas anteriores a través de la ecuación (1). A continuación, la última etapa consiste en compilar el inventario normalizado de PCDD/PCDF utilizando los resultados obtenidos en las etapas 1 a 4.

Se distribuye también una forma de presentación normalizada con el fin de asegurarse de que se incluyen todas las fuentes (incluso si no se pueden cuantificar), que pueden detectarse lagunas de datos y que los inventarios son comparables y transparentes.

- 1. Aplicar la matriz de selección a la identificación de las principales categorías de fuentes**
- 2. Revisar las subcategorías para identificar las actividades y fuentes existentes en el país**
- 3. Acopiar información detallada sobre los procesos y clasificar los procesos en grupos similares aplicando el cuestionario normalizado**
- 4. Cuantificar las fuentes identificadas valiéndose de factores de emisión por defecto/medidos**
- 5. Utilizar la escala nacional para establecer el inventario completo y notificar los resultados utilizando las directrices que se dan en la forma normalizada**

Figura 2: El método en cinco etapas recomendado para preparar un inventario nacional de liberación de PCDD/PCDF utilizando el Instrumental

Los cuadros y las figuras se facilitan a modo de hojas de trabajo con el fin de destacar la estructura normalizada del Instrumental y también de que se obtengan todos los datos sobre fuentes necesarios. Los propios factores de emisión se irán poniendo al día, mejorando o modificando a medida que se vaya obteniendo más información.

4.1 Etapa 1: Matriz de selección: Principales categorías de fuentes

La primera etapa para preparar un inventario de fuentes de PCDD/PCDF normalizado consiste en identificar las principales categorías de fuentes y las principales vías de liberación para cada categoría. La matriz de selección aproximada (Cuadro 1) facilita una evaluación preliminar de actividades (industrias, utilizaciones de productos, actividades domésticas, etc.) que pueden liberar PCDD/PCDF a uno o más de los cinco compartimientos y/o medios tal como antes se definieron.

Cuadro 1: Matriz de selección – Principales categorías de fuentes

| No. | Principales categorías y subcategorías de fuentes | Atmósfera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
|-----|---|---|------|--------|-----------|----------|
| 1 | Incineración de desechos | X | | | | X |
| 2 | Producción de metales ferrosos y no ferrosos | X | | | | X |
| 3 | Generación de energía y calefacción | X | | X | | X |
| 4 | Productos minerales | X | | | | X |
| 5 | Transportes | X | | | | |
| 6 | Procesos de combustión incontrolados | X | X | X | | X |
| 7 | Producción y uso de sustancias químicas y bienes de consumo | X | X | | X | X |
| 8 | Varios | X | X | X | X | X |
| 9 | Evacuación | X | X | X | | X |
| 10 | Identificación de posibles puntos calientes | Registro probable que irá seguido solamente de una evaluación específica de lugar | | | | |

Estas principales categorías de fuentes de PCDD/PCDF son suficientemente amplias como para abarcar gran variedad de industrias, procesos y/o actividades conocidos como posibles causas de liberaciones de PCDD/PCDF. Las diez categorías principales de fuentes se han previsto de forma que reúnan ciertas características comunes y tengan una complejidad manejable. Las X indican cuáles son las principales vías de liberación de cada categoría.

La matriz de selección aproximada puede servir para dar algunas directrices con respecto a sectores en los que se requerirá información y puede influir sobre la selección de un equipo o para el acceso al asesoramiento y pericia que podrían necesitarse para la realización de las actividades de reunión de información más detallada.

4.2 Etapa 2: Identificación de subcategorías

A continuación se identifican procesos o subcategorías dentro de cada una de las categorías principales de fuentes. Para que sean comparables, cada una de las tres categorías principales de fuentes se ha dividido en una serie de subcategorías (que se describen en las secciones 4.2.1 a 4.2.10). La lista de subcategorías da la matriz resumida del inventario de fuentes de dioxina, que se va a preparar (véase la sección 5.2).

Para cada una de las subcategorías mencionadas, una investigación determinará la presencia o ausencia en el país o región de la actividad de que se trate. En esta etapa es sumamente importante disponer de datos fácilmente accesibles (por ejemplo, toneladas al año de desechos incinerados). Lo más adecuado para ello será el disponer de una información estadística centralizada. Una investigación ulterior permitirá eliminar aquellas categorías que con seguridad no estén presentes. De todas formas, en el inventario se señalará la ausencia del proceso de que se trate.

Cuando se disponga de datos básicos sobre actividad se podrán realizar unas estimaciones preliminares de emisiones potenciales (véase la sección 5.1). Incluso una información

incompleta puede ser útil ya que contribuirá a orientar los esfuerzos ulteriores de cuantificación. Se dan listas de subcategorías para cada una de las categorías principales de fuentes y para las principales vías de liberación de cada una de las subcategorías o procesos. En las columnas se identifican los cinco compartimientos o medios hacia los cuales se pueden liberar cantidades significativas de PCDD/PCDF. Las “X” mayúsculas señalan la vía de liberación supuestamente predominante, mientras que las “x” minúsculas muestran otras vías adicionales de liberación que deben tenerse en cuenta.

4.2.1 Subcategorías de la incineración de desechos

En el Instrumental, la incineración de desechos se clasifica en función de los tipos de desechos incinerados (Cuadro 2). En este contexto se entiende por incineración la destrucción en cualquier tipo de horno técnico; la incineración al aire libre y la incineración doméstica en bidones o cajas no se incluye entre estas subcategorías; se incluye en la sección 4.2.6 – Combustión incontrolada.

Cuadro 2: Subcategorías de la matriz del inventario – Sector 1

| No. | Categorías y subcategorías principales | Posibles vías de liberación | | | | |
|----------|---|-----------------------------|------|--------|------------|-----------|
| | | Atmós-fera | Agua | Tierra | Produc-tos | Resi-duos |
| 1 | Incineración de desechos | X | | | | X |
| a | Incineración de desechos sólidos municipales | X | (x) | | | x |
| b | Incineración de desechos peligrosos | X | (x) | | | x |
| c | Incineración de desechos médicos | X | (x) | | | x |
| d | Incineración de desechos de desguace, fracción ligera | X | | | | x |
| e | Incineración de lodos de alcantarilla | X | (x) | | | x |
| f | Incineración de maderas de desecho y biomasa de desecho | X | | | | x |
| g | Combustión de cadáveres de animales | X | | | | x |

Cada subcategoría representa por sí misma a todo un sector industrial. Los desechos difieren por sus características de combustión, y sus equipos de combustión también difieren normalmente para cada una de las subcategorías de incineración de desechos.

Las principales liberaciones se producen hacia la atmósfera pero también los residuos pueden contener elevadas concentraciones de PCDD/PCDF. Las liberaciones al agua tienen escasa importancia y sólo en los casos en los que se utilizan depuradores húmedos para el tratamiento de los gases de escape y en los que se liberan partículas cargadas de PCDD/PCDF. Un tratamiento de aguas de desecho adecuado puede fácilmente transferir los PCDD/PCDF desde los efluentes a los residuos (es decir, desde la fase acuosa a la fase sólida).

4.2.2 Subcategorías de la producción de metales ferrosos y no ferrosos

En la actualidad la producción de metales ferrosos y no ferrosos constituye la principal fuente

de PCDD/PCDF en numerosos países europeos. Esta fuente no se ha reconocido hasta hace relativamente poco tiempo, y aún son muchos países los que la ignoran. Esta categoría engloba muchos procesos distintos y gran variedad de puntos de liberación; estas características dificultan la clasificación y cuantificación de las liberaciones.

En el Instrumental, esta categoría principal de fuente comprende doce subcategorías, cada una de las cuales se refiere a un proceso específico. Los importantes procesos de producción de metales son en su mayoría térmicos y la mayor parte de las liberaciones se producen en la atmósfera a través de los gases de salida y con residuos mediante los desechos de la limpieza de los gases de salida. En el caso de la recuperación del cobre es muy conocida la contaminación del suelo y del agua por PCDD/PCDF resultante de la incineración de cables.

Cuadro 3: Subcategoría de la matriz del inventario – Sector 2

| No. | Categorías y subcategorías principales | Posibles vías de liberación | | | | |
|----------|---|-----------------------------|------|--------|-----------|----------|
| | | Atmósfera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| 2 | Producción de metales ferrosos y no ferrosos | X | | | | X |
| | a Sinterización de metal de hierro | x | | | | X |
| | b Producción de cok | x | X | x | x | x |
| | c Producción y fundición de hierro y acero | x | | | | x |
| | d Producción de cobre | x | | | | x |
| | e Producción de aluminio | x | | | | x |
| | f Producción de plomo | x | | | | x |
| | g Producción de zinc | x | | | | x |
| | h Producción de bronce | | | | | |
| | i Producción de magnesio | | x | | | x |
| | j Producción de otros metales no ferrosos | x | x | | | x |
| | l Desguazadoras | x | | | | x |
| | m Recuperación térmica de cables | x | (x) | x | | x |

4.2.3 Subcategorías de generación de energía y calefacción

En este contexto se entiende por generación de energía y calefacción los procesos de combustión que utilizan combustibles fósiles y otros materiales combustibles. No se incluyen las células de combustible o la generación solar, eólica, hidroeléctrica o nuclear, pues en ninguno de estos casos se ha podido identificar una liberación asociada de dioxinas/furanos. En el Cuadro 4 se citan las correspondientes subcategorías.

Cuadro 4: Subcategorías de la matriz del inventario – Sector 3

| No. | Categorías y subcategorías principales | Posibles vías de liberación | | | | |
|----------|---|-----------------------------|------|--------|------------|-----------|
| | | Atmós-fera | Agua | Tierra | Produc-tos | Resi-duos |
| 3 | Generación de energía y calefacción | X | | | | X |
| | a Plantas de generación de energía por combustibles fósiles | X | | | | X |
| | b Plantas de generación de energía por biomasa | X | | | | X |
| | c Terraplenes, combustión de biogás | X | | | | X |
| | d Cocinas y calefacción doméstica (biomasa) | X | | | | X |
| | e Calefacción doméstica (combustibles fósiles) | X | | | | X |

En las grandes y bien controladas plantas de generación de energía por combustibles fósiles la formación de PCDD/PCDF es escasa ya que normalmente poseen una eficiencia de combustión bastante elevada y utilizan combustibles homogéneos. Pero dado que emiten grandes volúmenes de gases de salida con bajas concentraciones de PCDD/PCDF, es posible que la emisión total de estos productos sea considerable. Cuando se utilizan plantas de menor tamaño o biomasa, el combustible puede ser menos homogéneo y quemarse a temperaturas más bajas o con una eficiencia de combustión disminuida. De ello puede resultar una mayor formación de PCDD/PCDF. Lo mismo puede ocurrir cuando como combustible se utilicen terraplenes y/o biogás, dada la presencia en ellos de constituyentes adicionales indeseables y no bien definidos.

En los casos de calefacción/cocina domésticas y/o familiares, la calidad del combustible utilizado suele ser escasa y la eficiencia de combustión muy baja, de lo que resulta una mayor formación de PCDD/PCDF. Los principales vectores de liberación son la atmósfera (emisiones de gases de salida) y los residuos, principalmente cenizas volantes.

4.2.4 Subcategorías de la producción de minerales

Se trata de procesos de alta temperatura para la fundición (vidrio, asfalto), la cocción (ladrillos, cerámica), o la transformación química termoinducida (cal, cemento). En todos ellos la combustión genera PCDD/PCDF como productos secundarios indeseables. Además también las materias primas utilizadas pueden contribuir a la formación de PCDD/PCDF. Los hornos de cemento y cal se utilizan en procesos de gran volumen y con frecuencia consumen desechos como combustible de escaso o nulo costo. Cuando se han instalado controles eficaces, la utilización de materiales de desecho como neumáticos, aceites usados, lodos, etc., no plantea problemas; se encuentran bajas emisiones. El Cuadro 5 resume los procesos de producción mineral potencialmente importantes.

Cuadro 5: Subcategorías de la matriz del inventario – Sector 4

| No. | Categorías y subcategorías principales | Posibles vías de liberación | | | | |
|----------|--|-----------------------------|------|--------|------------|-----------|
| | | Atmós-fera | Agua | Tierra | Produc-tos | Resi-duos |
| 4 | Producción de productos minerales | X | | | | X |
| | a Producción de cemento | x | | | | X |
| | b Producción de cal | x | | | | X |
| | c Producción de ladrillos | x | | | | X |
| | d Producción de vidrio | x | | | | X |
| | e Producción de cerámica | x | | | | X |
| | f Mezcla de asfalto | x | | | x | X |

4.2.5 Subcategorías de transporte

Los transportes se basan sobre todo en la combustión de gasolina (con o sin plomo), keroseno, mezcla par motores de dos tiempos (normalmente una mezcla de 1:25-1:50 de aceite de motor y gasolina), combustible diesel (conocido también como fueloil), y aceite pesado. En el Cuadro 6 se muestran las subcategorías. El hecho de que la gasolina con plomo produzca las emisiones más elevadas se debe a la presencia de limpiadores halogenados como aditivos al combustible. Un mal mantenimiento, un combustible de baja calidad y una combustión escasamente eficiente producirán con toda probabilidad un aumento de las liberaciones de PCDD/PCDF.

En la mayor parte de los casos las emisiones de los motores de combustión interna producen únicamente liberaciones a la atmósfera. Sólo en algunos casos, cuando se utiliza aceite diesel o aceite pesado en motores de baja eficiencia, se producen residuos de hollín y cok que contienen elevadas concentraciones de PCDD/PCDF.

Cuadro 6: Subcategorías de la matriz del inventario – Sector 5

| No. | Categorías y subcategorías principales | Posibles vías de liberación | | | | |
|----------|--|-----------------------------|------|--------|------------|-----------|
| | | Atmós-fera | Agua | Tierra | Produc-tos | Resi-duos |
| 5 | Transportes | X | | | | |
| | a Motores de 4 tiempos | X | | | | |
| | b Motores de 2 tiempos | X | | | | |
| | c Motores diesel | X | | | | (x) |
| | d Motores de aceite pesado | X | | | | (x) |

4.2.6 Subcategorías de procesos de combustión incontrolados

Normalmente, los procesos de combustión incontrolados son procesos de combustión deficiente y pueden ser fuentes considerables de PCDD/PCDF. El Cuadro 7 diferencia dos categorías. La combustión no controlada de biomasa suele producir menos PCDD/PCDF que la de mezclas de desechos artificiales. Las mezclas de desechos producen emisiones más elevadas a causa de su mala combustión. El proceso se ve además perturbado por la presencia de materiales combustibles no homogéneos y malamente mezclados, de precursores clorados

y de compuestos catalíticamente activos. En todos los casos, los vectores primarios de liberación son la atmósfera y los residuos; pero en ciertas circunstancias también se pueden producir liberaciones al agua y al suelo.

Cuadro 7: Subcategorías de la matriz del inventario – Sector 6

| No. | Categorías y subcategorías principales | Posibles vías de liberación | | | | |
|----------|--|-----------------------------|------|--------|-----------|----------|
| | | Atmósfera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| 6 | Procesos de combustión incontrolados | X | | | | X |
| | a Quema de biomasa (limpia) | X | (x) | (x) | | X |
| | b Quema de desechos e incendios accidentales | X | (x) | (x) | | X |

4.2.7 Subcategorías de producción y uso de sustancias químicas y bienes de consumo

Las liberaciones de dioxinas y furanos resultantes de la producción de sustancias químicas y bienes de consumo puede deberse a la entrada de PCDD/PCDF junto con las propias materias primas o a su formación durante los procesos productivos (Cuadro 8).

Indicadores de alta probabilidad de formación de PCDD/PCDF en los procesos de fabricación química son “la alta temperatura”, “un medio alcalino”, “la presencia de luz ultravioleta como fuente de energía”, y “la presencia de radicales en la reacción mezcla/proceso químico” (véase la sección 6.7.2).

Cuadro 8: Subcategorías de la matriz del inventario – Sector 7

| No. | Categorías y subcategorías principales | Posibles vías de liberación | | | | |
|----------|--|-----------------------------|----------|--------|-----------|----------|
| | | Atmósfera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| 7 | Producción y uso de sustancias químicas y bienes de consumo | X | X | | X | X |
| | a Fábricas de pasta y papel | x | x | | x | x |
| | b Industria química | x | x | (x) | x | x |
| | c Industria del petróleo | x | | | | x |
| | d Fábricas textiles | | x | | x | |
| | e Fábricas de productos de cuero | | x | | x | |

Durante los procesos de producción las liberaciones de PCDD/PCDF pueden pasar a todos los vectores, con excepción el paso directo al suelo. La utilización de cloro elemento para el blanqueo y el uso de ciertos biocidas como los PCP y ciertos tintes (basados en el cloranyl) han contribuido a las liberaciones directas de PCDD/PCDF al agua. Por consiguiente, se concederá gran importancia a la investigación detallada de este pequeño número de posibles fuentes que pueden tener gran importancia por su contribución al problema general.

4.2.8 Subcategorías de varios

El cuadro 9 resume algunas de las subcategorías de varios. En los procesos de secado se pone gas caliente en contacto directo con el material que se ha de secar. La formación de PCDD/PCDF se debe sobre todo a la reacción de los gases calientes con residuos de materias orgánicas. En el caso de la desecación de biomasa y de los secaderos por ahumado estos compuestos consisten sobre todo en fenoles y otros hidrocarburos.

Los crematorios pueden ser una fuente de liberaciones de PCDD/PCDF ya que el proceso de combustión suele ser poco eficiente y los materiales de entrada no son homogéneos. Ataúdes, líquidos de embalsamamiento y materiales de decoración pueden contener sustancias químicas cloradas y plásticos, colores de base metálica y materiales no combustibles.

Los residuos procedentes de la limpieza en seco constituyen otra fuente de PCDD/PCDF incluida en la categoría de varios. Los productos químicos que contienen dioxina (sobre todo PCP y tintes) se concentran tras el proceso de limpieza en seco. La fuente de PCDD/PCDF está constituida por los biocidas que se aplican a los textiles y los tintes utilizados para la coloración. El polvo depositado en el textil y el sudor contribuyen en muy escasa medida.

Cuadro 9: Subcategorías de la matriz del inventario – Sector 8

| No. | Categorías y subcategorías principales | Posibles vías de liberación | | | | |
|----------|--|-----------------------------|----------|----------|-----------|----------|
| | | Atmósfera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| 8 | Varios | X | X | X | X | X |
| | a Desecado de biomasa | x | | | | |
| | b Crematorios | x | | | | X |
| | c Ahumaderos | x | | | x | X |
| | d Limpieza en seco | | x | x | x | |
| | e Humo de tabaco | x | | | | |

4.2.9 Subcategorías de evacuación

El Cuadro 10 da una lista de prácticas de evacuación de desechos no térmicas/no combustivas que tienen importancia considerable y pueden dar lugar a liberaciones de PCDD/PCDF sobre todo al agua y al suelo. Entre estas prácticas figuran todo tipo de evacuaciones de desechos a terraplenes incluidos los lodos de alcantarilla, los aceites de desecho y el vertido en aguas abiertas de desechos y lodos.

Para determinar las tasas de liberación de PCDD/PCDF será preciso empezar por calcular la cantidad de desechos evacuados y la concentración de PCDD/PCDF disponible en ellos. Sobre todo la coevacuación de desechos mezclados puede ser una importante fuente de liberaciones de PCDD/PCDF. Aunque sólo se dispone de una pequeña base de datos, deberá fomentarse la utilización de métodos distintos de tratamiento de desechos.

Cuadro 10: Subcategorías de la matriz del inventario – Sector 9

| No. | Categorías y subcategorías | Posibles vías de liberación | | | | |
|----------|--|-----------------------------|----------|----------|------------|-----------|
| | | Atmós-fera | Agua | Tierra | Produc-tos | Resi-duos |
| 9 | Evacuación | | X | X | | |
| | a Terraplenes y vertederos de desechos | | x | x | | |
| | b Aguas negras y tratamiento de aguas negras | (x) | x | x | | (x) |
| | c Vertidos a aguas de superficie | | x | | | |
| | d Evacuación de aceite de desecho (no térmica) | | x | x | | |

4.2.10 Subcategorías de puntos calientes

La existencia de los puntos calientes es consecuencia directa de las prácticas de evacuación que se describen en la sección 4.2.9 o de una evacuación inadecuada de materiales contaminantes. Las liberaciones a partir de estos lugares pueden ser actuales o previsibles si no se adoptan medidas preventivas. El Cuadro 11 da una lista indicativa de los lugares donde pueden encontrarse puntos calientes.

Los puntos calientes de las subcategorías a-c pueden estar vinculados a algún proceso de producción ya existente. Las liberaciones pueden producirse a partir de procesos *in situ* o de actividades anteriores. Las subcategorías f-i corresponden a reservorios típicos en los que durante muchos años se almacenaron, vertieron o acumularon materiales que contienen PCDD/PCDF. En estos casos la liberación puede estar ya produciendo, puede ser inminente o puede solamente representar una amenaza para el futuro. La identificación de estos lugares puede ser difícil.

Cuadro 11: Subcategorías de la matriz del inventario – Sector 10

| No. | Categorías y subcategorías | Posibles vías de liberación | | | | |
|-----------|--|---|------|--------|------------|-----------|
| | | Atmós-fera | Agua | Tierra | Produc-tos | Resi-duos |
| 10 | Identificación de posibles puntos calientes | Registro probablemente seguido de una evaluación específica del sitio | | | | |
| | a Lugares de producción de sustancias orgánicas cloradas | | | X | | |
| | b Lugares de producción de cloro | | | X | | |
| | c Lugares de preparación de fenoles clorados | | | X | | |
| | d Lugares de aplicación de fenoles clorados | x | X | x | x | |
| | e Lugares de fabricación y tratamiento de madera | | X | X | x | x |
| | f Transformadores y capacitores llenos de PCB | | | | x | x |
| | g Vertederos de desechos/residuos de las categorías 1-9 | x | X | X | | x |
| | h Lugares de accidentes importantes | | X | x | | x |
| | i Dragado de sedimentos | | | | | x |
| | j Lugares de arcilla caolinítica o plástica | | | x | | |

La evaluación específica del lugar de cada uno de los puntos calientes permitirá determinar su situación del momento: amenaza inmediata o posibilidad de liberación en el futuro. En todo caso deberá tomarse nota del lugar.

4.3 Etapa 3: Acopio de información

La etapa siguiente consiste en reunir información detallada sobre los procesos. Para la evaluación es importante conocer la magnitud y escala (por ejemplo, toneladas de desechos quemados, toneladas de cobre producidas) y procesar la información. Dentro de una determinada subcategoría de fabricación de un producto dado, las emisiones de PCDD/PCDF pueden variar en medida considerable según la tecnología, el rendimiento, etc., y en muchos casos sólo se puede hacer una estimación. El método de estimación que se elija variará como reflejo de las condiciones locales y los recursos disponibles. En la sección 6 se muestran los parámetros más importantes para distinguir entre los procesos altamente emisores y los que sólo producen bajas emisiones.

En general se obtiene primero el dato básico sobre la magnitud de la actividad en cada categoría y la estructura básica de esa subcategoría. Para obtener esa información pueden utilizarse como punto de partida y fuentes adecuadas las siguientes:

- Estadísticas nacionales industriales, laborales y fiscales;
- Registros de actividad económica regional, incluyendo datos nacionales de producción e importación/exportación;
- Registros locales de operación y permisos de instalaciones industriales;
- Datos de la asociación del ramo industrial;
- Datos históricos de producción e industria.

Entre las subcategorías figuran sobre todo las grandes plantas que pueden caracterizarse por su ubicación individual. Las subcategorías constituidas por fuentes difusas deberán caracterizarse agregando datos centralmente disponibles. Si no se dispone de información sobre una determinada actividad, se calcularán los límites de emisiones potenciales aplicando los más bajos y más elevados factores de emisiones.

En los cuestionarios de ejemplo (véase la sección 8.2) se expone la información más importante necesaria para clasificar procesos y subcategorías. Con ello se trata de facilitar la selección de los factores de emisión apropiados.

Deberán caracterizarse todas las fuentes. Si se utilizan cuestionarios para plantas individuales será necesario mantener un seguimiento activo con el fin de conseguir una elevada proporción de devoluciones de cuestionarios completados. Todo acopio de datos incompleto influirá sobre los resultados ulteriores reduciendo la calidad general del inventario. Para la etapa de acopio de datos se recomiendan procedimientos independientes de control de la calidad y garantía de la calidad. Lo mejor sería poder obtener para cada uno de los sitios y para cada fuente una base de datos completa y muy detallada en la que figurasen todas las actividades potencialmente relacionadas con la liberación de PCDD/PCDF.

Una información incompleta – las lagunas de datos – obligará a utilizar suposiciones sobre las fuentes acerca de las cuales no se haya podido recoger información específica. Los

criterios pueden variar pero toda su posición deberá ser perceptible de manera que se pueda facilitar una reevaluación al conocerse una información más precisa. Se presentan dos tipos distintos de criterios.

Un criterio “intermedio” partiría del supuesto de que los datos faltantes se distribuyen de la misma forma que los disponibles (por ejemplo, altos frente a bajos emisores o grado de respeto a los requisitos tecnológicos). Un criterio “conservador” parte del supuesto de que es mejor describir las fuentes faltantes basándose en el más elevado factor de emisión de la base de datos o en el más elevado factor de emisión de las plantas que facilitan información. Las suposiciones deberán basarse en la idea que parezca más adecuada y que utilice todo los datos disponibles, se presente con claridad y sea revisada en el exterior. En ciertos casos, pueden encontrarse datos adicionales en asociaciones comerciales, proveedores de equipos, reguladores o expertos del ramo industrial.

4.4 Etapa 4: Clasificación de procesos y cuantificación de fuentes

Las emisiones procedentes de procesos citados como “subcategorías” pueden variar en órdenes de magnitud según la tecnología u operación del proceso. El capítulo 6 contiene una lista completa de las distintas subcategorías y procesos dentro de cada subcategoría. Además, en cada sección se indica la forma de clasificar los procesos y elegir los factores de emisión adecuados.

La metodología del Instrumental fomenta el uso de datos medidos siempre que estén disponibles dentro de un país o región. Pero, con el fin de asegurar la comparabilidad y de facilitar una retroinformación útil sobre la eficacia del proceso, incluso cuando se dispone de datos medidos deberá realizarse la clasificación y aplicación de factores de emisión por defecto. Los resultados de la cuantificación de fuentes sobre la base de datos medidos, presentados junto a los resultados basados en factores de emisión por defecto, contribuirán a indicar hasta qué punto es eficaz el Instrumental y a poner de manifiesto aquellos sectores en los que podrían introducirse mejoras.

En casi todos los casos para compilar un inventario será preciso a proceder a una cierta agrupación (o clasificación) de los procesos de un país o región, ya que no es nada frecuente el que se hallen datos de emisión medidos para todos y cada uno de los procesos de un determinado país o región, y será necesario proceder a cierta extrapolación.

4.4.1 Clasificación de procesos

La sección 6 detalla las clases de procesos pertenecientes a cada una de las subcategorías. Cada clase dispone de una serie de factores de emisión que se facilitan (secciones 6.1 a 6.10).

La información acopiada en la etapa 3 mediante el cuestionario normalizado o por otros medios será suficiente para agrupar los procesos a la vista de las descripciones de la tecnología y los procesos que se exponen en la sección 6. Cada clase está prevista para que represente cierto nivel de tecnología y rendimiento, que producirán emisiones similares y justificarán el uso de un mismo factor de emisión.

Dentro de una subcategoría, los factores de emisión para dos estados tecnológicos distintos pueden diferir para un determinado vector (por ejemplo, la atmósfera) pero ser similares para

otro (por ejemplo, residuos o tierra). Para la clasificación definitiva de plantas será preciso reflexionar y recurrir a algunas suposiciones.

Para asegurarse de que se toman en consideración todas las actividades, la suma de tasas de actividad de las clasificaciones individuales deberá ser igual a la cantidad total de material procesado dentro de una subcategoría. Así, por ejemplo, en la subcategoría de “incineración de desechos municipales”, la masa de plantas bien controladas más la masa de plantas mal controladas, etc., deberá ser igual a la masa total incinerada. Para ello es necesario que todas las fuentes se incluyan en la clase más adecuada basándose en sus características principales. Puede ser difícil clasificar plantas y procesos y para ello puede convenir pedir asesoramiento al PNUMA.

A título de ejemplo, considérese la producción de aluminio a partir de chatarra (sector 2, subcategoría e). Dentro de esta subcategoría se mencionan tres clases de procesos (véase la sección 6.2.5) relativos a tres niveles de tecnología/operación del proceso. Cada uno de ellos tiene un factor de emisión claramente distinto. En un país hipotético, cada año se produce 1 millón de toneladas de aluminio a partir de chatarra. El acopio de datos ha mostrado que 200.000 t/a salen de plantas con simples colectores de polvo y 300.000 t/a de plantas con filtros de tela e inyección de cal. No se facilita información sobre las 500.000 t/a restantes.

En este caso la clasificación de las 500.000 t/a de producción desconocida deberá hacerse partiendo de un supuesto. Según la asociación nacional del ramo lo más probable es que esa producción se divida según las mismas proporciones que las plantas que han facilitado datos, y los reglamentadores confirman esta idea. Por consiguiente, las estimaciones finales serán las que se muestran en el Cuadro 12. cuando se parte de supuestos éstos podrán irse mejorando a medida que se vaya disponiendo de nuevos datos.

Cuadro 12: Ejemplo de clasificación – aplicada a la producción de aluminio térmico

| Producción de aluminio a partir de chatarra– 2e | Tasa de actividad (t/a) | | | |
|--|-------------------------|-------------------------|---------------------------|---|
| | Clasificación | Resultados de encuestas | Producción total del país | Estimación final |
| 1. Al de chatarra, tratamiento mínimo del material de entrada, control simple de polvo | 200.000 | | 400.000 | La información de asociaciones comerciales y reguladores indica que los resultados de la encuesta reflejan bien la producción total |
| 2. Tratamiento de la chatarra, bien controlado, filtros de tela con inyección de cal | 300.000 | | 600.000 | |
| 3. Proceso optimizado para control de PCDD/PCDF– postcombustión, inyección de cal, filtros de tela y carbón activo | | | 0 | |
| 4. Total | | 1.000.000 | 1.000.000 | |

La información compilada a partir de fuentes individuales, incluidos los datos obtenidos mediante los cuestionarios normalizados, sirve como base para clasificar cada una de las fuentes individuales. Los cuestionarios normalizados prevén un espacio para asignar una clasificación a cada fuente según las características de sus procesos y equipo, y refiriéndose a las descripciones de las clases de la sección 6.

4.4.2 Clasificación de fuentes

Para cuantificar la intensidad de una fuente, la tasa de emisión se determinará como tasa anual de flujo de masa de PCDD/PCDF expresada en gramos de EQT de PCDD y PCDF liberados al año. Para el presente Instrumental se utilizan los factores de equivalencia de toxicidad de la OTAN (= FET-I) (OTAN/DCSM 1988). Recientes progresos en relación con la futura convención sobre los COP permiten prever el uso de los FET tal como fue establecido por el grupo de expertos OMS/IPCS (van Leeuwen y Younes 1998). Como puede verse en el capítulo 9.1, la diferencia entre los FET-I y los OMS-FET para mamíferos es ínfima e insignificante a los efectos del Instrumental, ya que los factores de emisión representan un orden de magnitud de los factores de liberación.

Las liberaciones anuales de una fuente o categoría de fuente para todos los sectores se calculan como sigue:

Intensidad de la fuente (Emisiones de dioxina al año) = Factor de emisión x "Tasa de actividad"(I)

La emisión de PCDD/PCDF se expresa en gramos de EQT al año. Según la ecuación (1), la **intensidad de la fuente** anual se calcula multiplicando la liberación de PCDD/PCDF (por ejemplo, en μg de EQT-I) por unidad de material de entrada procesado o de producto producido (por ejemplo, toneladas o litros) = el **factor de emisión** – por la cantidad de material de entrada procesado o de producto producido (toneladas o litros al año) = la **tasa de actividad**. En general, se considera que ésta es la mejor manera de relacionar las liberaciones con los procesos y de hacer estimaciones para fuentes no medidas.

Pero en ciertos casos, por ejemplo, dentro del Sector 7 – bienes y productos de consumo – puede no ser práctico utilizar un factor de emisión por defecto para una liberación específica. En esos casos se aplicarán unas **concentraciones de emisión** por defecto que se consideran típicas de una determinada matriz. Se trata sobre todo de las liberaciones al agua (como descargas/efluentes o como residuo). El mismo criterio puede aplicarse a los casos en los que se disponga de datos sobre **concentraciones de emisión** medidos en una determinada fuente y que se usen en lugar de los factores de emisión por defecto facilitados por el Instrumental. En esos casos, la **intensidad de la fuente** se calcula multiplicando las emisiones medidas o las que se mencionan en el Instrumental como base de cálculo del factor de emisión (por ejemplo, en ng de EQT-I/ Nm^3) por el **flujo**.

Se aplica la ecuación 2:

Intensidad de la fuente (Emisiones de dioxina al año) = Concentración de emisión x Flujo (2)

El **flujo** es la tasa de flujo de gas en masa, el líquido o el sólido liberado por año (por ejemplo, en m^3/a o t/a). Se calcula como el producto del flujo de masa o volumen por hora a plena carga (por ejemplo, m^3/h o t/h) multiplicado por el número de horas de funcionamiento a plena carga por año (h/a). Es importante ajustar el número en función de la tasa de flujo de masa o volumen liberados por hora a las verdaderas condiciones de carga de manera que se obtenga una tasa de flujo en masa o volumen a plena carga. Del mismo modo, es igualmente importante corregir las variaciones anuales de carga de una fuente en función del correspondiente número de horas a plena carga.

Habrá que tener cuidado de que las unidades de la intensidad de la fuente se obtengan en g de EQT/a. El proceso de garantía de la calidad incluirá verificaciones de unidades de medida y cálculos de concordancia.

Por consiguiente, las intensidades de fuente resultantes calculadas como emisiones de flujo de masa anual de PCDD/PCDF estarán determinadas por dos factores críticos:

1. El flujo anual (tasa de flujo en masa o volumen) o tasa de actividad obtenida como:
 - Producto producido (por ejemplo, acero, sinterizado, cal, cemento, etc.), o
 - Material de entrada procesado (por ejemplo, desechos peligrosos, lodos de alcantarilla, carbón, diesel, etc.), o
 - Material emitido (por ejemplo, Nm³ de gas de salida, litros de aguas de desecho, etc.).
2. El factor de emisión de una determinada fuente obtenido como:
 - El correspondiente factor de emisión por defecto de este Instrumental;
 - Los datos de la correspondiente fuente realmente medidos como concentración (por ejemplo, ng de EQT/Nm³, ng de EQT/litro), o
 - El producto de estos dos factores determina la intensidad de la fuente de cada una de las fuentes individuales. El resultado que se obtendrá al final de esta etapa 4 representa la intensidad de la fuente en forma de una estimación de emisión anual de PCDD/PCDF para cada subcategora.

4.4.3 Determinación del flujo o tasa de actividad

La tasa de actividad o flujo de una planta individual se deducir  de las respuestas obtenidas con el cuestionario normalizado. El programa de garantía de la calidad permitirá comprobar que la tasa de actividad y/o flujo correspondientes obtenidos para cada fuente individual es creíble y se expresa en las unidades adecuadas. El mismo principio se aplica a las estimaciones de tasas de actividad aplicadas a sectores o clases de procesos para los que no se dispone de cuestionarios.

La tasa de actividad o flujo puede ser:

- La cantidad de producto producido o de material de entrada procesado o consumido al año (por ejemplo, t/a, m³/a, etc.);
- La tasa de flujo en masa o volumen liberada al año (por ejemplo, Nm³/h liberado @ plena carga x operación a plena carga h/a, etc.).

4.4.4 Utilización de los factores de emisión por defecto del Instrumental

Para cada proceso dentro de una subcategora, las emisiones se calculan multiplicando la tasa de actividad correspondiente a esa clase por el factor de emisión facilitado por el Instrumental para todos los vectores de liberación, es decir atmósfera, agua, tierra, productos y residuos (véase el capítulo 6).

Los factores de emisión por defecto facilitados representan un promedio de las emisiones de

PCDD/PCDF para cada clase. Se basan en datos medidos en fuentes existentes con la misma tecnología, características del proceso y prácticas de operación. Aunque esos factores de emisión por defecto se basan en la mejor información disponible de la literatura o en otras fuentes se pueden modificar o las clasificaciones pueden ampliarse a medida que vaya disponiéndose de nuevos datos.

4.4.5 Uso de datos de emisión propios

El Instrumental se puede utilizar en los lugares donde no se dispone de datos medidos o allí donde se han obtenido datos y factores de emisión del propio lugar. En el primer caso se utilizan factores de emisión por defecto, mientras que en el segundo pueden aplicarse datos de buena calidad medidos en las distintas plantas. De todas formas, la extrapolación de datos medidos a plantas en las que no se han hecho mediciones sólo deberá hacerse si se trata de plantas del mismo tipo que operan en condiciones similares. En todos los casos para clasificar el proceso se utilizarán descripciones de la planta y se aplicarán los factores de emisión por defecto más adecuados.

El obtener datos de emisión de dioxinas y furanos exige análisis complejos. Los datos obtenidos localmente sólo se deben utilizar si son de calidad adecuada, representativos y fiables. Este proceso incluye un seguimiento cuidadoso de la forma como se han generado los datos. Si es necesario se solicitará y examinará información sobre metadatos y otra información de apoyo. Requisito previo para la obtención de datos de alta calidad es la aplicación de métodos normalizados de muestreo y análisis, una experiencia demostrada de laboratorio y una buena documentación. Si no se reúnen esas condiciones, mejor que utilizar unos datos medidos propios de calidad dudosa será recurrir a los factores de emisión por defecto facilitados por el Instrumental.

4.5 Etapa 5: Compilación del inventario

Para compilar el inventario será preciso realizar una estimación para cada subcategoría, tal como se describe en la etapa 4. Como se describe en la sección 5, con todas las liberaciones estimadas para todas las categorías se construye un inventario detallado.

A continuación, se agregan las emisiones anuales de todas y cada una de las subcategorías obteniéndose así las emisiones de los cinco vectores potenciales para las diez principales categorías de fuentes.

Por último, las emisiones de las diez categorías principales de fuentes se adicionan y así se puede calcular el inventario nacional, que representa el total estimado de las liberaciones a partir de todas las fuentes identificadas y cuantificadas en un país. En general así se alcanza el tercer y último nivel detallado que es objeto de notificación.

Las estimaciones de emisión correspondientes a varios países se acumulan en los inventarios regionales de liberaciones.

5 PRESENTACIÓN DEL INVENTARIO

La presentación de los datos del inventario tiene una importancia fundamental y deberá uniformarse para que puedan hacerse comparaciones significativas entre los distintos países.

5.1 Establecimiento de un inventario provisional

Al comienzo del proceso puede utilizarse un inventario provisional para:

- Invitar a que se formulen comentarios y se revisen las fases iniciales del estudio antes de comprometer excesivos recursos;
- Proporcionar una valiosa información comparativa inicial en los ámbitos nacional, regional e internacional;
- Mostrar los límites potenciales de liberaciones a partir de las principales fuentes; y
- Centrarse en aquellos puntos donde mayores habrán de ser los esfuerzos de acopio de datos.

El establecimiento de un inventario provisional tendrá lugar después de haberse identificado las principales categorías de fuentes y de que se hayan producido las estadísticas de actividad para los procesos correspondientes, pero antes de que se haya obtenido información detallada mediante los ejercicios de acopio de datos.

El inventario provisional sirve para poner de manifiesto los posibles límites de liberaciones a partir de procesos identificados. Para cada fuente se obtendrá como resultado una gama dentro de la cual se espera que entre el resultado final, obtenido después de una evaluación detallada utilizando el Instrumental. Estas gamas pueden facilitar valiosa información comparativa.

Esta etapa intermedia da un “borrador”. No es un sustituto de un inventario completo pero sí facilita los límites esperables de emisiones.

Un inventario provisional habrá de contener la siguiente información:

- Una lista de todas las subcategorías de procesos realizados en el país;
- Las estadísticas de actividad para cada categoría y una breve descripción de cómo se ha encontrado o estimado ese dato;
- Los límites de los factores de emisión por subcategorías de procesos y una gama general de posibles emisiones (flujo en masa multiplicado por los factores de emisión mínimo y máximo);
- Cuando se disponga de estimaciones más precisas para un país, éstas se mostrarán separadamente de los límites potenciales de liberaciones hallados mediante los factores por defecto del Instrumental, y acompañados de una explicación sobre cómo se ha obtenido el resultado;

- Las gamas potenciales se muestran como un gráfico de barras para cada fuente, basándose en factores de emisión por defecto;
- Las estimaciones de país se muestran como puntos o gamas superpuestas a los límites potenciales.

Para ilustrar cómo se ha de presentar esta información, a continuación se muestran algunos ejemplos de información sobre incineración de desechos, producción de cok y producción de cobre. En la figura 3 se da un ejemplo de ilustración gráfica preferible para mostrar los resultados.

El informe provisional identificará las principales fuentes potenciales y las fuentes para las que se requiere más información adicional, y puede ser utilizado como orientación acerca de hacia donde habrán de dirigirse los principales esfuerzos en las próximas etapas de la compilación del inventario.

Extractos para un informe de inventario provisional:

Incineración de desechos municipales – Sector 1a.

Los desechos municipales son recogidos por los gobiernos locales de los hogares y los comercios. Se han utilizado estadísticas nacionales para calcular la cantidad quemada en plantas de incineración (todos los incineradores del país tienen por lo menos algún tipo de control y se han excluido los desechos quemados en fuegos abiertos o en terraplenes).

Las estadísticas arrojan los siguientes datos:

Cantidad incinerada = 1.200.000 toneladas al año

Información de apoyo:

Desechos por habitante = 0.3 t/persona

Población = 10.000.000 de personas

Total de desechos = 3.000.000 de toneladas al año

Información sobre gestión de desechos → cantidad de desechos municipales incinerados = 40 % del total.

Producción de cok– Sector 2b

No se produce cok [en este país].

Producción de cobre– Sector 2d

El cobre se produce en un horno secundario que utiliza chatarra. La producción total es de 50.000 toneladas al año.

La producción de cobre se ha estudiado intensivamente [en este país] y las emisiones medidas en una planta han utilizado laboratorios de ensayo certificados y métodos de prueba normalizados. El total de las emisiones es de 3 EQT al año.

Extracto del cuadro de inventario: [incluida sólo la incineración de desechos municipales, y la producción de cok y de cobre]

| Categoría | Proceso | Estadística de actividad (t/a) | Límites de factores de emisión por defecto (µg de EQT/t) | Potencial de emisión usando factores por defecto (g de EQT/a) | Datos de país (g de EQT/a) | Observaciones |
|----------------|--------------------------------------|-----------------------------------|---|--|-------------------------------|---|
| 1 ^a | Incineración de desechos municipales | 1.200.000 | 0,5-350 | 0,6-420 | - | Deberá afinarse |
| 2b | Producción de cok | 0 | NA | 0 | 0 | No hay producción |
| 2d | Producción de cobre secundario | 50.000 | 5-800 | 0,25-40 | 3 | Basada en el ensayo del 100% de las plantas |

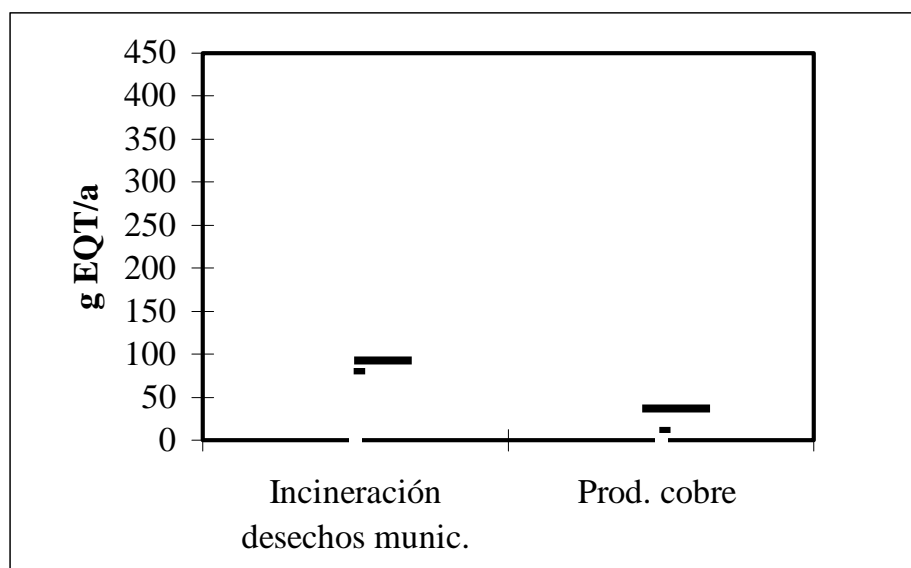


Figura 3: Ejemplo de presentación gráfica de un extracto de inventario provisional. Las barras dan las estimaciones mínima y máxima de emisión anual para las dos subcategorías, junto con una estimación central (incineración de desechos municipales y producción de cobre). Los puntos se refieren a estimaciones nacionales de emisiones basadas en datos medidos en el propio país (y no representan concentraciones medias/medianas o estimaciones óptimas)

5.2 Informe final

El inventario final de liberaciones de PCDD/PCDF a todos los medios en el país se elaborará aplicando la metodología completa del Instrumental.

El informe final ha de identificar los principales sectores que producen liberaciones, facilitar información sobre la naturaleza y amplitud de los procesos vinculados a las liberaciones e identificar claramente aquellos procesos sobre los cuales existen importantes lagunas de datos que deben rellenarse. Se ocupará asimismo de liberaciones al aire, al agua y al suelo, en productos y en residuos, siempre en la mayor medida posible, si bien reconociendo que en ciertos sectores existen deficiencias considerables de datos.

Con las presentes orientaciones se trata de facilitar la reunión de informes donde se encuentran los resultados fundamentales de los proyectos del inventario en presentaciones que son inmediatamente utilizables por las personas a las que están dirigidos.

Entre los elementos básicos de este inventario final de base tecnológica figuran:

Resumen: Liberaciones a todos los medios a partir de los diez sectores principales identificados en la matriz de selección. El resumen incluirá asimismo los principales hallazgos y las principales lagunas de datos claramente identificadas, las vías de liberación más importantes y los sectores prioritarios para el acopio de datos y la introducción de mejoras.

El inventario de país completo: Liberaciones a todos los medios calculadas en el nivel de subcategorías de procesos. Son preferibles los valores numéricos, pero también podrán darse indicaciones sobre magnitud relativa de liberaciones (es decir, una clasificación por intensidades). En las categorías en que no exista ninguna liberación, así deberá especificarse. Se señalarán asimismo claramente los procesos que no se utilicen en el país.

Para mejorar la presentación de la información del inventario y que quede reflejado el hecho de que se sabe más acerca de liberaciones a la atmósfera que a otros medios, se propone la utilización de dos cuadros. El primero contendrá información sobre liberaciones a la atmósfera mientras que en el segundo se inscribirán las liberaciones a otros medios. En el capítulo 8.3 se muestra un ejemplo de este inventario.

Resumen proceso por proceso y análisis: La parte principal del informe de país estará constituida por las secciones dedicadas a cada uno de los procesos investigados. Cada subsección informará sobre los procesos básicos y los medios utilizados para investigar liberaciones potenciales a partir de los procesos, y darán los hallazgos.

Se espera que todas las secciones sean relativamente breves de manera que el informe general no tenga un excesivo tamaño. En cada sección se incluirán las informaciones fundamentales.

Datos de apoyo detallados: Este tipo de datos no figurará en el informe, que debe ser breve, pero sí se organizarán y conservarán en el nivel del país. Es importante que en el nivel del país se recojan y mantengan datos básicos detallados de manera que pueda disponerse de ellos para cualquier evaluación y revisión que ulteriormente desee hacerse.

Información incompleta: Son frecuentes las lagunas de datos. Cuando la información sea incompleta, la que se haya obtenido se utilizará para estimar la actividad. Si la información es insuficiente para realizar una clasificación completa de todos los procesos, se presentará una gama de emisiones al respecto. Si unas suposiciones conservadoras dan estimaciones muy elevadas, será preciso realizar una nueva investigación.

Ejemplo: una información inicial sobre el proceso indicaba que todas las plantas funcionaban con controles de contaminación pero se veía claramente de qué tipo de controles se trataba. En un caso como éste, convendrá deducir los límites de factores de emisión a partir de las subcategorías de plantas provistas de controles de contaminación y excluir aquellos factores de emisión correspondientes a plantas que no poseen controles. Así se reduce la incertidumbre del inventario y se muestra la necesidad de recursos adicionales.

Evaluación: Una breve sección en la que se resuman:

- Las fuentes principales para cada medio;
- Las medidas adoptadas para controlar esas liberaciones o los cambios esperados en los procesos/actividades que pueden alterar considerablemente esas liberaciones;
- Las principales lagunas de datos y su importancia percibida;
- Las prioridades para nuevas evaluaciones, generaciones de datos, mediciones o medidas de política.

6 FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO

En esta sección 6 se dan detalles sobre los factores de emisión por defecto, los que se han determinado y cómo se han obtenido. Las subcategorías pertenecientes a las diez categorías principales de fuentes se numeran sucesivamente de 1 a 10. Ni la sucesión de categorías principales de fuentes ni la sucesión de subcategorías dentro de cada categoría principal de fuentes deben considerarse como indicadoras de la importancia de cada sector dentro del inventario de dioxinas de un país. Además, las subcategorías de la siguiente sección pueden no describir todas las situaciones de cada país y una determinada descripción puede no corresponder exactamente a la situación del momento. Deberá utilizarse la subcategoría más próxima que siga y sobre esta base se realiza una estimación preliminar de liberaciones. Como se describe en el capítulo 2 – Objetivos y limitaciones – esos casos se notificarán al PNUMA para su inclusión en la siguiente actualización del Instrumental. Además, se sabe que las emisiones de PCDD/PCDF varían de unas plantas a otras (o de unas actividades a otras) y de un día a otro. Con los factores de emisión que aquí se utilizan se trata de representar liberaciones medias de las categorías que se muestran. Ciertas plantas individuales pueden producir emisiones más o menos elevadas.

6.1 Categoría principal 1 – Incineración de desechos

La incineración de desechos es la categoría mejor estudiada para explicar la formación de PCDD/PCDF y también para identificar y aplicar medidas que eviten o reduzcan al mínimo la formación o las liberaciones de PCDD/PCDF. Este capítulo 6.1 se ocupa de la incineración de distintos tipos de desechos utilizando cualquier forma de incinerador. En muchos casos los desechos van a quemarse a cielo abierto – es decir, sin ningún tipo de incinerador tecnológico – casos que se tratan en la sección 6.6. Además, la quema, por ejemplo, de madera o de otras biomásas limpias para la generación de energía, no corresponde a esta sección sino a la 6.3.2.

6.1.1 Desechos sólidos municipales

Se consideran como desechos sólidos municipales todos los tipos de desechos sólidos producidos por las familias, las actividades residenciales, y/o los materiales de desecho que tira la gente durante sus actividades cotidianas normales. Se incluyen asimismo desechos similares producidos en actividades industriales, comerciales o agrícolas. Aunque la composición de los desechos sólidos municipales varía considerablemente de unos países a otros, se consideran como no peligrosos, y sus constituyentes más frecuentes son papel y cartón, plásticos, residuos de alimentos y de cocina, ropas y cueros, madera, vidrio, metales, polvo y piedras, así como otros materiales inertes presentes con frecuencia en bienes de consumo. Con frecuencia existen además pequeñas cantidades de materiales peligrosos que no se pueden eliminar como baterías, pinturas, drogas y ciertas sustancias químicas domésticas.

Los desechos sólidos municipales (DSM) se pueden quemar en diversos dispositivos que van desde las pequeñas muflas que queman por lotes hasta los sistemas de incineración en masa

más perfeccionados con rejillas, calderas de recuperación del calor para la generación de vapor y sistemas de control de la contaminación atmosférica (SCCA) en su salida. Pero los DSM con frecuencia se queman al aire libre, es decir empilados sobre el suelo o en barriles o bidones (200 litros) de manera incontrolada; esta cuestión se trata en la sección 6.6 – Procesos de combustión incontrolados.

Normalmente los DSM se introducen al horno mediante una entrada en caída o bien continua o bien por lotes. El horno está constituido por algún tipo de reja fija o móvil sobre la cual se encienden y queman los DSM. El aire para la combustión entra por debajo de la reja y por los costados. Otros sistemas más perfeccionados realizan una inyección secundaria de aire que mejora la eficiencia de la combustión y la incineración de los gases. Quedan algunas cenizas que caen al dorso de la reja en una tolva de recogida de cenizas, de la que se han de retirar con frecuencia y evacuar. La propia cámara del horno puede estar revestida de ladrillos refractarios o de una “pared de agua”. En cualquier caso, los gases de salida calientes se retienen durante un cierto período de tiempo dentro de la zona de combustión para su disipación térmica y enfriamiento preliminar. Después de salir de la cámara de combustión, los gases de salida o bien se enfrían en una caldera de recuperación de calor, amortiguada por inyección de agua o cuya temperatura se reduce por pérdida radiante de calor. En ciertos casos para los DSM se han utilizado incineradores en dos etapas o plantas de pirólisis. Tienen dos cámaras, en la primera de las cuales se pirolizan los desechos y en la segunda se extinguen los gases por incineración.

En el peor de los casos los gases de salida arrastran todas las partículas de cenizas volantes que se liberan directamente a la atmósfera. En las mejores plantas pasan a través de una caldera y un sistema de CCA, que puede consistir por lo menos en un dispositivo de retención de partículas, como un ciclón, un precipitador electrostático (PES), un filtro de saco o de tela o un depurador húmedo, seguido de varias etapas más de dispositivos de limpieza de gas más o menos eficientes, por ejemplo, un dispositivo de adsorción por carbón activo o un catalizador DeDiox/NO_x. Normalmente puede afirmarse que la complejidad y efectividad de un sistema de CCA aumenta con el número de etapas y los distintos tipos de tecnologías empleados.

Los PCDD/PCDF pueden pasar a través de los desechos de entrada, formarse en el proceso de combustión o, más frecuentemente, después de que este proceso se ha concluido y se enfrían los gases de salida. Las más altas emisiones son las resultantes de una mala combustión (operación por lotes, elevado CO, etc.) y con los colectores de polvo que funcionan a altas temperaturas. El funcionamiento de los precipitadores electrostáticos (PES) a altas temperaturas (superiores a 200 °C) pueden aumentar las liberaciones de PCDD/PCDF a la atmósfera y mediante las cenizas volantes. Las emisiones procedentes de esas plantas serán con toda probabilidad superiores a las resultantes de una planta similar que utilice filtros de tela o que funcione con un PES a temperatura inferior.

Las emisiones de PCDD/PCDF a la tierra son insignificantes y no hay ningún producto. Liberaciones al agua sólo se producen cuando para la retención de partículas se utilizan depuradores húmedos y el efluente no se trata de forma adecuada, es decir, cuando no se retienen en filtros las partículas a las que se han absorbido los PCDD/PCDF. Por consiguiente, las vías de liberación más importantes son al aire y con los residuos. Las concentraciones más elevadas suelen hallarse en las cenizas volantes, mientras que las cenizas depositadas presentan concentraciones más bajas. Si se mezclan unas cenizas y otras, los residuos combinados estarán más contaminados que las cenizas depositadas (que son las que constituyen la masa principal). Las tecnologías posibles se dividen en cuatro grupos de

factores de emisión que se muestran en el cuadro 13.

Cuadro 13: Factores de emisión resultantes de la incineración de desechos sólidos municipales

| | Factores de emisión - μg de EQT/t de DSM quemados | | |
|--|--|------------------|---------------------|
| | Atmósfera | Cenizas volantes | Cenizas depositadas |
| 1. Combustión de baja tecnología, sin sistema de CCA | 3500 | - | 75 |
| 2. Combustión controlada, CCA mínimo | 350 | 500 | 15 |
| 3. Combustión controlada, buen CCA | 30 | 200 | 7 |
| 4. Combustión de alta tecnología, sistema de CCA perfeccionado | 0,5 | 15 | 1,5 |

Estos factores de emisión por defecto se basan en el supuesto de que los desechos quemados dan 1-2% aproximadamente de cenizas volantes y 10-25% de cenizas depositadas. El cuadro 13 da factores de emisión por defecto para las cenizas volantes y las cenizas depositadas por separado. Si los residuos se combinan, el factor de emisión equivale a la suma de ambos. La eficiencia de retención de partículas aumenta con la calidad de la planta. Se elegirán los factores de emisión de clase 1 cuando se trate de hornos muy pequeños (< 500 kg/h) y sencillos operados según la modalidad de lotes sin ningún tipo de sistema de CCA montado en su extremidad final. La clase 4 sólo se utilizará para las plantas de incineración de DSM muy perfeccionadas que se encuentran en algunos países de Europa Occidental y, ocasionalmente, en Norteamérica. Sólo se aplicará la clase 4 si se exige estrictamente un valor reglamentario de 0,1 ng de EQT/Nm³ y la instalación de que se trate está en condiciones de conseguirlo. La gran mayoría de todas las plantas de incineración de DSM se puede suponer que entran dentro de las clases 2 y 3.

6.1.1.1 Liberaciones a la atmósfera

Las liberaciones a la atmósfera son el vector predominante de la combustión de DSM. El factor de emisión por defecto de 3.500 como factor de emisión media de la clase 1 se ha obtenido a partir de una tasa de flujo específica de gases de salida de unos 10.000 Nm³/t de DSM y una concentración de 350 ng de EQT-I/Nm³. En Suiza se han notificado factores de emisión de 3.230 μg de EQT/t y en los Países Bajos de 5.000 μg de EQT-I/t (LUA 1997). La clase 2 supone una reducción de la tasa de flujo específico de gases de salida de 7.000 Nm³/t de DSM, lo que se debe a unos mejores controles de combustión y un menor exceso de aire. La concentración de PCDD/PCDF baja a 50 ng de EQT/Nm³. Las plantas de este tipo pueden estar provistas de un PES, un multiciclón y/o un simple depurador. En la clase 3, la eficiencia de la combustión es aún mayor y también aumenta la eficiencia del sistema CCA (por ejemplo, PES y múltiples depuradores, secador por rociamiento y filtro de saco o combinaciones similares) con lo que resulta una caída de la concentración de PCDD/PCDF a unos 5 ng de EQT/Nm³. Además, la tasa de flujo específica en volumen de gas de salida se reduce a 6.000 Nm³/t de DSM. La clase 4 corresponde a los más perfeccionados sistemas de incineración de DSM y tecnología de CCA (por ejemplo, unidades de adsorción por carbón activado o SCR/DeDiox). Así pues, la norma será sólo de 5.000 Nm³/t de DSM y una concentración menor de 0,1 ng de EQT/Nm³ (LUA 1997, IFEU 1998).

6.1.1.2 *Liberaciones al agua*

Las liberaciones al agua sólo se producen cuando se emplean depuradores húmedos para la retención de grandes cantidades de partículas. En este caso, la cantidad de PCDD/PCDF liberados con este vector como mejor se puede calcular es utilizando los factores de emisión por defecto facilitados para el residuo. Normalmente las concentraciones son de un pequeño número de pg de EQT-I/L, y las máximas concentraciones de PCDD/PCDF notificadas en un efluente de depurador antes de la retención de las partículas fue de 200 pg/L. La mayor parte de los PCDD/PCDF van asociados a las partículas y, por consiguiente, se retienen durante el tratamiento de las aguas de desecho. Además, la mayor parte de los equipos de CCA instalados en plantas de incineración de DSM funcionan sin contacto con aguas de desecho. Por consiguiente, este vector de liberación apenas tiene importancia para esa fuente.

6.1.1.3 *Liberaciones a la tierra*

No se esperan liberaciones al suelo a no ser que sobre éste se depositen directamente residuos no tratados o que estos residuos se mezclen con tierra.

6.1.1.4 *Liberaciones con productos*

Este proceso no da productos, de manera que éste no puede ser un factor de emisión.

6.1.1.5 *Liberaciones con residuos*

Las concentraciones de PCDD/PCDF en las cenizas volantes son considerables pese a que la masa total generada por tonelada de DSM se sitúa solamente en los alrededores de 1-2%. Las concentraciones de PCDD/PCDF en las cenizas depositadas son bastante bajas pero la cantidad de ceniza depositada generada por tonelada de DSM se aproxima al 10-20%⁴. Cenizas volantes y cenizas depositadas también contienen carbón no quemado en proporciones que van desde el 1% (clase 4) hasta el 30% (clase 1). Como el carbón sin quemar en la ceniza aumenta generalmente la adsorción de PCDD/PCDF, la concentración es máxima en la clase 1; en ella, para las cenizas depositadas se tomó la proporción de 500 ng de EQT/kg⁵. Como en esos tipos de incineradores no se recogen las cenizas volantes, no se dispone de factores de emisión para estas cenizas. En la clase 2 se supone que la concentración es de 30.000 ng de EQT/kg en la ceniza volante y de 100 ng de EQT/kg en la cenizas depositadas debido a una eficiencia de combustión muy mejorada de la cual resulta una PDI inferior en la ceniza. La clase 3 divide esos valores a la mitad siempre sobre la base de nuevos perfeccionamientos. En cuanto a la clase 4 se supone que no sólo aumenta la eficiencia de la combustión sino que además es asimismo mucho más eficiente la recogida, en particular la de pequeñísimas partículas de cenizas volantes. Estas pequeñas partículas dan una gran superficie de adsorción de PCDD/PCDF y, por consiguiente, la concentración

⁴ En algunos países de Europa Occidental, en los años sesenta y setenta, cuando la proporción de materias inertes y vidrio alcanzó su punto máximo, se llegaron a generar 300 kg de cenizas depositadas por tonelada de desechos sólidos municipales quemados (30%).

⁵ Valor extrapolado: se parte del supuesto de una multiplicación por 10 de la concentración media medida en plantas europeas en los años ochenta.

general no disminuye más. Así pues, el valor para las cenizas volantes de fija en 1.000 ng de EQT-I/kg y la concentración en las cenizas depositadas desciende a 5 ng de EQT/kg.

6.1.2 Incineración de desechos peligrosos

Se consideran desechos peligrosos (DP) los residuos y desechos que contienen materiales peligrosos en cantidades significativas. En general, pertenecen a este grupo todos los materiales que incluyen bienes de consumo que requieren precauciones y restricciones especiales para su manejo y utilización. Todos los bienes de consumo en cuyas etiquetas se señalan esas características y que entran en la corriente de desechos deberán ser considerados como desechos peligrosos. Incluye solventes y otros hidrocarburos volátiles, pinturas y tintes, sustancias químicas incluidos plaguicidas, herbicidas y otros productos químicos halogenados, productos farmacéuticos, baterías, combustibles, aceites y otros lubricantes, y artículos que contienen metales pesados. Además también deberán ser considerados como desechos peligrosos todos los materiales contaminados por esos productos, como trapos o papeles, maderas tratadas, residuos de producción, etc.

Habitualmente los desechos peligrosos se queman o bien en incineradores de tecnología especial o bien en hornos del tipo del horno rotatorio. Entre los incineradores de tecnología especial figura un tipo de bidón de muy baja tecnología, el tipo de reja o los hornos de mufla. También se incluyen en este grupo otros tipos de tecnologías bastante exóticas y costosas como la oxidación supercrítica del agua, la vitrificación por arco eléctrico, etc. Como la clasificación de desechos peligrosos depende en gran medida de la legislación específica del país y el número de tecnologías distintas utilizadas para la incineración de desechos peligrosos es casi ilimitado, la breve descripción de procesos que sigue se refiere sólo a la tecnología de horno rotatorio más frecuentemente utilizada en las plantas de incineración de desechos comerciales diseñadas para aceptar gran diversidad de desechos.

Los desechos peligrosos sólidos se introducen en un horno rotatorio con revestimiento refractario por una boca de caída. Un líquido altamente calorífico y desechos de lodo se atomizan en un quemador o en una lanza de combustión situados en la pared frontal del horno rotatorio. Los desechos se encienden y arden en el interior del horno rotatorio, que normalmente se mantiene a temperaturas superiores a 1.000 °C. Estos hornos suelen tener una longitud de 10 a 20 metros y en ellos los desechos peligrosos se convierten en gas de salida y escoria fundida, que salen del horno rotatorio por su extremidad posterior. Las cenizas vitrificadas se apagan en un baño de agua, se separan y se evacúan. Como en la mayor parte de las instalaciones modernas las cenizas depositadas se transforman en escoria fundida, no contienen cantidades sustanciales de PCDD/PCDF. No se han podido obtener datos sobre otras tecnologías más antiguas. Después del horno rotatorio, los gases de salida entran en una cámara de combustión secundaria donde unos quemadores adicionales que queman desechos peligrosos altamente caloríficos mantienen una temperatura superior a 1.200 °C. Además, se inyecta aire para la combustión secundaria que facilita una incineración adicional del gas. Tras abandonar el sistema de combustión en dos etapas, el gas de salida se trata de la misma forma que se ha descrito para la incineración de los DSM en general, los incineradores de desechos peligrosos funcionan a temperaturas más elevadas que los incineradores de DSM, pero con una cantidad superior de exceso de aire. Ello conduce a emisiones gaseosas de PCDD/PCDF generalmente similares. De todas formas, a causa de que en los desechos peligrosos suele haber una concentración elevada de materias orgánicas halogenadas, las deficiencias y las imperfecciones en el proceso de combustión los hacen más susceptibles de dar emisiones de PCDD/PCDF más elevadas. Los vectores de la liberación son los mismos

que los señalados para la incineración de DSM. En el cuadro 14 se muestran cuatro grupos de factores de emisión.

Cuadro 14: Factores de emisión para la incineración de desechos peligrosos

| | Factores de emisión - μg de EQT/t de DP quemados | |
|--|---|----------------------------------|
| | Atmósfera | Residuos (sólo cenizas volantes) |
| 1. Combustión de baja tecnología, sin sistema de CCA | 35000 | 9000 |
| 2. Combustión controlada, CCA mínimo | 350 | 900 |
| 3. Combustión controlada, buen CCA | 10 | 450 |
| 4. Combustión de alta tecnología, sistema de CCA perfeccionado | 0,75 | 30 |

Estos factores de emisión por defecto se basan en el supuesto de que los desechos quemados producen un 3% aproximadamente de cenizas volantes y de que la liberación de PCDD/PCDF asociada a la evacuación de las cenizas depositadas es insignificante en las clases 3 y 4. No se cuenta con datos acerca de las concentraciones en las cenizas depositadas de las clases 1 y 2. Además, la eficiencia de retención de partículas aumenta con la calidad de la planta. La clase 4 sólo se aplicará a ciertas plantas de incineración de desechos peligrosos extraordinariamente perfeccionadas que se encuentran en algunos países de Europa Occidental y en Norteamérica. Sólo si se impone estrictamente un valor reglamentario de $0,1 \text{ ng}$ de EQT/ Nm^3 , y se puede dar por supuesto que la instalación en cuestión puede alcanzar esa cifra, sólo en ese caso se aplicará la clase 4. Puede considerarse que la inmensa mayoría de las plantas de incineración de desechos peligrosos pertenecen a las clases 2 y 3. La clase 1 se aplicará sobre todo a pequeños ($< 500 \text{ kg/h}$) y sencillos hornos que funcionan por lotes sin ningún tipo de sistema de CCA instalado en su extremidad posterior, por ejemplo, las muflas.

6.1.2.1 Liberaciones a la atmósfera

Las liberaciones a la atmósfera constituyen el vector predominante de la combustión de DP. El factor de emisión por defecto correspondiente a la clase 1 se obtuvo mediante una tasa de flujo específica por volumen de gas de salida de unos $17.500 \text{ Nm}^3/\text{t}$ de desechos peligrosos y una concentración de unos 2.000 ng de EQT/ Nm^3 . La clase 2 parte del supuesto de una reducción en la tasa de flujo específica por volumen de gas de salida de $15.000 \text{ Nm}^3/\text{t}$ de desechos peligrosos favorecida por mejores controles de combustión y menor exceso de aire. En este caso la concentración de PCDD/PCDF pasa a 20 ng de EQT/ Nm^3 . En la clase 3 aún mejora más la eficiencia de la combustión y mejora también la eficiencia del sistema de CCA, de lo que resulta una disminución de la concentración de PCDD/PCDF que llega aproximadamente a 1 ng de EQT/ Nm^3 . Además, la tasa de flujo específica por volumen de gas de salida se reduce a $10.000 \text{ Nm}^3/\text{t}$ de DP. La clase 4 corresponde a los más perfeccionados incineradores actuales de DP y a la mejor tecnología de CCA. Así, se puede considerar como posible una cifra de sólo $7.500 \text{ Nm}^3/\text{t}$ de DP y una concentración considerablemente inferior a $0,1 \text{ ng}$ de EQT/ Nm^3 (LUA 1997, IFEU 1998, Environment Canada 1999).

6.1.2.2 *Liberaciones al agua*

Se pueden producir liberaciones al agua cuando para la retención de las partículas se emplean depuradores húmedos. En este caso, como mejor se puede estimar la cantidad de PCDD/PCDF liberada mediante este vector es utilizando los factores de emisión por defecto que se dan para los residuos. La concentración máxima real de PCDD/PCDF hallada en el efluente de los depuradores húmedos era inferior a 0,15 µg de EQT/t (LUA 1997). En su conjunto, este vector de liberaciones no se considera importante para este tipo de fuente.

6.1.2.3 *Liberaciones a la tierra*

No es de esperar ninguna liberación al suelo a menos que residuos sin tratar se coloquen directamente sobre él o se mezclen con tierra.

6.1.2.4 *Liberaciones con productos*

El proceso no crea productos, por consiguiente, no hay liberación con productos.

6.1.2.5 *Liberaciones con residuos*

Para obtener factores de emisión correspondientes a los residuos sólo se han tenido en cuenta las cenizas volantes ya que no se dispone de datos sobre cenizas depositadas para las clases 1 y 2. En cuanto a las clases 3 y 4 puede suponerse que la ceniza depositada se saca del horno como escoria fundida, que no puede aportar ninguna contribución sustancial a la liberación general de PCDD/PCDF. Por consiguiente, sólo merecen atención y se van a tener en cuenta las concentraciones de PCDD/PCDF en residuos de cenizas volantes. La cantidad de cenizas volantes en los desechos peligrosos se sitúa normalmente alrededor del 3%. Las cenizas volantes contienen además carbón no quemado en proporciones que van desde 0,5% (clase 4) hasta 20% (clase 1). Como el carbón no quemado en las cenizas volantes incrementa en gran medida la adsorción de PCDD/PCDF, la concentración alcanza su máximo en la clase 1. Se parte de la idea de que en la clase 1 los PCDD/PCDF alcanzan aproximadamente la concentración de 300.000 ng de EQT/kg de residuos. En la clase 2, la concentración baja a 30.000 ng de EQT/kg de residuos gracias a una eficiencia muy superior en la combustión de la que resulta una tasa muy inferior de PDI en las cenizas volantes. La clase 3 reduce este valor a 15.000 ng de EQT/kg de residuos, siempre a favor de nuevos perfeccionamientos. La clase 4 da por supuesta no sólo una eficiencia de combustión muy superior sino también una gran eficiencia en la retención, en particular de las más pequeñas partículas de cenizas volantes. Estas pequeñas partículas dan una gran superficie de adsorción a los PCDD/PCDF y, por consiguiente, la concentración general disminuye a unos 1.000 ng de EQT/kg de residuos. Si no se dispone en absoluto de datos sobre cenizas volantes pero sí de datos sobre emisión real de chimenea, cabe suponer que las emisiones de PCDD/PCDF mediante el vector de residuos van a ser similares y aproximadamente del mismo orden de magnitud que las que van a la atmósfera. Por consiguiente, la emisión general se puede dividir en partes aproximadamente iguales entre los dos vectores, atmósfera y residuos. De todas formas, así se obtiene una estimación mucho menos precisa de las emisiones generales de PCDD/PCDF dada la naturaleza y composición distintas de las cenizas volantes de desechos peligrosos.

6.1.3 Incineración de desechos médicos

Se consideran como desechos médicos todos los desechos resultantes de actividades médicas, tanto si estas actividades se desarrollan en un hospital como si corresponden a médicos, dentistas o cualquier otro facultativo. Los desechos generados en estas actividades contienen en muchos casos materiales infecciosos, secreciones, sangre, productos farmacéuticos y materiales de embalaje, así como instrumentos utilizados en tratamientos médicos de personas o de animales. Estos desechos se suelen tratar térmicamente (por incineración o pirólisis) de manera que se destruya con seguridad virus, bacterias y otros elementos patógenos. Además, dado su origen y composición, los desechos médicos pueden contener productos químicos tóxicos, como metales pesados o precursores, que pueden formar dioxinas y furanos. En muchos países los desechos médicos necesitan una vigilancia especial y como la incineración de estos desechos se hace en incineradores pequeños y escasamente controlados, en países desarrollados se ha observado que constituyen una importante fuente de PCDD/PCDF y en consecuencia se han clausurado o mejorado gran número de pequeñas plantas. Basándose en estas experiencias, ahora el termotratamiento de desechos médicos constituye una subcategoría independiente en el Instrumental.

Normalmente los desechos médicos se incineran localmente en el hospital o en cualquier otra instalación médica valiéndose para ello de pequeños hornos del tipo de lotes. En muchos casos se dispone de incineradores de desechos médicos de mayor tamaño y centralizados que funcionan sólo durante ocho horas al día y cinco días a la semana. Los incineradores de desechos médicos de gran tamaño y que funcionen continuamente son extraordinariamente raros y la mayor parte de ellos se encuentran en Europa Occidental y Norteamérica. También son raras las calderas de recuperación de calor de desechos.

El Instrumental define cuatro clases de factores de emisión a partir de incineradores de desechos médicos (cuadro 15). Las máximas emisiones de PCDD/PCDF por incineración de desechos médicos proceden de operaciones del tipo de lotes, que normalmente incluyen largos períodos de calentamiento y enfriamiento del horno de lo que resultan condiciones pirolíticas que se extienden durante un dilatado período de tiempo. Combinándose con el elevado valor de calentamiento y la frecuente inclusión de plásticos halogenados en los desechos, el potencial de formación de PCDD/PCDF es generalmente superior al de los desechos sólidos municipales. Los principales vectores de liberación son la atmósfera y los residuos (en este caso sólo cenizas volantes ya que se carece de datos sobre las cenizas depositadas). Las liberaciones al agua son menos importantes ya que el equipo de CCA, cuando existe, no produce prácticamente agua de desecho.

Cuadro 15: Factores de emisión para la incineración de desechos médicos

| | Factores de emisión - μg de EQT/t Desechos médicos quemados | |
|--|---|----------|
| | Atmósfera | Residuos |
| 1. Combustión no controlada del tipo de lotes, sin sistema CCA | 40000 | 200 * |
| 2. Combustión del tipo de lotes, controlada, sin CCA o CCA mínima | 3000 | 20 * |
| 3. Combustión del tipo de lotes, controlada, buen CCA | 525 | 920 ** |
| 4. Combustión controlada continua de alta tecnología, perfeccionado sistema de CCA | 1 | 150 ** |

* se refiere sólo a las cenizas depositadas que quedan en la cámara de combustión

** se refiere a la combinación de cenizas depositadas y volantes

Estos factores de emisión por defecto se basan en el supuesto de que los desechos médicos quemados producen un 3% aproximadamente de cenizas volantes y que la liberación de PCDD/PCDF asociada a la evacuación de las cenizas depositadas es desconocida ya que por el momento no se dispone de datos medidos. Además, la eficiencia de retención de partículas aumenta con la calidad de la planta. Se elige la clase 1 para los incineradores pequeños y sencillos de tipo de pequeño cajón que funcionan intermitentemente (en los cuales se pone una carga de desechos que se quema y evacua) sin una cámara de combustión secundaria, sin controles de temperatura y sin ningún tipo de equipo de control de contaminación. La clase 2 se aplica a todos los incineradores de desechos médicos de combustión controlada y provistos de postcombustión que, sin embargo, siguen funcionando según el tipo de lotes. La clase 3 deberá aplicarse a plantas controladas del tipo de lotes que tienen instalados buenos sistemas de CCA, por ejemplo, PES o, preferentemente, filtros de saco. La clase 3 sólo se atribuirá a plantas de incineración de desechos médicos muy perfeccionadas como las que se encuentran en ciertos países de Europa Occidental y, a veces, en Norteamérica, a condición de que el valor límite de $0,1 \text{ ng}$ de EQT/ Nm^3 se imponga estrictamente y se pueda dar por supuesto que la instalación lo cumple. En este último caso, deja de tener importancia la cuestión del funcionamiento continuo o por lotes, ya que normalmente estas instalaciones son objeto de un amplio calentamiento previo con petróleo o gas natural. Los desechos médicos sólo se introducen en el horno cuando éste está funcionando a temperaturas muy superiores a $900 \text{ }^\circ\text{C}$. Puede suponerse que la inmensa mayoría de las plantas de incineración de desechos médicos entran dentro de las clases 1 y 2.

6.1.3.1 Liberaciones a la atmósfera

La atmósfera es el vector predominante de las liberaciones producidas por la incineración de desechos médicos. El factor de emisión por defecto correspondiente a la clase 1 se obtuvo a partir de una tasa de flujo específica por volumen de gas de salida de unos $20.000 \text{ Nm}^3/\text{t}$ de desechos médicos y una concentración de unos 2.000 ng de EQT/ Nm^3 . La clase 2 parte del supuesto de una reducción de la tasa de flujo específica por volumen de gas de salida a $15.000 \text{ Nm}^3/\text{t}$ de desechos médicos gracias a mejores controles de la combustión y a menos exceso de aire. En este caso, la concentración de PCDD/PCDF baja a 200 ng de EQT/ Nm^3 . La clase 3 se basa en datos europeos en los que se ha determinado una concentración de 35 ng de EQT-I/ Nm^3 con $15.000 \text{ Nm}^3/\text{t}$. La clase 4 corresponde a la incineración de desechos médicos según las condiciones más perfeccionadas y la mejor tecnología de CCA. En esta

situación sólo se han producido 10,000 Nm³/t de desechos médicos y se ha medido una concentración inferior a 0,1 ng de EQT/Nm³ (LUA 1997, IFEU 1998, Environment Canada 1999).

6.1.3.2 *Liberaciones al agua*

Se producen liberaciones al agua cuando para la retención de partículas se utilizan depuradores húmedos. Esto no sucede casi nunca, excepto en Europa Occidental donde a veces se recurre a depuradores húmedos para la absorción de ácidos grasos. Esta situación sólo sería aplicable a la clase 4. No se dispone de concentraciones medidas de PCDD/PCDF en agua salida de depuradores utilizados en la incineración de desechos médicos. Cuando se sepa que se utilizan depuradores húmedos será preciso identificar qué tipo de tratamiento de agua se utiliza.

6.1.3.3 *Liberaciones a la tierra*

No se espera ninguna liberación al suelo a no ser que residuos no tratados se depositen directamente sobre él o se mezclen con tierra.

6.1.3.4 *Liberaciones con productos*

El proceso no da productos y, por consiguiente, no hay liberaciones con productos.

6.1.3.5 *Liberaciones con residuos*

Las concentraciones de PCDD/PCDF en las cenizas volantes son considerables. Dada la ausencia de datos sobre concentraciones de PCDD/PCDF en cenizas depositadas, los factores de emisión por defecto facilitados para la categoría de residuos sólo se refiere a liberaciones de PCDD/PCDF mediante cenizas volantes. Las concentraciones de PCDD/PCDF en los residuos pueden ser elevadas, sobre todo si la combustión es deficiente (como la que se produce en un incinerador sencillo de tipo de lotes). Los incineradores de desechos médicos de las clases 1 y 2 no van a producir cenizas volantes ya que carecen de equipo de extracción de polvo. En estos casos no quedarán más residuos que los depositados en la cámara de combustión. El factor de emisión de clase 1 se basa en el supuesto de que en la cámara de combustión quedan 200 kg de residuos por tonelada de desechos médicos quemados con una concentración de 1.000 ng de EQT/kg. En la clase 2 la combustión es mejor, de manera que el residuo de cenizas depositadas contendrá solamente 100 ng de EQT/kg; ello resultará en un factor de emisión de 20 µg de EQT/t de desechos.

En las clases 3 y 4 la ceniza volante se recoge y mezcla con ceniza de rejilla; normalmente, la cantidad de ceniza volante en los desechos médicos se sitúa en un 3% aproximadamente. La clase 3 parte del supuesto de que existen 30.000 ng de EQT/kg en las cenizas volantes y 100 ng de EQT/kg en las cenizas de rejilla (al igual que en la clase 2). Los incineradores de la clase 4 tienen gran eficiencia de combustión de la que resulta una proporción de carbono orgánico del 1% aproximadamente del carbón no quemado, pero también una elevadísima eficiencia de retención de pequeñísimas partículas de cenizas volantes. Las cenizas volantes

se retienen (30 kg/t de desechos) con una concentración de 5.000 ng de EQT/kg y 10 ng de EQT/kg de cenizas de rejilla. Estas pequeñas partículas dan una elevada superficie de adsorción de PCDD/PCDF y, por consiguiente, la concentración general no sigue disminuyendo.

6.1.4 Incineración de desechos de desguace, fracción ligera

En el presente contexto por desechos de desguace, fracción ligera (DDFL) (denominados también “borra” de desguazador o conglomerado ligero), se entiende la fracción ligera que se obtiene en el desguace. En muchos países grandes objetos como viejos vehículos, electrodomésticos, contenedores de graneles, etc., se desguazan con el fin de reducir su volumen y separar los materiales recuperables, como los metales, de los plásticos y materiales mixtos. Entre los mecanismos de separación más utilizados figuran la selección, el tamizado y diversos procesos de fraccionamiento que utilizan las diferencias de peso entre los distintos materiales o las propiedades magnéticas de los metales ferrosos para dividir la mezcla que sale del desguazador en metales ferrosos, metales no ferrosos, vidrio, otros materiales inertes pesados, y fracciones conglomeradas de peso ligero. En ciertos casos, la fracción ligera es poco útil y se puede quemar para su eliminación.

Los vectores importantes de liberación son la atmósfera y los residuos, ya que el equipo de CCA, suponiendo que exista, está totalmente libre de agua de desecho. Por consiguiente, en el cuadro 16 se dan tres grupos de factores de emisión.

Cuadro 16: Factores de emisión en la incineración de DDFL

| | Factores de emisión - µg de EQT/t DDFL quemados | |
|--|---|----------|
| | Atmósfera | Residuos |
| 1. Combustión no controlada de tipo de lotes, sin sistema de CCA | 1000 | ND |
| 2. Combustión controlada del tipo de lotes, sin CCA o con CCA mínimo | 50 | ND |
| 3. Alta tecnología, combustión continua y controlada, sistema de CCA perfeccionado | 1 | 150 |

Los factores de emisión por defecto que se dan se basan en el supuesto de que los DDFL quemados producen aproximadamente un 1% de cenizas volantes y de que la liberación de PCDD/PCDF asociada con la evacuación de las cenizas depositadas es insignificante. Se considerarán de clase 1 los equipos de combustión más sencillos como barriles, bidones o simples hornos fijos de rejilla sin ningún tipo de control de combustión ni de CCA anexo. También entran dentro de esta clase 1 los hornos de tipo de lotes que funcionan sin ningún tipo de CCA. Se considerarán como de clase 2 todos los demás hornos que cuentan con algún tipo de tecnología de control de la combustión como corrientes de aire superiores o inferiores, controles de cargador, lechos fluidizados, etc., incluidas las instalaciones que tienen algún tipo de sistema de CCA como un PES, un filtro de saco o un depurador húmedo para la retención del polvo. También se aplica la clase 2 a los incineradores de DDFL con combustión controlada y equipo de CCA adecuado, aunque sigan funcionando según el modo de lotes. Se puede partir del principio de que la inmensa mayoría de todas las plantas de

incineración de DDFL entran dentro de las clases 1 y 2. La clase 3 sólo se aplicará a las plantas de incineración de CCD que se encuentran en Norteamérica y, a veces, en Europa Occidental. Sólo se aplicará la clase 3 si se ha impuesto por reglamento un valor de 0,1 ng de EQT/Nm³ y se puede dar por supuesto que la instalación en cuestión puede cumplirlo.

6.1.4.1 *Liberaciones a la atmósfera*

Las liberaciones a la atmósfera constituyen el vector predominante en la combustión de DDFL. El factor de emisión por defecto correspondiente a la clase 1 se obtuvo basándose en un factor de emisión de 1,000 ng de EQT/kg, determinado por la EPA de los Estados Unidos mediante un estudio de quema en barril de desechos domésticos combustibles seleccionados, muy semejantes por su composición a la "borra". Para la clase 2 se utilizan diversos datos de emisiones medidas en una serie de instalaciones de CDD en Europa Occidental y Norteamérica, así como de instalaciones japonesas de combustión de lecho fluidizado con un equipo de CCA mínimo. Así se determinó un factor de emisión de 50 µg de EQT/t. la clase 3 corresponde a los más perfeccionados sistemas de incineración de DDFL, más tecnología de CCA. En estas condiciones sólo se admiten 10.000 Nm³/t de desechos ligeros de desguace y una concentración inferior a 0,1 ng de EQT/Nm³ (US EPA 1999, LUA 1997, IFEU 1998, Environment Canada 1999).

6.1.4.2 *Liberaciones al agua*

No se dispone de ninguna medición de concentraciones de PCDD/PCDF halladas en efluentes de depuradores correspondientes a incineradores de DDFL, así que no se ha podido dar ningún factor de emisión.

6.1.4.3 *Liberaciones a la tierra*

No cabe esperar ninguna liberación al suelo a no ser que residuos no tratados se coloquen directamente sobre él o se mezclen con tierra.

6.1.4.4 *Liberaciones con productos*

El proceso no da ningún producto y, por consiguiente, no hay posibilidad de liberación por productos.

6.1.4.5 *Liberaciones con residuos*

Convendrá partir del principio de que en las cenizas volantes existen elevadas concentraciones de PCDD/PCDF. Normalmente, los DDFL dan una proporción de cenizas volantes del 1% aproximadamente. Además, éstas contienen carbón no quemado en proporciones que pueden ir desde el 5% (clase 3) hasta probablemente 30% (clase 1). En la clase 1 no se usa equipo de CCA y, por consiguiente, no se retienen las cenizas volantes sino que la mayor parte de ellas pasan a la atmósfera junto con el gas de salida. Incluso aunque no se disponga de ningún dispositivo específico de retención de cenizas volantes y la mayoría de

éstas salgan por la chimenea, cabe esperar que algunas se retengan en el horno y en los conductos que conducen a la chimenea, así como en esta misma. Como el carbón no quemado de las cenizas volantes incrementa en gran medida la adsorción de PCDD/PCDF, su concentración alcanza el máximo en la clase 1 pero de todas formas no se dispone de datos precisos. Se supone que la clase 3 no sólo tiene una elevada eficiencia de combustión sino también gran eficiencia para la retención, en particular de las finísimas partículas de cenizas volantes. Así se ha elegido un valor de 15.000 ng de EQT/kg. Las pequeñas partículas dan una gran superficie de adsorción a los PCDD/PCDF y, por consiguiente, la concentración general no sigue disminuyendo (US EPA 1999, LUA 1997, IFEU 1998).

6.1.5 Incineración de lodos de alcantarilla

El lodo de alcantarilla es producto de todo tipo de procesos de tratamiento de aguas negras, sea cual fuere su origen (como aguas residuales de actividades municipales, agrícolas o industriales). Las aguas negras siempre contienen sólidos, que normalmente se retiran durante el proceso de tratamiento. Como los PCDD/PCDF son prácticamente insolubles en agua, se adsorben a los sólidos presentes en las aguas negras. Si no se extraen los sólidos, los PCDD/PCDF se evacuarán junto con las aguas negras. Los sólidos retenidos, el lodo, se incineran, se vierten a un terraplén o se utilizan como fertilizantes en la agricultura. Esta subsección trata de las emisiones de PCDD/PCDF procedentes de la incineración de lodos de alcantarilla; los otros dos medios de tratamiento de lodos se incluyen en la categoría principal de fuentes 9 (sección 6.9.2). La incineración de los lodos de alcantarilla es frecuente, en particular en países industrializados. La incineración de lodos procedentes de procesos industriales, como el sector de la pasta y el papel, que tienen considerable valor calórico y se utilizan para la generación de calor y energía, se tratan en la categoría principal de fuentes 7 (sección 6.7.1). Otra posibilidad para la eliminación de lodos de alcantarilla es su coincineración en calderas, por ejemplo en centrales termoeléctricas que usan combustibles fósiles (véase la categoría principal de fuentes 3 – sección 6.3.1) o en horno de cemento (véase la categoría principal de fuentes 4 – sección 6.4.1).

El ideal sería que el lodo de alcantarillas se incinerase en hornos de lecho fluidizado de hervidero o circulantes, en los que la formación de PCDD/PCDF se ve limitada por las buenas condiciones de la combustión. También reducen las emisiones de PCDD/PCDF los sistemas más eficientes de retención de partículas, que tienen una importancia fundamental en el funcionamiento de los hornos de lecho fluidizado circulante. Otros tipos de hornos comúnmente utilizados son los hornos de placa vertical rotatoria o de hogar abierto, los de tipo de parrilla o las muflas. Todos los tipos de hornos consiguen que la formación de PCDD/PCDF sea razonablemente baja, aunque también depende de la composición del lodo quemado. La incineración de lodos que contienen concentraciones elevadas de hidrocarburos halogenados y/u otros contaminantes orgánicos, además de metales pesados como el cobre, puede incrementar las emisiones de PCDD/PCDF.

Los vectores de la liberación más importantes son sobre todo la atmósfera y los residuos. Las liberaciones al agua se pueden producir cuando se utilizan depuradores húmedos. En el cuadro 17 se muestran los tres grupos de factores de emisión.

Cuadro 17: Factores de emisión para la incineración de lodos de alcantarilla

| | Factores de emisión - μg de EQT/t de lodos de alcantarilla | |
|---|---|----------|
| | Atmósfera | Residuos |
| 1. Hornos antiguos, que funcionan por lotes, sin o con escaso equipo de CCA | 50 | 23 |
| 2. Instalaciones modernizadas de funcionamiento continuo y controladas, con algún equipo de CCA | 4 | 0,5 |
| 3. Instalaciones modernas y perfeccionadas de funcionamiento continuo y controlado, con sistema de CCA completo | 0,4 | 0,5 |

6.1.5.1 Liberaciones a la atmósfera

Las liberaciones a la atmósfera hacen de ésta el vector predominante en la combustión de lodos de alcantarilla. El factor de emisión por defecto correspondiente a la clase 1 se determinó según un promedio de las siguientes emisiones: en un estudio en Bélgica, una concentración de 4 ng de EQT/ Nm^3 y una tasa de flujo específica por volumen de gas de salida de unos 12.500 Nm^3/t de lodo de alcantarilla quemado, y otro estudio notificado del Reino Unido que dio 77 ng de EQT/kg para un horno de solera múltiple con PES. La clase 2 consiste en un factor de emisión determinado en los Países Bajos en plantas de lechos fluidizados con depuradores y PES. La clase 3 corresponde a plantas de lecho fluidizado con sistemas óptimos de control de la contaminación atmosférica que satisfacen en todos los casos los límites de emisión de 0,1 ng de EQT-1/ Nm^3 (de mediciones hechas en Alemania, Canadá y Suiza) (LUA 1997, IFEU 1998, Environment Canada 1999).

6.1.5.2 Liberaciones al agua

No se dispone de datos sobre concentraciones de PCDD/PCDF en el efluente de depuradores de incineradores de lodo de alcantarilla. Pero dado que las aguas servidas procedentes de depuradores húmedos con frecuencia se tratan y después se introducen en las plantas de tratamiento de las aguas servidas, puede concluirse que de las plantas de incineración al agua no pasan PCDD/PCDF.

Deberán señalarse las plantas que utilizan depuradores húmedos o que simplemente enfrían con agua los gases de salida o las cenizas de la rejilla, y también deberá especificarse qué tratamiento y destino se da a los efluentes.

6.1.5.3 Liberaciones a la tierra

No cabe esperar ninguna liberación al suelo a no ser que sobre él se coloquen directamente residuos no tratados o éstos se mezclen con tierra.

6.1.5.4 *Liberaciones con productos*

El proceso no da ningún producto; por consiguiente, no hay liberación con productos.

6.1.5.5 *Liberaciones con residuos*

Una prueba realizada en el Reino Unido (Dyke et al 1997) con hornos de solera múltiple reveló la existencia de PCDD/PCDF en las cenizas de la rejilla, en concentraciones de 39 ng de EQT/kg y de 470 ng de EQT/kg en cenizas volantes salidas de un PES. Las tasas de producción de ceniza a partir de la planta de solera múltiple eran de 430 kg por tonelada de cenizas de rejilla y de 13 kg por tonelada de cenizas de PES. Los niveles de cenizas (todas las cenizas fueron recogidas en un PES) a partir de la combustión en lecho fluidizado fueron muy inferiores (<1 ng de EQT/kg). En el lecho fluidizado se produjeron 373 kg de cenizas de PES por tonelada de lodo incinerado.

Así pues, las liberaciones de residuos (combinadas) en la clase 1 ascienden a 23 µg de EQT/t de desechos. Las liberaciones en la clase 2 son de 0,5 µg de EQT/t de desechos. En la clase 3 se calcula la misma proporción que en la clase 2.

6.1.6 Incineración de desechos de madera y de biomasa

Esta subcategoría se ocupa de la combustión de desechos de madera y biomasa en hornos bajo condiciones controladas. La sección se refiere a la madera que ha sido tratada o que se ha mezclado con otras maderas tratadas; la combustión de biomasa limpia para la generación de energía se trata en la sección 6.3.2. La biomasa “limpia” o contaminada que se quema sobre el suelo se tratará en la sección 6.6 – Procesos de combustión incontrolados.

Los desechos de madera y otros desechos de biomasa pueden provenir de numerosas actividades humanas. Las principales son las industrias de procesamiento de la madera (por ejemplo, materiales de construcción, muebles, materiales de embalaje, juguetes, construcción naviera, construcción general, etc.). También se incluye en esta categoría la combustión de restos de construcción. Los desechos de madera/biomasa pueden contener pinturas, revestimientos, plaguicidas, conservadores, agentes antimanchas y otros muchos productos. Cuando estos materiales se incineran junto con la biomasa pueden potenciar la formación de PCDD/PCDF durante la combustión. En muchos casos, las condiciones de combustión pueden ser defectuosas, lo cual puede incrementar en gran medida las emisiones de PCDD/PCDF.

En las instalaciones modernas la biomasa se quema en hornos de lecho fluidizado estacionario o circulante en los que la formación de PCDD/PCDF se ve limitada en gran medida por las buenas condiciones de la combustión. Lo más probable es que estas plantas dispongan además de sistemas eficientes de control de la contaminación, en particular de retención de partículas, lo que es fundamental para el funcionamiento de los hornos de lecho fluidizado circulante. Otros tipos de hornos comúnmente utilizados son los hornos de platina vertical rotatoria o de solera abierta, los hornos de rejilla o las muflas. Todos los tipos de hornos permiten obtener niveles razonablemente bajos de formación de PCDD/PCDF dependiendo, de todas formas, de la composición de la biomasa que se quema. La biomasa que tiene un contenido elevado de hidrocarburos halogenados o de metales pesados, como

cobre, plomo, estaño o cadmio siempre darán emisiones más elevadas de PCDD/PCDF que cuando se quema biomasa virgen. En el cuadro 18 se exponen las tres clases de factores de emisión.

Cuadro 18: Factores de emisión en la incineración de desechos de madera/biomasa

| | Factores de emisión - μg de EQT/t de biomasa quemada | |
|--|---|--------------------------------|
| | Atmósfera | Residuos (sólo ceniza volante) |
| 1. Hornos antiguos, que funcionan por lotes, sin equipo de CCA | 100 | 1000 |
| 2. Instalaciones modernizadas de funcionamiento continuo y controladas, con algún equipo de CCA | 10 | 10 |
| 3. Instalaciones modernas y perfeccionadas de funcionamiento continuo y controlado, con sistema de CCA completos | 1 | 0,2 |

6.1.6.1 Liberaciones a la atmósfera

La atmósfera es el principal vector de las liberaciones a partir de la combustión de desechos de madera y biomasa. Los factores de emisión por defecto correspondientes a las tres categorías se determinaron sobre la base de las notificaciones de concentraciones de emisión que iban de 130 μg de EQT/t (estudio belga) a 1 μg de EQT/t (estudios canadiense y sueco). Por consiguiente, para la clase 1 se eligió un factor de emisión por defecto de 100 μg de EQT/t, aplicable a las viejas instalaciones incontroladas. La clase 2 corresponde a instalaciones más nuevas y mejor controladas. A esta clase se le ha asignado un factor de emisión por defecto de 10 μg de EQT/t. Por último, en la clase 3, con un factor de emisión por defecto seleccionado en 1 μg de EQT/t, se incluyen todas las instalaciones modernas para la combustión de desechos de madera y biomasa (LUA 1997, IFEU 1998, Environment Canada 1999).

6.1.6.2 Liberaciones al agua

Este vector de liberación no se considera importante para este tipo de fuente.

6.1.6.3 Liberaciones a la tierra

No es de esperar que se produzcan liberaciones al suelo a no ser que directamente sobre él se depositen residuos no tratados o éstos se mezclen con tierra.

6.1.6.4 Liberaciones con productos

El proceso no da productos; por consiguiente, no existe un factor de emisión.

6.1.6.5 *Liberaciones con residuos*

La concentración de PCDD/PCDF en la ceniza ha de ser elevada ya que en general ésta contiene concentraciones elevadas de carbón no quemado. Sobre todo en hornos viejos y en incineraciones abiertas unas emisiones gaseosas más elevadas indican claramente una inferior eficiencia de combustión, de la que resultan elevadas concentraciones de carbón sin quemar en las cenizas volantes. Por consiguiente, en las cenizas han de esperarse elevadas concentraciones de PCDD/PCDF. Lamentablemente, sólo se ha encontrado un número muy limitado de datos procedentes de Canadá y de Alemania, y en ellos se encuentra una gama muy extensa que va desde los 23,000 ng de EQT/kg de ceniza hasta sólo 3,7 ng de EQT/kg de ceniza. Basándose en el hecho de que la concentración total en cenizas procedentes de desechos de madera y biomasa es por término medio del 3 al 10%, se ha elegido un valor del 5%. De ahí se determina un factor de emisión por defecto de unos 1,000 µg de EQT/t para la clase 1 y de 0,2 µg de EQT/t para la clase 3. Ante la falta de datos precisos, se ha elegido para la clase 2 un valor intermedio (LUA 1997, IFEU 1998, Environment Canada 1999). En la clase 1 no se utiliza ningún tipo de equipo de CCA y, por consiguiente, la ceniza volante no se retiene sino que la mayor parte de ella pasa a la atmósfera junto con el gas de salida. De todas formas, incluso si no se ha instalado ningún dispositivo específico para la retención de cenizas volantes y la mayoría de éstas pasan a través de la chimenea, puede esperarse que una parte quede en el horno y en los conductos que llevan a la chimenea, así como en ésta. No se han podido obtener datos medidos con relación a las cenizas depositadas y, por consiguiente, en los factores de emisión por defecto correspondientes a los residuos sólo se tienen en cuenta las cenizas volantes.

6.1.7 Combustión de cadáveres de animales

Los cadáveres de animales se pueden quemar con el fin de evitar los riesgos que de otra forma podría implicar para la salud pública su putrefacción. El propio proceso de combustión está con frecuencia escasamente controlado y la combustión suele ser incompleta, ya que se trata sobre todo de desinfectar y erradicar por completo toda actividad biológica y no de obtener una combustión completa o generar energía.

Los cadáveres de animales se queman con frecuencia en hornos sencillos de baja tecnología. Por consiguiente, es prácticamente imposible dar una descripción de un típico horno destinado a la quema de cadáveres de animales. Es lo más frecuente que estos hornos no estén diseñados para garantizar una combustión bien controlada ni una gran eficiencia de retención de partículas, de manera que sean bajas las emisiones de PCDD/PCDF.

Los vectores de liberación son sobre todo la atmósfera y los residuos. Sólo cuando la combustión tenga lugar directamente sobre el suelo, habrá una liberación a tierra. De todas formas, no se dispone de datos sobre contaminación del suelo. En el cuadro 19 se dan tres clases de factores de emisión.

Cuadro 19: Factores de emisión para la combustión de cadáveres de animales

| | Factores de emisión - μg de EQT/t de cadáveres de animales quemados | |
|--|--|----------|
| | Atmósfera | Residuos |
| 1. Hornos antiguos, que funcionan por lotes, sin equipo de CCA | 500 | ND |
| 2. Instalaciones modernizadas de funcionamiento continuo y controladas, con algún equipo de CCA | 50 | ND |
| 3. Instalaciones modernas y perfeccionadas de funcionamiento continuo y controlado, con sistema de CCA completos | 5 | ND |

6.1.7.1 Liberaciones a la atmósfera

Las atmósfera constituye el vector predominante de las liberaciones procedentes de la quema de cadáveres de animales. Los factores de emisión por defecto de las tres clases se determinaron sobre la base de las concentraciones de emisión notificadas que iban desde casi $50 \mu\text{g}$ de EQT/100 kg de peso (estudio del Reino Unido) a menos de $0,5 \mu\text{g}$ de EQT/100 kg (estudios austríaco y alemán). Por consiguiente, a la clase 1 se le atribuyó un factor de emisión por defecto de $500 \mu\text{g}$ de EQT/t de peso para las viejas instalaciones no controladas y para la quema abierta de los cadáveres de animales. La clase 2 corresponde a instalaciones más nuevas y mejor controladas. Sobre la base de los datos procedentes de Suiza, Alemania y el Reino Unido, para esta clase se eligió un factor de emisión por defecto de $5 \mu\text{g}$ de EQT/100 kg (= $50 \mu\text{g}$ de EQT/t) de peso. Por último, en la clase 3, con un factor de emisión por defecto seleccionado en un nivel de $5 \mu\text{g}$ de EQT/t de peso, se incluyen todas las instalaciones modernas destinadas a la combustión de cadáveres de animales (LUA 1997, IFEU 1998).

6.1.7.2 Liberaciones al agua

Se consideró que este vector de liberación no tenía importancia en este tipo de fuente.

6.1.7.3 Liberaciones a la tierra

Las liberaciones a la tierra sólo pueden producirse cuando los cadáveres de animales se queman directamente sobre el terreno.

6.1.7.4 Liberaciones con productos

El proceso no da productos y, por consiguiente, no hay liberaciones con productos.

6.1.7.5 *Liberaciones con residuos*

La concentración de PCDD/PCDF en la ceniza puede ser elevada ya que, en general, ésta contiene concentraciones bastante altas de carbón no quemado. Sobre todo en los viejos hornos y en la incineración al aire libre, unas emisiones altamente gaseosas indican claramente que la eficiencia de la combustión es baja, de lo que resultan elevadas concentraciones de carbón no quemado en las cenizas volantes. Por consiguiente, pueden esperarse altas concentraciones de PCDD/PCDF en las cenizas. No se hallaron datos suficientes para asignar factores de emisión por defecto.

6.2 **Categoría principal 2 – Producción de metales ferrosos y no ferrosos**

La industria del hierro y el acero, así como la de metales no ferrosos constituyen ramos industriales altamente intensivos en materiales y energía. Cantidades considerables de la masa de entrada salen en forma de gases de salida y residuos. Las emisiones van a parar sobre todo a la atmósfera. Además, los materiales secundarios y la proporción de reutilización y reciclado de residuos sólidos constituyen una parte importante de las actividades de estas industrias. Minerales y concentrados contienen metales distintos del objetivo primario y mediante ciertos procesos se trata de obtener el metal objetivo puro y recuperar al mismo tiempo otros metales valiosos. Estos otros metales tienden a concentrarse en los residuos de los procesos y, a su vez, estos residuos constituyen la materia prima de otros procesos de recuperación de metales. Por último, el polvo de los filtros se puede reciclar en la misma planta o utilizar para la recuperación de otros metales en otras instalaciones de metales no ferrosos, por una parte tercera o por otros demandantes.

6.2.1 Sinterización del mineral de hierro

Las plantas de sinterización se asocian a la fabricación de hierro con frecuencia en talleres integrados de hierro y acero. El proceso de sinterización constituye un paso previo de la producción de hierro y en él se aglomeran por combustión finas partículas de metal. La aglomeración es necesaria para incrementar el paso a través de los gases durante la operación en el alto horno. Normalmente, las plantas de sinterización están constituidas por grandes sistemas de rejilla (hasta varios centenares de metros cuadrados) que sirven para preparar el mineral (a veces en forma de polvo) para su uso en el alto horno. Además del mineral de hierro suele haber unas fuentes de carbón (frecuentemente cok) y otros aditivos, como la piedra caliza. En ciertos casos se reúnen desechos procedentes de varias partes del proceso de fabricación de acero. En el proceso de sinterización los quemadores situados por encima de la reja calientan el material hasta la temperatura requerida (1.100-1.200 °C), con lo que se quema el combustible de la mezcla. El frente de llamas pasa a través del lecho de sinterización a medida que éste va avanzando a lo largo de la reja y así se forma la aglomeración. El aire se absorbe a través del lecho. El proceso se concluye en el momento en que el frente de llamas ha pasado a través de toda la capa de mezcla y se ha quemado la totalidad del combustible. El sinterizado enfriado se transfiere a tamices que separan las piezas que van a utilizarse en el alto horno (4-10 mm y 20-50 mm) de las que van a regresar al proceso de sinterización (0-5 mm como “finas de regreso”, 10-20 mm como “capa intermedia”).

El flujo de gas de desecho de una planta de sinterización va de 350.000 a 1.600.000 Nm³/h,

dependiendo del tamaño de la planta y de las condiciones de funcionamiento. Habitualmente, el flujo específico de gas de desecho se sitúa entre 1.500 y 2.500 Nm³/t de sinterizado (EC-JRC 2000c).

Los gases de desecho se suelen tratar para la retención de polvo en un ciclón, un precipitador electrostático, un depurador húmedo o un filtro de tela. En las plantas en las que se han hallado elevadas emisiones de PCDD/PCDF, para reducirlas pueden instalarse sistemas de depuración de alto rendimiento junto con otras medidas dirigidas a reducir los flujos de gas.

Las importantes investigaciones realizadas acerca de la formación de PCDD/PCDF en el proceso de sinterización han mostrado que éstos se forman en el interior del propio lecho de sinterizado, probablemente inmediatamente antes del frente de llamas, en el punto en el que los gases calientes son forzados a través del lecho. Se ha observado asimismo que las irregularidades en la propagación del frente de llamas, es decir un funcionamiento no regular, provocan emisiones de PCDD/PCDF más elevadas. Por consiguiente, se conseguirá reducir la formación de dioxinas y furanos mediante un funcionamiento del proceso de sinterización que sea lo más regular posible en cuanto a la velocidad de avance, la composición del lecho, la altura de éste, el uso de aditivos y el adecuado mantenimiento del lecho, los conductos y el PES en condiciones de hermeticidad, de manera que se reduzca al mínimo posible la cantidad de aire que entre en la operación.

En un total de 41 muestras tomadas en cuatro lugares en el Reino Unido se ha encontrado una media de 1,0 ng de EQT-I/Nm³. Sin embargo, en plantas situadas en otros Estados Miembros de la Unión Europea que trabajan en las mismas condiciones o en condiciones muy similares no se han alcanzado valores tan bajos. En Alemania se han medido habitualmente 2-3 ng de EQT-I/Nm³. De una determinada planta se comunicaron valores entre 5 y 6 ng de EQT-I/Nm³ (EC-JRC 2000c).

En el cuadro 20 se exponen tres clases de factores de emisión.

Cuadro 20: Factores de emisión para el mineral de hierro en plantas de sinterización

| Clasificación | Factores de emisión – µg de EQT/t de sinterizado producido | | | | |
|---|--|------|--------|-----------|----------|
| | Atmósfera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| 1. Alto reciclado de desechos, incluidos materiales contaminados con aceite | 20 | ND | ND | NA | 0,003 |
| 2. Escasa utilización de desechos, planta bien controlada | 5 | ND | ND | NA | 0,003 |
| 3. Alta tecnología, reducción de emisiones | 0,3 | ND | ND | NA | 0,003 |

En el caso de las plantas que utilizan gran cantidad de desechos, incluidos aceite de corte y otros contaminantes clorados y con procesos de control limitados, se utilizarán los factores de la clase 1; la clase 2 se aplicará a las plantas que pueden demostrar un buen control de la combustión y que utilizan pocos desechos, en particular aceites de corte. Los factores de emisión de la clase 3 se aplicarán a aquellas plantas que han adoptado medidas concretas de control de PCDD/PCDF.

Las plantas de sinterización de tecnología muy baja pueden producir las más elevadas emisiones. Cualquier planta que tenga controles de combustión deficientes y sistemas muy

limitados de control de la contaminación se señalará para un nuevo examen en el futuro.

6.2.1.1 *Liberaciones a la atmósfera*

En ciertos países se han identificado plantas de sinterización de mineral de hierro como fuente importante de liberación de PCDD/PCDF a la atmósfera. Cabe suponer que las más elevadas emisiones proceden de plantas que no han hecho ningún intento generalizado de reducir sus emisiones de PCDD/PCDF y que además utilizan materiales de desecho como aceites de corte, polvo de PES, etc., para la producción de sinterizado. A esta clase de procesos se le aplica un factor de emisión de 20 μg de EQT/t obtenido en dos estudios de inventarios en los que se utilizaba un volumen de gas de 2.000 Nm^3 por tonelada de sinterizado y una concentración de 10 ng de EQT/ Nm^3 (HMIP 1995, SCEP 1994). Vale la pena señalar que en una planta en Alemania se encontró un factor de emisión de casi 100 μg de EQT/t de sinterizado; las correspondientes emisiones en chimenea presentaban 43 ng de EQT/ m^3 (LUA 1997).

A las plantas que utilizan pocos desechos se les atribuye un factor de emisión de 5 μg de EQT/t basándose en estudios realizados en Bélgica, Suecia, Países Bajos y Alemania.

En cuanto a las plantas de la más alta tecnología, en las que se han estudiado y tratado las emisiones de PCDD/PCDF con cambios importantes en la tecnología y el funcionamiento, sistema que puede incluir medidas destinadas a reducir los flujos de gas y a la adopción de depuradores en varias etapas con tratamiento de efluentes, se les atribuye un factor de emisión de 0,3 μg de EQT/t, basado en un flujo de gas reducido de 1.500 Nm^3/t y una concentración de 0,2 ng de EQT/ Nm^3 (Smit et al. 1999, HMIP 1995).

En ciertos casos se han hallado concentraciones mucho más elevadas de PCDD/PCDF, en relación posiblemente con el uso de aceites de corte clorados, y en estos casos se ha requerido que se den datos medidos.

Debe mencionarse que, de acuerdo con datos alemanes (LUA 1997) el tamizado y triturado en caliente puede agregar 1 μg de EQT/t de sinterizado adicional y que las emisiones fugitivas forman en la cintura de sinterizado otros 2 μg de EQT/t de sinterizado.

6.2.1.2 *Liberaciones al agua*

Pueden producirse liberaciones al agua si en el proceso se utiliza un depurador húmedo con descarga de efluentes. No se ha podido determinar un factor de emisión para esta vía de liberación. Deberá tomarse nota de toda descarga de líquidos, siendo factores importantes su cantidad y el tratamiento.

6.2.1.3 *Liberaciones a la tierra*

No es de esperar que se produzcan liberaciones a tierra. Deberá tomarse nota de todo vertido de residuos al suelo.

6.2.1.4 *Liberaciones con productos*

El producto de este proceso es el sinterizado, con el que se alimenta el alto horno. Todo PCDD/PCDF presente en el sinterizado ingresará en el alto horno y lo más probable que ahí sea destruido. Por consiguiente, no se considera que haya liberación con los productos.

6.2.1.5 *Liberaciones con residuos*

Se considera que el residuo más importante será el polvo recogido en los dispositivos de control del polvo. Este puede ser en parte reciclado hacia el proceso o se puede sacar del proceso a título de desecho. Datos del Reino Unido se refieren a las cantidades de PCDD/PCDF en el polvo tomado de los PES de una planta de sinterización, datos que dan unos límites de 29 a 90 ng de EQT-I/kg. Sólo se evacua una pequeña cantidad del polvo de sinterización (en el Reino Unido, por ejemplo, 700 t/a a partir de una producción de sinterizado de 15,1 millones de toneladas, es decir aproximadamente 0,05 kg de polvo por tonelada de sinterizado). Datos medidos en Alemania en 1993/94 daban límites de 196 a 488 ng de EQT-I/kg (EC 1999). El factor de emisión de 0,003 µg de EQT/t se basa en los datos de una planta del Reino Unido (Dyke et al. 1997) y, en ausencia de otros datos, se supone que no varía con el tipo de procesado. Conviene saber que se han señalado hasta 2 kg de polvo por tonelada de sinterizado (EC-JRC 2000c).

6.2.2 Producción de cok

El cok se produce por carbonización (calentamiento al vacío) a partir de la antracita o del lignito. En los “hornos de cok”, se carga el carbón en grandes recipientes que se someten a un calentamiento externo de unos 1.000 °C, en ausencia de aire. El cok se extrae y enfría con agua. El principal utilizador de cok, al menos en países industrializados, es la industria siderometalúrgica.

La liberación de PCDD/PCDF a partir de la producción de cok no ha sido muy estudiada. Los factores de emisión facilitados se basan en una planta que recurría a la combustión y al control del polvo para el tratamiento de los gases de salida del proceso. Si se usa una tecnología considerablemente distinta, las emisiones pueden ser bastante diferentes. Deben señalarse las diferencias en la tecnología.

No se dispone de datos que permitan evaluar las liberaciones consecutivas a la producción del carbón vegetal a partir de la madera. Este proceso puede desarrollarse en numerosas pequeñas unidades individuales que, en su conjunto, pueden reunir una producción considerable. Convendría realizar una estimación de la cantidad total de carbón vegetal procesado de esta forma, y para ello podrían realizarse estimaciones iniciales de emisiones considerando esta fuente como de combustión de la madera en condiciones defectuosas.

En el cuadro 21 se muestran tres clases.

Cuadro 21: Factores de emisión a partir de la producción de cok

| Clasificación | Factores de emisión– µg de EQT/t de cok producido | | | | |
|---|---|-------------------|--------|-----------|----------|
| | Atmósfera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| 1. Sin limpieza del gas | 3 | 0,06 ¹ | NA | ND | ND |
| 2. CCA con postcombustión/ retención del polvo | 0,3 | 0,06 ¹ | NA | ND | ND |

¹ Cuando se aplica un tratamiento al agua se utiliza un factor de 0,006 µg de EQT/t.

La clase 1 se aplicará a las instalaciones que no utilizan ningún tipo de dispositivo de retención del polvo, mientras que en la clase 2 se incluirán las plantas mejor equipadas.

6.2.2.1 Liberaciones a la atmósfera

Pueden producirse emisiones a la atmósfera durante la carga y la descarga del carbón/cok, así como durante el calentamiento. Como no hay gas que pase a una chimenea, es difícil medir factores de emisión y, por consiguiente, existe incertidumbre a este respecto.

El factor de emisión de clase 1 se aplica a la estimación de liberaciones en los casos en que no hay ningún tipo de depuración de gas. El factor de emisión de clase 2 se aplicará a las liberaciones de plantas que utilizan tecnologías como los equipos de postcombustión y retención de polvo (Bremmer et al. 1994). El factor de emisión equivale aproximadamente a 0,23 µg de EQT/t de carbón procesado.

6.2.2.2 Liberaciones al agua

Se pueden producir liberaciones al agua cuando se descargan a ella efluentes del enfriamiento o de la depuración en húmedo. Se dan dos factores de emisión: 0,06 µg de EQT/t para el agua no tratada y 0,006 µg de EQT/t para el agua tratada (con una presunta eficacia del 90%).

6.2.2.3 Liberaciones a la tierra

No se espera ninguna liberación a la tierra.

6.2.2.4 Liberaciones con productos

Todos los PCDD/PCDF presentes en el producto cok se supone que pasan a otros procesos. No se dispone de datos que permitan evaluar las cantidades presentes.

6.2.2.5 Liberaciones con residuos

Los residuos pueden quedar de los lodos del tratamiento de agua y de los sólidos recogidos. No se dispone de datos sobre PCDD/PCDF en residuos.

6.2.3 Plantas de producción de hierro y acero

La industria siderometalúrgica es extraordinariamente intensiva en materiales, basándose en materias primas como minerales, pellas, chatarra, carbón, cal, piedra caliza (en ciertos casos con gran carga de aceites y plásticos) y aditivos y auxiliares, y además consume mucha energía. Más de la mitad de la masa de entrada se transforma en salidas en forma de gases de salida y desechos o productos secundarios sólidos. Las emisiones más destacadas son las que se producen a la atmósfera, y las emisiones a partir de plantas de sinterización dominan la generalidad de las emisiones en lo que respecta a la mayor parte de los contaminantes (véase la sección 6.2.1).

En esta sección se tratará de todos los procesos utilizados para la fabricación de hierro y acero. En la actualidad, para la producción de acero se siguen cuatro vías: la clásica del alto horno/horno de oxígeno básico, la fusión directa de la chatarra (horno de arco eléctrico), la reducción del fundido y la reducción directa (EC-JRC 2000c). A efectos del Instrumental, se va a establecer una clasificación por categorías según el tipo de material de entrada: los altos hornos (AH) se usan sólo para la producción de lingotes de hierro y se alimentan con mineral de hierro procedente o bien de plantas de sinterización o de plantas de producción de pellas. Los altos hornos no utilizan chatarra. La chatarra se está utilizando en hornos de arco eléctrico (HAE), hornos de oxígeno básico (HOB) y funderías donde se encuentran hornos de cubilote (HC) y hornos de inducción (HI). También se podrían clasificar las tecnologías de acuerdo con la utilización de cok como medio de reducción. De esta forma, los HOB, los HC y los AH formarían un grupo que utilizaría el cok, mientras que los HAE y los HI no lo utilizarían.

Para la fusión de metales en las funderías se utilizan normalmente cinco tipos de hornos: de cubilote, de arco eléctrico, de inducción, reverberatorios y de crisol. Los dos últimos tipos son especialmente frecuentes en las industrias de metales no ferrosos y, por consiguiente, no se tratarán más a fondo en esta sección, que se ocupa de la industria siderometalúrgica. Algunas funderías utilizan más de un tipo de horno (US-EPA 1998b).

En los siguientes párrafos se hace una descripción básica de los distintos tipos de hornos y procesos:

En las acerías integradas los **altos hornos (AH)** son la principal unidad operacional en la que se realiza la reducción primaria de los minerales de óxido de hierro que dan el hierro líquido, los lingotes de hierro. Los modernos altos hornos de alto rendimiento exigen una preparación física y metalúrgica de la carga. Los dos tipos de plantas de preparación de mineral de hierro son la planta de sinterización y las plantas de formación de pellas. La sinterización se produce generalmente en los talleres a partir de mezclas prediseñadas de minerales finos, residuos y aditivos. Hasta ahora, los altos hornos siguen siendo con mucha diferencia el elemento más importante para la producción de lingotes de hierro.

Los minerales que contienen altos porcentajes de óxido de hierro se cargan junto con el cok y se envían hacia el alto horno para producir hierro fundido, escoria y gas de alto horno. El hierro fundido (lingote o metal caliente) contiene un 4% aproximadamente de carbón, que se reduce a menos del 1% para la producción de acero. La función del alto horno consiste en reducir los óxidos de hierro sólido a hierro fundido. El alto horno consiste en un horno de gran altura, de tipo de columna, con una chimenea vertical sobre una solera en forma de crisol. El alto horno es un sistema cerrado en el que desde la cumbre de la columna del horno y a través de un sistema de carga que evita la salida del gas del alto horno se introducen

continuamente los materiales portadores del hierro (mineral de hierro grueso, sinterizado y/o pellas), aditivos (formadores de escoria como piedra caliza) y agentes reductores (cok). En el alto horno el mineral de hierro se reduce a lingotes de hierro utilizando la reacción del cok⁶ y oxígeno como fuente de energía, produciéndose monóxido de carbono (CO) como agente reductor. Cuando se cargan los materiales de alimentación, exactamente encima del hogar se fuerza aire a presión (900-1.350 °C) (“tiro de aire caliente”)⁷. En el fondo del horno se recoge el hierro líquido y la escoria y a partir de ahí se van fragmentando.

Aunque circula gran cantidad de agua de refrigeración, apenas hay efluentes acuosos abiertos; una importante guía de salida de los sólidos es la escoria. Los gases de salida con frecuencia se limpian en un “captador de polvo” de tipo ciclón seco, que retiene el material grueso, y en depuradores Venturi que retienen las partículas finas.

La escoria del alto horno se granula, se peletiza o se machaca en pozos de escoria. Los gránulos o pellas de escoria se suelen vender a empresas fabricantes de cemento. Además, la escoria de los pozos puede servir para la construcción de carreteras. El hierro líquido que sale del alto horno (lingote de hierro) se transporta a un horno de oxígeno básico, donde se reduce el contenido de carbón desde un 4% aproximadamente hasta menos del 1%, con lo que se produce el acero. La desulfurización anterior con cucharón del hierro de lingote y la metalurgia del acero con cucharón en sentido descendente se aplican en general para producir acero de la calidad requerida. Al salir del horno de oxígeno básico el acero líquido se moldea, o bien en lingotes o bien mediante un sistema de vaciado continuo. Los productos de vaciado, sean lingotes, planchas, tochos o changotes, se siguen procesando en laminadoras y líneas de acabado, preparándose así para su salida al mercado. La cantidad específica de escoria depende sobre todo de las materias primas que se utilicen, pero suele estar entre 210 y 310 kg/t de hierro de lingote producido.

El **horno de oxígeno básico (HOB)** se popularizó cuando en los años cincuenta se pudo disponer de oxígeno con efectividad de costos y en escala industrial para reemplazar al aire. Además, para introducir el oxígeno en el convertidor se sistematizó una tecnología de lanza refrigeradora de agua. El proceso del HOB y el del horno de arco eléctrico (HAE) han ido reemplazando a procesos utilizados para la fabricación de acero que con frecuencia eran menos eficientes en energía, como el proceso Thomas y el proceso en solera abierta (Bessemer, Siemens-Martin). El objetivo de la fabricación de acero con oxígeno consiste en quemar (es decir, oxidar) las impurezas indeseables que contienen los materiales metálicos de alimentación. El HOB funciona de manera semicontinua. Un ciclo completo recorre las siguientes fases: carga de chatarra y hierro de lingote fundido, inyección de oxígeno, muestreo y registro de temperaturas, y machacado. En una acería moderna se producen unas 300 toneladas de acero en un ciclo de 30-40 minutos.

Las funderías utilizan normalmente chatarra como fuente primaria de metal; cuando no se dispone de chatarra, pueden utilizarse lingotes de hierro. Para extraer impurezas, a la carga del horno o al metal fundido se agrega un flujo, constituido por frecuencia por cloro o sales fluoradas. Normalmente, el HOB funciona con un 20% de chatarra (mientras que un HAE

⁶ De la planta de horno de cok. Esta es la razón por la que los hornos de cok se consideran en este sector de la producción de metales ferrosos y no ferrosos.

⁷ El tiro de aire caliente para el funcionamiento del alto horno procede de calentadores (llamados también “cowpers”). Estos calentadores son instalaciones auxiliares que sirven para calentar el tiro. Para cada alto horno se necesitan tres o cuatro calentadores.

puede funcionar con un 100% de chatarra metálica).

El horno de **cubilote** se utiliza ante todo para la fusión de hierro gris, maleable o dúctil. En un proceso continuo y por una apertura lateral se introducen alternativamente cok y el metal de alimentación, de manera que el cok quema y funde el metal. En general, los gases de salida pasan a través de un sistema de postcombustión y se tratan por depurador. Los cubilotes de aire caliente utilizan un aire precalentado (500-600 °C), mientras que los cubilotes de aire frío no precalientan el aire. Los datos sobre dioxinas disponibles se refieren a plantas que utilizan filtros de tela.

Los **hornos de arco eléctrico (HAE)** se usan para la fusión directa de materiales que contienen hierro, como la chatarra y el hierro o el acero colados. Los hornos de arco eléctrico tienen la ventaja de admitir la entrada de acero aunque no esté limpio. El principal material de alimentación del HAE es la chatarra de hierro, que puede estar constituida por chatarra procedente de talleres metalúrgicos (por ejemplo, recortes metálicos), recortes de acero de fabricantes de productos (como la industria automovilística) y chatarra de artículos de consumo desechados (por ejemplo, productos de fecha vencida). También se utiliza cada vez más como materia de alimentación el hierro directamente reducido (HDR). En el proceso de fabricación del electroacero, el calor se obtiene no por combustión de oxígeno sino por energía eléctrica en un horno eléctrico, de inducción o de plasma. Como en el HOB, se forma escoria a partir de la cal destinada a retener componentes indeseables en el acero. El precalentamiento de la chatarra puede provocar elevadas emisiones de compuestos organohalogenados aromáticos, como las dibenzo-*p*-dioxinas y los dibenzofuranos policlorados (PCDD/PCDF), clorobenzenos, bifenilos policlorados (PCB) así como hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) y también otros productos resultantes de la combustión parcial de la chatarra que está contaminada por pinturas, plásticos, lubricantes u otros compuestos orgánicos. En estos casos, se han encontrado emisiones de PCDD/PCDF hasta 5 veces más elevadas (LAI 1997). Los hornos de arco eléctrico (HAE) tienen una capacidad aproximada de 200 t y la duración del calentamiento es de 1 a 4 horas por región térmica; por consiguiente, se trata de un proceso de lotes. Funden la carga a temperaturas hasta de 3.500 °C. Emiten contaminantes gaseosos que pueden salir a través de un sistema de conducción. Además, puede haber emisiones fugitivas que pueden constituir una gran parte de las emisiones generales.

Los **hornos de tambor rotatorio** funcionan según un proceso por lotes. En general se utiliza un quemador de petróleo para calentar el tambor y la carga. Normalmente, los gases de salida se tratan mediante un filtro de tela.

Los **hornos de inducción** se utilizan para la fusión de metales ferrosos y no ferrosos. Existen varios tipos de hornos de inducción pero todos ellos se basan en la formación de un fuerte campo magnético mediante el paso a través de bobinas de una corriente eléctrica, con lo que se forman en la carga metálica corrientes inducidas que la calientan. Los hornos de inducción necesitan una chatarra más limpia que los de arco eléctrico. Los gases de salida se pueden tratar en filtros de tela.

Debe advertirse que el polvo de los filtros y los lodos procedentes de la fabricación de acero con frecuencia se reciclan dentro del mismo proceso o en plantas de sinterización, o se remiten a la industria de metales no ferrosos ya que con frecuencia contienen metales no ferrosos recuperables.

El recalentamiento de los hornos, que forma parte de la producción de hierro y acero primario

y secundario, puede ser importante en el ámbito nacional ya que puede causar impacto local. Por ahora no se ha encontrado información sobre emisiones de PCDD/PCDF.

Se han determinado las siguientes clases de factores de emisión, que se muestran en el cuadro 22.

Cuadro 22: Factores de emisión de la industria del acero y las funderías de hierro

| Clasificación | Factores de emisión – µg de EQT/t de AL | | | | |
|---|---|------|--------|----------|----------|
| | Atmósfera | Agua | Tierra | Producto | Residuos |
| Industria siderometalúrgica | | | | | |
| 1. Chatarra sucia (aceites de corte, contaminación general), precalentamiento de la chatarra, controles limitados | 10 | ND | NA | NA | 15 |
| 2. Chatarra limpia/hierro virgen, postcombustión y filtro de tela | 3 | ND | NA | NA | 15 |
| 3. Chatarra limpia/hierro virgen, HAE diseñados para bajas emisiones de PCDD/PCDF, hornos HOB | 0,1 | ND | NA | NA | 1,5 |
| 4. Altos hornos con CCA | 0,01 | ND | ND | ND | ND |
| Funderías de hierro | | | | | |
| 1. Cubilote de aire frío o tambor rotatorio y depuración de gas | 10 | NA | NA | NA | ND |
| 2. Tambor rotatorio – filtro de tela | 4,3 | NA | NA | NA | 0,2 |
| 3. Cubilote de aire frío – filtro de tela | 1 | NA | NA | NA | 8 |
| 4. Cubilote de aire caliente u horno de inducción – filtro de tela (fundería) | 0,03 | NA | NA | NA | 0,5 |

6.2.3.1 Liberaciones a la atmósfera

Los PCDD/PCDF se van a liberar junto a los gases que salen de los hornos. Puede ser difícil capturar todos los gases del proceso y en emisiones fugitivas, más que en los gases de chimenea, puede hallarse una importante fracción de los gases y los PCDD/PCDF. Las emisiones parecen aumentar en gran medida con los materiales de alimentación a base de chatarras mixtas de mala calidad, sobre todo si entre los residuos procedentes del trabajo de los metales figuran aceites de corte. El precalentamiento de la chatarra para aumentar la eficiencia de energía puede aumentar asimismo las emisiones; se han llegado a medir concentraciones hasta de 9,2 ng de EQT/Nm³ (Alemania, LAI 1997). En Europa, las mediciones de PCDD/PCDF han dado factores de emisión que van de 0,07 a 9 µg de EQT-I/t de AL (acero líquido) ⁸.

Los volúmenes de gas de salida de los hornos en caliente se sitúan entre 100.000 y 600.000 Nm³/h por alto horno. Los factores de emisión determinados mediante mediciones hechas en cuatro Estados miembros de la Unión Europea variaron entre <0,001 y 0,004 µg de EQT-I/t de AL. Para el Instrumental, se usará el factor de emisión de clase 4 cuando se trate

⁸ Basándose en los datos europeos se ha utilizado un factor de conversión 940 kg de hierro de lingotes/t de AL.

de altos hornos con buenos sistemas de CCA.

Durante la inyección de oxígeno, en el HOB se libera gas de convertidor que contiene pequeñas cantidades de PCDD/PCDF. En Europa, las plantas de fabricación de acero a base de oxígeno básico generalmente presentan factores de emisión considerablemente bajos, ligeramente superiores a los de los altos hornos (con un límite superior de 0,06 μg de EQT-I/t de AL, basándose en datos medidos).

Para los hornos de arco eléctrico la mayor parte de los datos de emisión medidos se refieren a plantas que utilizan chatarra relativamente limpia y hierro virgen, y que están provistos de algún tipo de sistema de postcombustión y de filtros de tela para la depuración de gases. De instalaciones en Suecia, Alemania y Dinamarca se han obtenido factores de emisión entre 0,07 u 9 μg de EQT-I/t de AL. Al Instrumental se le aplica un factor de emisión de 3 μg de EQT/t de AL (Bremmer et al. 1994, SCEP 1994, Charles Napier 1998).

Se ha observado que las emisiones de plantas de HAE que utilizan chatarra sucia que contiene aceites de corte o materiales plásticos, así como de plantas con precalentamiento de la chatarra y controles de eficacia relativamente escasa presentaban en sus gases de chimenea concentraciones de PCDD/PCDF más elevadas, como pudo observarse en Alemania (SCEP 1994). En esos casos, se utiliza un factor de emisión de 10 μg de EQT/t de AL (las plantas de peor calidad pueden emitir aún más).

Cuando se imponen controles cuidadosos a la chatarra que se utiliza (excluidos los aceites de corte y la chatarra fuertemente contaminada) y se usa un sistema de limpieza del gas eficiente con combustión secundaria y filtros de tela (en combinación a veces con un enfriamiento en agua rápido) pueden alcanzarse emisiones inferiores a 0,1 ng de EQT/ Nm^3 . Para esas plantas deberá utilizarse un factor de emisión de 0,1 μg de EQT/t (clase 3). Esas mismas bajas concentraciones pudieron medirse de los gases de salida de hornos de oxígeno básico, es decir, una concentración mediana de 0,028 ng de EQT-I/ Nm^3 (LAI 1997); a esas plantas se les deberán aplicar factores de emisión de clase 3.

Apenas existen datos disponibles con respecto a las funderías: pruebas realizadas en Alemania (SCEP 1994) mostraron que los cubilotes de aire caliente y los hornos de inducción provistos de filtros de tela daban escasas emisiones a la atmósfera, de manera que deberá utilizarse un factor de emisión de 0,03 μg de EQT/t del producto.

Los cubilotes de aire frío presentaron emisiones más elevadas; para las plantas dotadas de filtros de tela se utiliza un factor de 1 μg de EQT/t.

Las pocas pruebas realizadas con hornos de tambor rotatorio han dado una vez más niveles más elevados y cuando se trata de plantas dotadas de filtros de tela para la limpieza de gas se aplica un factor de 4,3 μg de EQT/t.

Si se usan cubilotes de aire frío u hornos de tambor rotatorio que no poseen filtros de tela ni otro sistema equivalente de limpieza del gas, se utilizará un factor de emisión más elevado, 10 μg de EQT/t.

Deberán señalarse los casos en los que se utilice chatarra de mala calidad (elevada contaminación) o los hornos estén insuficientemente controlados y provistos de sistemas de depuración de gas distintos de los eficaces filtros de tela.

6.2.3.2 *Liberaciones al agua*

Las liberaciones al agua pueden darse en los casos en los que se utilice depuradores húmedos o refrigeración por agua. No se dispone de datos que permitan fijar un factor de emisión. Cuando se libere un efluente, el hecho deberá señalarse y se dará la información adecuada.

6.2.3.3 *Liberaciones a la tierra*

No se espera ninguna liberación a la tierra.

6.2.3.4 *Liberaciones con productos*

No se espera que puedan producirse liberaciones considerables con el acero producido mediante este proceso, ya que se han alcanzado altas temperaturas y lo más probable es que los PCDD/PCDF hayan sido desplazados o destruidos.

6.2.3.5 *Liberaciones con residuos*

Los principales residuos de interés son la escoria y el polvo recogido mediante los sistemas de tratamiento de los gases de salida. Otros polvos depositados a partir de emisiones fugitivas también pueden contener PCDD/PCDF.

En los altos hornos, a partir del sistema de depuración de gases se generan 9-15 kg de polvo y lodos por tonelada de AL. Además, por cada tonelada de AL se producen 280 kg de escoria.

En la fabricación de acero mediante los HOB, por cada tonelada de AL se producen 12-27 kg de polvo y escorias que proceden del tratamiento de los gases del HOB. La escoria de convertidor equivale a 99 kg por tonelada de AL. Los hornos de arco eléctrico producen más escoria, por ejemplo, 129 kg/t de AL para los aceros al carbón y 161 kg/t de AL para los aceros de alta aleación e inoxidables.

Sólo para los HAE se puede dar un factor de emisión medio de PCDD/PCDF en residuos: a partir de las operaciones de depuración de gases (filtros de tela) se da un factor de emisión de 15 µg de EQT/t, basándose en el promedio de datos obtenidos en el Reino Unido (Dyke et al. 1997). Este factor se basa en un equipo semejante de depuración de gases. Las liberaciones pueden ser distintas tratándose de otros sistemas. Este factor se utiliza en plantas intermedias y con escasos controles. A plantas en mejores condiciones se aplica un factor de emisión de 0,15 µg de EQT/t (Bremmer et al. 1994). Deberá tomarse nota del destino o el uso de los residuos (es posible que los PCDD/PCDF se introduzcan en otros procesos si los residuos se utilizan como material de alimentación en un proceso de reciclado).

A partir de las funderías, cubilotes y HAE emiten partículas que con toda probabilidad van a contener PCDD/PCDF. Los hornos de inducción emiten muchas menos partículas. Datos obtenidos en Alemania (SCEP 1994) dan los factores de emisión que se muestran en el cuadro 22. Se pueden generar escorias de la misma forma que las tecnologías de vaciado de arena van a producir volúmenes considerables de arena que se puede reutilizar en la propia planta o utilizar externamente como material de construcción (US-EPA 1998b).

6.2.4 Producción de cobre

La producción térmica de cobre y las liberaciones de PCDD/PCDF tienen especial interés ya que el cobre es el metal más eficiente para catalizar la formación de PCDD/PCDF.

Tanto el cobre primario como el secundario se producen siguiendo cierto número de etapas. La producción de cobre primario se realiza habitualmente en hornos anódicos, hornos de fusión rápida u hornos de carga superior. En cuanto a las emisiones de PCDD/PCDF interesa sobre todo el procesado térmico de cobre secundario, es decir de los materiales de chatarra que contienen cobre. Para la recuperación del cobre a partir de la chatarra puede utilizarse cierto número de tipos de horno y configuraciones de procesos así como una mezcla de materiales que contienen cobre, incluyendo chatarra de cobre y aleación de cobre, escorias, polvo de salida de gas, residuos y lodos. Es probable que para el procesamiento de chatarra contaminada se recurra con frecuencia a altos hornos y a convertidores. Además, existen instalaciones para la fundición y vaciado de cobre (y de otros metales no ferrosos) (LUA 1997).

Cuadro 23: Factores de emisión para la industria del cobre

| Clasificación | Factores de emisión – µg de EQT/t de cobre | | | | |
|---|--|------|--------|-----------|----------|
| | Atmósfera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| 1. Cu Sec. – tecnología básica | 800 | ND | NA | ND | 630 |
| 2. Cu Sec. – bien controlada | 50 | ND | NA | ND | 630 |
| 3. Cu Sec. – control óptimo de PCDD/PCDF | 5 | ND | NA | ND | 300 |
| 4. Fundición y vaciado de Cu/aleaciones de Cu | 0,03 | ND | NA | NA | ND |
| 5. Cu primario – todos los tipos | 0,01 | ND | NA | NA | ND |

6.2.4.1 Liberaciones a la atmósfera

Las emisiones a la atmósfera procedentes de la producción de cobre parecen variar considerablemente según la tecnología del proceso, la naturaleza de los materiales procesados y el sistema de limpieza de gases que se aplique.

Un estudio realizado en los Estados Unidos en una planta de producción de cobre que utilizaba un alto horno con postcombustión y filtros de tela dio un factor de emisión de 779 µg de EQT/t de chatarra.

Los estudios realizados en Alemania en varias plantas dieron concentraciones de emisiones enormemente variables, desde 0,032 hasta 30 ng de EQT/m³ (LUA 1997).

Las instalaciones para la fusión y vaciado de cobre y sus aleaciones, es decir, bronce, dieron emisiones entre 0,003 y 1,22 ng de EQT-I/m³ con una media geométrica de 0,11 ng de EQT/m³ (datos de Alemania, LUA 1997). A partir de esos datos se calculó un factor de emisión de 0,03 µg de EQT/t de cobre/aleación de cobre. Los datos disponibles no permiten establecer otras diferencias en función de las tecnologías o el rendimiento.

Los factores de emisión de clase 1 a clase 3 se refieren a la fabricación de cobre secundario. El factor de emisión de clase 1 se aplica al procesado térmico de materiales mezclados con

hornos equipados de sencillos filtros de tela o de una depuración de gas menos efectiva. El factor de emisión de clase 2 habrá de utilizarse cuando se realice un procesamiento térmico de materiales de chatarra de cobre en hornos bien controlados y con postcombustión y filtros de tela. La chatarra deberá haber sido objeto de alguna forma de selección y clasificación antes de su procesamiento de manera que se reduzcan al mínimo los contaminantes.

La clase 3 corresponde a plantas donde se han adoptado medidas para evitar liberaciones de PCDD/PCDF, como la instalación de sistemas de enfriamiento rápido en agua antes de los filtros de tela y se utilice carbón activado para el tratamiento de los gases de salida.

La clase 4 da un factor de emisión para la generación de cobre primario en los hornos de fusión rápida y los convertidores para matas cobrizas. Las mediciones realizadas en Alemania han dado emisiones entre 0,0001 y 0,007 ng de EQT/m³ con un estrechísimo margen de factores de emisión, entre 0,002 y 0,02 µg de EQT/t de cobre.

6.2.4.2 *Liberaciones al agua*

No se dispone de datos que permitan estimar las liberaciones al agua. Estas pueden suceder si se descargan efluentes y hay probabilidades de que la concentración esté influida por el tratamiento del agua que se aplique. Deberá señalarse toda liberación líquida, junto con su fuente y el tratamiento aplicable.

6.2.4.3 *Liberaciones a la tierra*

No se espera ninguna liberación a la tierra.

6.2.4.4 *Liberaciones con productos*

No se espera ninguna liberación con productos.

6.2.4.5 *Liberaciones con residuos*

En los residuos sólidos de los procesos pueden hallarse PCDD/PCDF. Los más importantes son los residuos del equipo de tratamiento de gases. El polvo y los lodos recogidos del sistema de tratamiento de gases pueden estar altamente enriquecidos de PCDD/PCDF. Se han notificado concentraciones hasta de 20.000 ng de EQT/kg (SCEP 1994).

Datos procedentes del Reino Unido (Dyke et al. 1997) indican que la producción de 46.000 t de cobre deja aproximadamente 2.000 t de polvo de filtro. Combinados con una concentración media de 14.400 ng de EQT/kg en el polvo (SCEP 1994), se obtiene un factor de emisión de 630 µg de EQT/t de producto. Pero esta estimación es muy poco segura. Concentraciones y ritmos de producción varían mientras que la información existente por ahora no permite que puedan hacerse cálculos más precisos. Tratándose de plantas de alta tecnología, puede utilizarse un factor de emisión más bajo, de 300 µg de EQT/t.

Es importante considerar la posibilidad de que los PCDD/PCDF en residuos pasen a otros procesos. Muchos de los residuos de la producción de cobre pueden servir para la

recuperación de metales preciosos y otros metales en procesos distintos.

6.2.5 Producción de aluminio

El mineral de aluminio, bauxita sobre todo, se refina en trihidrato de óxido de aluminio (alúmina) y después se reduce electrolíticamente pasando a aluminio metálico. Estas instalaciones de producción de aluminio primario se ubican con frecuencia en zonas donde existen fuentes de energía poco costosas, como, por ejemplo, las centrales hidroeléctricas. Los PCDD/PCDF se han asociado con el uso de ánodos de carbono pero se considera que en niveles generalmente bajos, mientras que el procesamiento térmico de los materiales de chatarra parece más importante.

En principio todo el aluminio usado se puede reciclar dando un aluminio que tiene la misma calidad que el aluminio primario. El aluminio secundario se obtiene mediante una nueva fusión de la chatarra de aluminio, los recortes y otros materiales que contengan este metal. El aluminio secundario se puede producir en diversos hornos, utilizándose los hornos de tambor rotatorio cuando se agrega sal, por ejemplo, criolita (fluoruro sódico aluminico), mientras que si se usan otros hornos, como los de solera o los de inducción, normalmente no se necesita sal. Los hornos de inducción se utilizan sobre todo en funderías en las que se usa como material de alimentación chatarra libre de óxido. El aluminio fundido en el horno se envía para su refinado o para aleaciones, o para mantenerlo caliente, a convertidores. El material de la chatarra puede estar contaminado con aceites, plásticos, pinturas y otros contaminantes. Pueden liberarse PCDD/PCDF en el momento de fundir la chatarra cuando están presentes contaminantes orgánicos y cloro, y también en el momento del refinado (para lo que puede utilizarse el hexacloroetano o el cloro) y en ciertos pretratamientos como la limpieza térmica de la chatarra. Los hornos donde se realiza la fusión suelen tener capacidades entre 0,5 y 0,7 t.

Con gran frecuencia, las virutas son sometidas a un tratamiento térmico o de secado con el fin de reducir la aportación de auxiliares para el procesamiento del aceite (por ejemplo, suspensiones para el taladro) que se adhiere a la viruta. Esta desecación se realiza en secadores de tambor rotatorio calentados mediante gas o petróleo. Pueden formarse PCDD/PCDF, ya que los contaminantes de base oleosa pueden contener una parte de cloro orgánico o inorgánico (IFEU 1998, LAI 1997).

Se han distinguido las clases de factores de emisión que se muestran en el cuadro 24.

Cuadro 24: Factores de emisión de la industria del aluminio

| Clasificación | Factores de emisión – µg de EQT/t de aluminio | | | | |
|--|---|------|--------|-----------|----------|
| | Atmósfera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| 1. Procesamiento térmico de chatarra de Al, tratamiento mínimo de material de entrada y simple retención del polvo | 150 | ND | NA | NA | 400 |
| 2. Procesamiento térmico del Al, tratamiento de la chatarra bien controlado, filtros de tela con inyección de cal | 35 | ND | NA | NA | 400 |
| 3. Resecado de raspaduras/viruta | 10 | NA | NA | NA | NA |
| 4. Control de PCDD/PCDF óptimo – sistemas de postcombustión, inyección de cal, filtros de tela y carbón activo | 0,5 | ND | NA | NA | 100 |

El factor de clase 1 se aplicará a las plantas que no poseen ningún equipo de retención o éste es muy simple, la clase 2 corresponderá a plantas que poseen sistemas de postcombustión y filtros de tela. La clase 4 debe atribuirse a instalaciones con controles de gran eficiencia consistentes en limpieza de chatarra, sistemas de postcombustión, filtros de tela con cal e inyección de carbón activado.

6.2.5.1 Liberaciones a la atmósfera

Varias etapas del procesado de chatarra de aluminio pueden provocar la liberación de PCDD/PCDF a la atmósfera. El pretratamiento térmico de los materiales de entrada, la fusión de la chatarra y el refinado del metal utilizando cloro o hexacloroetano⁹ pueden provocar la liberación de PCDD/PCDF a la atmósfera.

Las emisiones a la atmósfera son muy variables según la naturaleza de la chatarra, la limpieza previa del producto de entrada y el tipo de horno o de sistema de limpieza del gas que se aplique.

Los hornos con tecnologías más antiguas y provistos de filtros de tela dan emisiones de 146 a 233 µg de EQT/t de producto. Las concentraciones y los volúmenes del gas de salida varían considerablemente: se han comunicado concentraciones hasta de 10 ng de EQT-I/m³ (SCEP 1994). Más elevadas parecen ser las emisiones de los hornos de tambor que utilizan viruta de aluminio. A los sistemas que utilizan chatarra contaminada (por ejemplo, por aceites de corte o plásticos) con controles elementales y sistemas de limpieza de gas constituidos por ciclones o filtros básicos de tela, se les atribuirá un factor de emisión de 150 µg de EQT/t del producto.

A los sistemas bien controlados con postcombustión, pretratamiento de la chatarra y limpieza de gas con filtros de tela e inyección de cal se les atribuirá un factor de emisión de 35 µg de EQT/t de producto (LUA 1997).

El factor de emisión de clase 3 es aplicable al desecado de raspaduras y virutas de Al en

⁹ Como agente degasificante.

horno rotatorio y equipo similar.

Los sistemas en condiciones óptimas para reducir las emisiones, condiciones entre las que puede figurar una cuidadosa selección y pretratamiento de la chatarra, sistemas avanzados de tratamiento de gas, incluida la postcombustión cuando se liberan gases con elevado contenido orgánico, filtros de tela acoplados a inyección de cal y de carbón activado, dan escasas emisiones y no necesitan utilizar hexacloroetano (SCEP 1994). A estos sistemas se les aplica un factor de emisión de clase 4, de 0,5 µg de EQT/t de producto.

6.2.5.2 *Liberaciones al agua*

Pueden producirse liberaciones al agua cuando se utilicen depuradores húmedos o cualquier proceso que dé efluentes líquidos. No hay información bastante para estimar factores de emisión. Se deberá tomar nota de todos los efluentes líquidos y señalar la fuente.

6.2.5.3 *Liberaciones a la tierra*

No se espera ninguna liberación a la tierra.

6.2.5.4 *Liberaciones con productos*

No se espera ninguna liberación con productos.

6.2.5.5 *Liberaciones con residuos*

Se espera que los residuos del proceso contengan PCDD/PCDF. La contaminación puede asociarse sobre todo con el polvo y los lodos procedentes del tratamiento de gases de salida. Deberá tomarse nota de las cantidades de polvo y lodos, ya que cualquier uso en otro proceso puede conducir a la transferencia de PCDD/PCDF.

La fusión en hornos de tambor rotatorio genera 300-500 kg de chatarra con sal por tonelada de Al y 10-35 kg de polvo de filtro/t de Al. La escoria generada de unos 25 kg/t de Al se puede reutilizar en hornos de tambor rotatorio (UBAVIE 2000).

En el polvo del filtro se han encontrado concentraciones de PCDD/PCDF entre 3 y 18.000 ng de EQT/kg (SCEP 1994, Bremmer et al. 1994). En el filtro se deposita el polvo a razón del 8% aproximadamente de la producción de metal (Dyke et al. 1997). En combinación con una concentración media de 5.000 ng de EQT/kg, se obtiene un factor de emisión de 400 µg de EQT/t del producto. Para realizar un cálculo inicial con respecto a las plantas de clase 1 y 2 se usa un solo factor; es evidente que las concentraciones y relaciones de producción van a variar. Para realizar estimaciones iniciales con respecto a la clase 3, plantas de alta tecnología, se utilizará un factor más bajo, de 100 µg de EQT/t.

6.2.6 Producción de plomo

Para la producción de plomo primario a partir de minerales sulfurosos existen dos vías

principales: sinterización/fusión y fusión directa. Las emisiones a partir de la fusión directa son bajas (SCEP 1994) y no se van a tener en cuenta. No se dispone de datos sobre liberaciones a partir de la producción primaria de plomo por sinterización/fusión.

Se recuperan cantidades considerables de plomo de materiales de chatarra, en particular baterías de vehículos. Se utilizan diversos diseños de horno, incluidos los hornos rotatorios, los reverberatorios, los altos hornos y los hornos eléctricos. Pueden utilizarse procesos de fusión directa continua.

Las emisiones de PCDD/PCDF pueden relacionarse con la existencia de gran cantidad de materia orgánica sobre los materiales de chatarra y la presencia de cloro, en particular se ha podido observar la relación existente entre el uso de separadores de PVC en baterías de vehículos y las emisiones de PCDD/PCDF (EPA 1998).

Cuadro 25: Factores de emisión aplicables a la industria del plomo

| Clasificación | Factores de emisión – μg de EQT/t de plomo | | | | |
|---|---|------|--------|-----------|----------|
| | Atmósfera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| 1. Producción de plomo a partir de chatarra que contiene tabiques de batería de PVC | 80 | ND | NA | NA | ND |
| 2. Producción de plomo a partir de chatarra libre de PVC/ Cl_2 en altos hornos con filtro de tela | 8 | ND | NA | NA | ND |
| 3. Producción de plomo a partir de chatarra libre de PVC/ Cl_2 en hornos distintos de los altos hornos con depurador | 0,5 | ND | NA | NA | ND |

6.2.6.1 Liberaciones a la atmósfera

En Alemania (SCEP 1994) y en los EE.UU. (EPA 1998) se han obtenido datos sobre la producción de plomo a partir de materiales de chatarra. En los Estados Unidos, los tabiques de PVC de las baterías se eliminan en buenas condiciones y se supone que lo mismo sucede en Alemania. Todas las instalaciones estudiadas disponían de filtros de tela para la retención de polvo y algunas también de depuradores. En las pruebas realizadas en los Estados Unidos, la instalación de un depurador reducía las emisiones atmosféricas en un 90% aproximadamente, mientras que los altos hornos daban unas emisiones aproximadamente 10 veces superiores a las de otros modelos.

Para los altos hornos provistos de filtros de tela, en los que se excluyen los tabiques de batería de PVC, se usa un factor de emisión de $8 \mu\text{g}$ de EQT/t de plomo producido. Cuando es posible que se encuentre PVC se usa un factor estimado de $80 \mu\text{g}$ de EQT/t, mientras que para los hornos de alta tecnología se usa un factor de $0,5 \mu\text{g}$ de EQT/t (concentraciones inferiores a 1 ng de EQT/ m^3).

Evidentemente, para conocer las emisiones a partir de plantas procesadoras de baterías con tabiques de PVC y de plantas desprovistas de dispositivos de retención de polvo o con dispositivos elementales será preciso realizar más investigaciones que permitan perfeccionar la base de datos.

6.2.6.2 *Liberaciones al agua*

Pueden producirse liberaciones al agua siempre que se descarguen efluentes. Aún no se dispone de datos suficientes para estimar un factor de emisión. Siempre se tomará nota de cualquier descarga líquida presente y se indicará asimismo su fuente dentro del proceso.

6.2.6.3 *Liberaciones a la tierra*

No se espera ninguna liberación a la tierra.

6.2.6.4 *Liberaciones con productos*

En el refinado de plomo no se espera la liberación de ningún PCDD/PCDF.

6.2.6.5 *Liberaciones con residuos*

En los gases de salida del tratamiento de residuos pueden hallarse PCDD/PCDF. En pruebas realizadas en Alemania (SCEP 1994) se encontraron concentraciones de 2.600 a 3.100 ng de EQT/kg en el polvo de una chimenea de horno. Toda utilización de residuos como materia prima para otros procesos puede provocar la transferencia de PCDD/PCDF.

6.2.7 Producción de zinc

El zinc puede recuperarse de los minerales mediante diversos procesos. La presencia de minerales de plomo y zinc en combinación indica que entre ambos sectores pueden producirse considerables duplicaciones. Puede producirse zinc bruto en combinación con un alto horno de mineral de plomo (HMIP 1994) o se puede recuperar a partir de la escoria de ese proceso mediante hornos rotatorios (LUA 1997). Para la recuperación de zinc pueden servir varios materiales de chatarra, así como materias primas secundarias como el polvo resultante de la producción de aleaciones de cobre, la fabricación de acero en arco eléctrico (por ejemplo, polvo del filtro y lodos), residuos del desguace de chatarra de acero, y chatarra resultante de procesos de galvanización. El proceso de producción de zinc a partir de materias primas secundarias puede realizarse en un horno rotatorio de recuperación de zinc (horno de Waelz), que tiene una longitud hasta de 95 m con un diámetro interno de unos 4,5 m; estos hornos están revestidos de material refractario. La escoria granulada del alto horno, mezclada con otros intermediarios del zinc como el polvo de acero, se desplaza en sentido descendente por el horno y se calienta hasta la temperatura de reacción mediante la combustión de gases inducida por un quemador en la extremidad de salida. En el proceso de ahumado de la escoria, se inyecta una mezcla de polvo de carbón y aire en el interior de la escoria líquida del alto horno a 1.150-1.250 °C, en un horno con encamisado de agua. La escoria pasa directamente al alto horno.

El procesamiento de chatarra impura como la fracción no metálica procedente del desguace implica probablemente la producción de diversos contaminantes, entre ellos los PCDD/PCDF. Para la recuperación de plomo y zinc se utilizan temperaturas relativamente bajas (340 y 440 °C). La fusión del zinc puede producirse con adición de flujos que incluyan

cloruros de zinc y de magnesio.

Aunque podrían ser importantes, aún no se han estudiado bien las emisiones resultantes de la producción de zinc (LUA 1997).

Cuadro 26: Factores de emisión de la industria del zinc

| Clasificación | Factores de emisión – µg de EQT/t de zinc | | | | |
|--|---|------|--------|-----------|----------|
| | Atmósfera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| 1. Horno sin ningún control de polvo | 1000 | ND | NA | NA | ND |
| 2. Hornos de briquetado en caliente/ rotatorios, control básico de polvo; por ejemplo, filtros de tela/PES | 100 | ND | NA | NA | ND |
| 3. Controles de contaminación completos, por ejemplo, filtros de tela con carbón activo/tecnología DeDiox | 5 | ND | NA | NA | ND |
| 5. Fusión del zinc | 0,3 | ND | NA | NA | NA |

6.2.7.1 Liberaciones a la atmósfera

Pueden producirse liberaciones a la atmósfera a partir de procesos de fusión y fusión de chatarra mezclada. Las plantas europeas deberán estar provistas de sistemas de filtros de tela que permitan controlar las emisiones de partículas (HMIP 1994, LUA 1997).

En Alemania se han dado factores de emisión para la formación de briquetas en caliente (63-379 µg de EQT/t de zinc con emisiones de entre 89 y 953 ng de EQT/m³, media = 521 ng de EQT/m³), para un horno de cilindro rotatorio (62,3 µg de EQT/t con emisiones de entre 10 y 335 ng de EQT/m³; media = 175 ng de EQT/m³) y para la fusión de zinc (normalmente, por debajo de 0,1 ng de EQT/m³) (LUA 1997).

Aunque esta serie de datos es muy limitada, pueden obtenerse estimaciones iniciales de liberaciones aplicando el factor de emisión de 100 µg de EQT/t de zinc producido, siempre que se utilicen el briquetado en caliente o los hornos rotatorios. Cuando para la recuperación del zinc (datos japoneses) se utilicen hornos alimentados con materiales de chatarra o cenizas de filtro procedentes de la industria del acero y no se haya instalado ningún sistema de recuperación del polvo, podrá utilizarse un factor estimado de 1.000 µg de EQT/t. En cuanto a las instalaciones de alta tecnología que tengan controles completos de contaminación como filtros de tela con inyección de cal y de carbón activo, podrá fijarse un factor estimado de 5 µg de EQT/t.

6.2.7.2 Liberaciones al agua

Si se descargan efluentes pueden producirse liberaciones de PCDD/PCDF. Deberá tomarse nota de todos los efluentes y del proceso correspondiente.

6.2.7.3 *Liberaciones a la tierra*

No se espera ninguna liberación a la tierra.

6.2.7.4 *Liberaciones con productos*

Los niveles de PCDD/PCDF en el zinc refinado son insignificantes.

6.2.7.5 *Liberaciones con residuos*

Puede suponerse que los residuos de la depuración de gases contienen PCDD/PCDF. No se dispone de información bastante para calcular factores de emisión.

6.2.8 Producción de bronce

El bronce es una mezcla 2:1 de zinc y cobre, y se produce o bien mediante la refundición de chatarra de bronce o bien mediante la fusión de cantidades estequiométricas de cobre y zinc reunidas. En principio, cualquiera de esos metales, o los dos, pueden ser metales secundarios. El bronce se puede producir en crisoles sencillos, relativamente pequeños, o en equipos más complejos, como hornos de inducción equipados de sistemas de CCA.

Que se sepa no existen datos medidos de liberación de PCDD/PCDF a partir de la producción de bronce. Por el momento, podrán aplicarse los factores de emisión elegidos para la producción de cobre y zinc. Sólo se diferencian dos clases de factores de emisión (cuadro 27).

Cuadro 27: Factores de emisión para la industria del bronce

| Clasificación | Factores de emisión – µg de EQT/t de bronce | | | | |
|--|---|------|--------|-----------|----------|
| | Atmósfera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| 1. Hornos de fusión sencillos | 1 | ND | NA | NA | ND |
| 2. Equipos más complejos, como hornos de inducción con sistemas de CCA | 0,1 | ND | NA | NA | ND |

6.2.8.1 *Liberaciones a la atmósfera*

Las emisiones a la atmósfera pueden proceder del proceso de fusión y de la fundición de la chatarra mixta. Por el momento no se dispone de datos.

El factor de emisión de clase 1 se aplicará a los hornos de fusión sencillos provistos de algún tipo de tecnología de reducción del gas de salida, por ejemplo, un depurador o un PES. El factor de emisión de clase 2 se aplicará a otras plantas más perfeccionadas, como hornos de inducción provistos de filtros de tela y depuradores húmedos.

6.2.8.2 *Liberaciones al agua*

Pueden producirse liberaciones al agua si se descargan efluentes. Deberá tomarse nota de la fuente de todo efluente del proceso.

6.2.8.3 *Liberaciones a la tierra*

No se espera ninguna liberación a la tierra.

6.2.8.4 *Liberaciones con productos*

Las concentraciones de PCDD/PCDF en el bronce refinado son insignificantes.

6.2.8.5 *Liberaciones con residuos*

Se puede suponer que los residuos procedentes de la depuración de gases y de los lodos de depuradores húmedos, cuando existan, habrán de contener PCDD/PCDF. No se dispone de información bastante para calcular un factor de emisión.

6.2.9 Producción de magnesio

La producción de magnesio a partir de minerales se basa sobre todo en la electrólisis del $MgCl_2$ o en la reducción química de compuestos de magnesio oxidado. El proceso de electrólisis es el más utilizado. Parece ser particularmente interesante desde el punto de vista de la formación y liberación de PCDD/PCDF. Esta sección no va a ocuparse de la producción de magnesio secundario.

Pruebas realizadas en Noruega indican que el principal proceso causante de la formación de PCDD/PCDF es un horno que convierte las pellas de MgO y cok en $MgCl_2$ por calentamiento en una atmósfera de Cl_2 a 700-800 °C (Oehme et al. 1989). Es posible que también pueda formarse PCDD/PCDF en otras operaciones del proceso, como la purificación de MgO utilizando HCl y hojas de grafito (“cloración”) o la electrólisis de $MgCl_2$ utilizando electrodos de grafito (Bramley 1998).

Todo el PCDD/PCDF formado en el proceso de producción puede destruirse en las siguientes etapas o se puede liberar a la atmósfera, al agua o con residuos. Los flujos dependerán de la naturaleza del proceso, de manera que la fuente de carbón puede tener una cierta influencia ya que la antracita produce más PCDD/PCDF que el cok o la hulla (Musdalslien et al. 1998).

En el proceso noruego los gases de salida del horno se depuran en tres etapas, se retiene el polvo en un PES húmedo y se pasan a un incinerador. Las liberaciones al agua mediante el líquido del depurador dependerán del tratamiento del agua y de las operaciones de reciclado/regeneración. Con el tratamiento del agua y de los gases de salida descritos se ha calculado que cada año las liberaciones procedentes de la planta noruega ascienden a menos

de 2 g de EQT-nórdico¹⁰ a la atmósfera y 1 g de EQT-N al agua (Musdalslien et al. 1998).

Antes de la instalación de sistemas de tratamiento del agua, el efluente del depurador arrojaba cada año al agua unos 500 g de EQT-N (Oehme 1989).

Cuadro 28: Factores de emisión en la industria del magnesio

| Clasificación | Factores de emisión – µg de EQT/t de magnesio | | | | |
|--|---|------|--------|-----------|----------|
| | Atmósfera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| 1. Producción mediante termotratamiento de MgO/C en Cl ₂ – sin tratamiento del efluente, tratamiento limitado del gas | 250 | 9000 | NA | ND | 0 |
| 2. Producción mediante termotratamiento de MgO/C en Cl ₂ – control completo de la contaminación | 50 | 24 | NA | ND | 9.00 |

6.2.9.1 Liberaciones a la atmósfera

Los factores de emisión son muy poco seguros. No se dispone de datos suficientes para calcular las liberaciones de procesos distintos de los basados en un termotratamiento de MgO/cok con Cl₂.

En procesos que no cuentan con postcombustión pero utilizan depuradores húmedos se estima un factor de emisión de 250 µg de EQT/t de producción.

En procesos con depuradores húmedos en varias etapas y postcombustión, se estima un factor de emisión de 50 µg de EQT/t de producción.

Las emisiones pueden ser muy superiores si los gases son objeto de un tratamiento limitado o cuando se utiliza un tipo de carbón muy productor de PCDD/PCDF.

6.2.9.2 Liberaciones al agua

Las liberaciones al agua dependerán de la cantidad de PCDD/PCDF que se forme en el proceso, la eficiencia de los sistemas de depuración para retener PCDD/PCDF en la corriente de gas y, sobre todo, del tratamiento que se aplique a los efluentes.

No se dispone de información suficiente para calcular las liberaciones a partir de procesos distintos de los que incluyen un termotratamiento de MgO/cok en Cl₂.

Para los procesos que se realizan en plantas con un tratamiento del agua completo (incluida una retención de sólidos de gran eficiencia), basándose en las liberaciones notificadas a fines de los años noventa de una planta noruega, se ha estimado un factor de emisión de menos de

¹⁰ El sistema de FET nórdico se utiliza en los países escandinavos y varía del FET-I sólo en el valor numérico de uno de los congéneres: mientras que el FET-I, al 1,2,3,7,8-Cl₅DF se le asigna un valor de 0,05, en el FET-N se le da un valor de sólo 0,01. La diferencia no tiene importancia en lo que se refiere al Instrumental.

1 g de EQT al año. Antes de que se instalase el sistema de tratamiento del agua, las liberaciones a este medio se calcularon en 500 g de EQT al año y esta proporción es la que se utiliza para calcular los factores de emisión que deben aplicarse a las plantas que no cuentan con tratamiento.

Se utiliza un factor de emisión de 9.000 μg de EQT/t de Mg en las plantas donde se produce la descarga directa del efluente no tratado. Cuando se utiliza un buen tratamiento del agua se aplica un factor de emisión de 24 μg de EQT/t de producción.

6.2.9.3 *Liberaciones a la tierra*

Pueden producirse liberaciones a tierra cuando el agua tratada se libera en una charca. Se hace una estimación de las cantidades en la sección sobre residuos (6.2.9.5).

6.2.9.4 *Liberaciones con productos*

Se supone que las concentraciones de PCDD/PCDF en el magnesio producido son insignificantes.

6.2.9.5 *Liberaciones con residuos*

Cabe esperar que los residuos resultantes del proceso de depuración contengan PCDD/PCDF. Una de las etapas del tratamiento del agua puede incluir la decantación en una charca, lo que constituirá una liberación de residuos a tierra.

Apenas se dispone de información sobre concentraciones de PCDD/PCDF en residuos resultantes de este proceso o sobre las cantidades de residuos producida. Sólo pueden hacerse unas estimaciones provisionales.

Se parte del supuesto de que si no hay tratamiento con agua, no se encuentran PCDD/PCDF en residuos (aunque una cierta cantidad puede aparecer en otras partes del proceso). De forma que el factor de emisión equivale a cero. Cuando se aplica un tratamiento intensivo del agua, se considera que la diferencia en cuanto a la liberación al agua será aproximadamente igual a la cantidad de PCDD/PCDF capturados y, por consiguiente, presentes en los residuos. Como estimación provisional se da un factor de emisión de unos 9.000 μg de EQT/t de producción.

6.2.10 Producción de otros metales no ferrosos

Para producir y refinar metales no ferrosos se utilizan diversos procesos. El estudio de cada uno de los procesos utilizados y sus respectivas formaciones de PCDD/PCDF es muy complejo y no se ha hecho en profundidad.

Trabajos realizados en Noruega mostraron que un determinado proceso de refinado de níquel primario, basado en un reactor de lecho fluidizado a 800 °C para convertir NiCl_2 en NiO había provocado una fuerte contaminación ambiental con PCDD/PCDF, pero no se dieron factores de emisión (Oehme et al. 1989).

Mediante pruebas realizadas en Alemania se han identificado fuertes emisiones a partir de la fundición de estaño (hasta 113 µg de EQT/t), pero no se ha dado información bastante para que este factor se pueda aplicar a los procesos de producción de estaño (Bröker et al. 1999).

Otros procesos térmicos de metales pueden liberar PCDD/PCDF y sobre las emisiones influirá el grado de contaminación de los materiales de partida y la captura y tratamiento de los gases de salida. Se producirán emisiones más bajas cuando se utilicen materias primas limpias y se haga un buen tratamiento de los gases, incluyendo la retención del polvo por filtros de tela, la inyección de cal y posiblemente la adición de carbón activado y, en ciertos casos, la postcombustión.

Es importante no descuidar fuentes de PCDD/PCDF potencialmente importantes sólo porque los datos disponibles no basten para apreciar debidamente los factores de emisión. Por consiguiente, para dar una indicación inicial de posibles emisiones se propone que se proceda a un examen de los distintos procesos utilizados para la producción de metales no ferrosos. Se pueden producir liberaciones a la atmósfera, al agua y con residuos. Es de suponer que la investigación de los procesos de producción deberá ocuparse de los procesos térmicos, del tipo de sistema de depuración de gases aplicado y de los niveles de contaminación hallados en los materiales de alimentación. También deberá examinarse el uso de Cl₂ o de hexacloroetano para el refinado y la presencia de compuestos clorados en las materias primas.

El cuestionario del Instrumental facilitará la identificación y el registro de estos parámetros y los criterios para el seguimiento.

Cuadro 29: Factores de emisión de procesos de metales no ferrosos

| Clasificación | Factores de emisión – µg de EQT/t del producto | | | | |
|--|--|------|--------|-----------|----------|
| | Atmósfera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| 1. Procesos térmicos de metales no ferrosos – chatarra contaminada, control sencillo o nulo del polvo | 100 | ND | NA | NA | ND |
| 2. Procesos térmicos de metales no ferrosos – chatarra limpia, filtros de tela/inyección de cal/postcombustión | 2 | ND | NA | NA | ND |

6.2.10.1 Liberaciones a la atmósfera

Las emisiones serán elevadas a partir de instalaciones con control deficiente de unos materiales de entrada que den elevadas concentraciones. Incluso si el flujo de masa es pequeño, podrá producirse una contaminación local. Los factores de emisión se han estimado basándose en datos fragmentarios sobre recuperación térmica de metales no ferrosos, habiéndose llegado a concentraciones muy variables que pueden ir de bastante menos de 1 ng/m³ (clase 2) a decenas de ng/m³ (clase 1).

6.2.10.2 Liberaciones al agua

Cuando se descargan efluentes pueden producirse liberaciones al agua. Deberá tomarse nota

de la presencia y fuente de los efluentes.

6.2.10.3 *Liberaciones a la tierra*

No se esperan liberaciones a tierra a no ser que se viertan residuos sobre el suelo.

6.2.10.4 *Liberaciones con productos*

No se esperan liberaciones de PCDD/PCDF en productos metálicos refinados.

6.2.10.5 *Liberaciones con residuos*

Los residuos pueden contener PCDD/PCDF. No se dispone de datos suficientes para estimar factores de emisión. La utilización de un residuo como materia prima puede provocar la contaminación del proceso subsiguiente.

6.2.11 Desguazadoras

Las desguazadoras son grandes máquinas que utilizan potentes martillos para fragmentar materiales de chatarra. Normalmente se produce una corriente de metal ferroso que es relativamente limpia y que contiene pequeñas piezas (50 mm) de acero, más una corriente de “borra”, que contiene fragmentos de metales no ferrosos y otros materiales que entraron en la desguazadora (conocida asimismo como trituradora). En la sección 6.1.4 se exponen las emisiones potenciales del termotratamiento. Con frecuencia los materiales de entrada serán viejos automóviles o bienes de consumo como refrigeradores, máquinas de lavar y cocinas.

Apenas se dispone de datos sobre emisiones a partir del propio proceso de desguace y se utiliza una sola clase de factores de emisión. Los PCDD/PCDF pueden provenir de la contaminación de los materiales de entrada (por ejemplo, con PCB) o de la existencia de puntos de alta temperatura en el sistema (cuadro 30).

Cuadro 30: Factores de emisión para desguazadoras

| Clasificación | Factores de emisión – µg de EQT/t de acero | | | | |
|---------------------------------|--|------|--------|-----------|----------|
| | Atmósfera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| Plantas de desguaces de metales | 0,2 | NA | NA | ND | ND |

6.2.11.1 *Liberaciones a la atmósfera*

Las emisiones pueden deberse a la existencia de altas temperaturas en la desguazadora con la consiguiente liberación de gases a la atmósfera. Sobre la base de los datos facilitados por SCEP (1994), se ha fijado un factor de emisión de 0,2 µg de EQT/t (concentración de 0,04-0,4 ng de EQT/m³).

6.2.11.2 *Liberaciones al agua*

Pueden producirse liberaciones al agua allí donde se descarguen efluentes. No se dispone de datos suficientes para calcular factores de emisión. Deberá notificarse toda descarga líquida y cualquier tratamiento que pueda aplicarse.

6.2.11.3 *Liberaciones a la tierra*

No se espera ninguna liberación a la tierra.

6.2.11.4 *Liberaciones con productos*

Es probable que los productos tengan cierta contaminación, pero no es posible calcularla.

6.2.11.5 *Liberaciones con residuos*

Los residuos pueden consistir en materiales procedentes de dispositivos de retención del polvo o de productos no comercializables procedentes de la operación de desguace (materiales no metálicos). Es posible que en estos últimos productos se hallen bajas concentraciones de PCDD/PCDF pero no se dispone de datos bastantes para hacer una estimación. El metal recuperado es probable que entre en un proceso de recuperación térmica y a partir de él pueden producirse liberaciones.

6.2.12 Recuperación térmica de cables

La quema de cable es el proceso mediante el cual se recuperan el cobre y el plomo al tiempo que se quema el material aislante. En su forma más básica este proceso se desarrolla a cielo abierto y consiste en quemar chatarra de cable con el fin de eliminar sus revestimientos. En muchos países ésta se considera una operación ilegal. En operaciones más perfeccionadas se utiliza un horno provisto de un sistema de limpieza de gases por postcombustión y depuración. En este proceso están presentes todos los ingredientes necesarios para la formación de PCDD/PCDF: carbón (vainas), cloro (PVC o agentes resistentes al moldeo) y un catalizador (cobre).

En ciertos casos será necesario hacer una estimación de la cantidad de cable quemado a cielo abierto ya que es poco probable que haya estadísticas. En general se puede identificar los lugares donde se ha desarrollado este proceso, que deja residuos.

Se han fijado las siguientes clases de factores de emisión (cuadro 31).

Cuadro 31: Factores de emisión para la recuperación térmica de cables

| Clasificación | Factores de emisión – μg de EQT/t de material | | | | |
|--|--|------|--------|-----------|----------|
| | Atmósfera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| 1. Quema de cable a cielo abierto | 5000 | ND | ND | ND | ND |
| 2. Horno básico con postcombustión y depurador húmedo | 40 | ND | NA | ND | ND |
| 3. Quema de motores eléctricos y zapatas de freno, etc. – dotado de postcombustión | 3,3 | ND | NA | ND | ND |

Los factores de clase 1 se aplican a la quema de cable a cielo abierto, los de clase 2 se aplican a operaciones controladas de recuperación de cable que utilizan un horno con un sistema básico de limpieza de gases, y los factores de clase 3 a hornos utilizados para la recuperación de bobinas de motores eléctricos, zapatas de frenos y objetos semejantes con algún tipo de sistema de limpieza de gases.

6.2.12.1 Liberaciones a la atmósfera

Al parecer no existen datos medidos acerca de emisiones a partir de quemas de cables a cielo abierto y son muy escasos los precedentes de quemadores de cable legales. Las más elevadas concentraciones comunicadas han ido desde 254 ng de EQT/m³ (datos holandeses) y factores de emisión hasta de 500 μg de EQT/t, hasta cifras tan bajas como 3,3 μg de EQT/t. Para dar una estimación de las emisiones producidas por la quema a cielo abierto sin ningún control, se propone un factor de emisión de 5.000 μg de EQT/t (clase 1).

Se utilizarán factores de emisión de clase 2 para la quema de cables en hornos con postcombustión y depuradores húmedos. Para emisiones a la atmósfera Bremmer et al. (1994) han obtenido una concentración de 40 μg de EQT/t.

Para los hornos que queman motores eléctricos, zapatas de frenos y objetos semejantes, provistos de postcombustión, se usa un factor de emisión de 3,3 μg de EQT/t (Bremmer et al. 1994).

Es necesario que se estudien otras operaciones similares de recuperación y se tome nota de los controles que se aplican y de los sistemas de limpieza de gases que se utilicen.

6.2.12.2 Liberaciones al agua

Cuando se utiliza un horno con depurador húmedo, es de esperar que se produzcan liberaciones al agua. Se anotará la presencia en esas plantas de sistemas de depuración húmeda, y también el destino del efluente y qué tipo de tratamiento se aplica, si se aplica alguno.

6.2.12.3 Liberaciones a la tierra

Cuando el proceso se desarrolla a cielo abierto es de esperar que se produzcan liberaciones a la tierra, pues los residuos quedarán sobre el suelo. En sitios de quema ilegal se han medido

concentraciones en suelo hasta de 98.000 ng de EQT/kg. Los casos en los que se han recogido los residuos se tratarán en la sección relativa a residuos. En las operaciones de quema de cables a cielo abierto puede producirse una importante contaminación del suelo y será preciso identificar los lugares como posibles puntos calientes.

6.2.12.4 Liberaciones con productos

No se espera ninguna liberación en el cobre producido.

6.2.12.5 Liberaciones con residuos

Cabe esperar que los residuos de este proceso contengan PCDD/PCDF y en niveles que pueden ser elevados. No se dispone de datos bastantes para dar una estimación de liberaciones.

6.3 Categoría principal 3 – Generación de energía y calefacción

En la categoría de generación de energía y calefacción se incluyen las centrales eléctricas, los fuegos industriales (hornos) y las instalaciones destinadas a la calefacción de locales, pero sólo las que se alimentan de combustibles fósiles (incluida la cocombustión hasta con un 1/3 de desechos), biogás incluido el gas de terraplén y biomasa. En el cuadro 32 se señalan las cinco subcategorías que componen esta categoría principal de fuente. Los principales vectores de la liberación son la atmósfera y los residuos. La tierra sólo se considera vector de liberación en las operaciones de calefacción doméstica y de cocina que utilizan o bien biomasa (sobre todo madera) o bien combustibles fósiles. Pueden darse liberaciones a tierra si se vierten los residuos sobre el suelo.

Cuadro 32: Categoría principal de fuente 3 y sus correspondientes subcategorías

| No. | Categorías y subcategorías | Atmósfera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
|-----|---|-----------|------|--------|-----------|----------|
| 3 | Generación de energía y calefacción | X | | (X) | | X |
| a | Centrales eléctricas de combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas y cocombustión de desechos) | x | | | | x |
| b | Centrales eléctricas de biomasa (madera, paja, otras biomasas) | x | | | | x |
| c | Terraplenes, combustión de biogás | x | | | | x |
| d | Calefacción doméstica y cocina con biomasa (madera, otras biomasas) | x | | (x) | | x |
| e | Calefacción doméstica y cocina con combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas) | x | | (x) | | x |

Como la generación de calor o de energía es el objetivo de esas plantas, tratándose de la combustión de biomasa o de combustibles fósiles no es fácil establecer una relación entre la cantidad de PCDD/PCDF y la masa (en toneladas) de combustible consumido. Como base

para comunicar emisiones de PCDD/PCDF se preferirá adoptar el valor calórico del combustible. Como la generación de calor y energía es el “producto” de los procesos incluidos en esta sección 6.3, esta categoría principal de fuente se refiere a los factores de emisión por defecto derivados de los datos disponibles referidos al valor calórico del combustible. Por consiguiente, en lugar de comunicar factores de emisión por defecto en μg de EQT-I/t de combustible, estos factores se darán en μg de EQT-I/TJ de producción calórica. Esta elección es fácilmente explicable y se basa en la enorme variedad de combustibles utilizados para la generación de energía. La gama de valores calóricos de los distintos carbones utilizados en los diferentes países varía en más de un orden de magnitud. En el anexo, en la sección 9.2, se exponen las tablas que permiten transformar los valores calóricos en masas.

6.3.1 Centrales de energía de combustibles fósiles

Las centrales de energía de combustibles fósiles generan la mayor parte de la electricidad que se consume en el mundo actual. En la mayor parte de los países occidentales, la generación de energía a base de combustibles fósiles constituye el 50-70% de la generación total. En muchos países en desarrollo y de economía en transición, la generación basada en combustibles fósiles representa más del 90% de la producción total de energía en los sectores público e industrial.

En el presente contexto, dentro de esta subcategoría se diferencian cuatro categorías según los tipos de combustible utilizados, es decir carbón, aceite pesado, aceite ligero y gas natural, así como cualquier tipo de combustible fósil combinado con la cocombustión de desechos o lodos de distintos tipos. Para las cuatro categorías se parte del principio de que se emplean generadores razonablemente bien manejados y mantenidos de forma que den el máximo de potencia. En todos los casos, la atmósfera y los residuos son los dos únicos vectores de liberación que se consideran.

Los combustibles fósiles se queman en diversas instalaciones de generación de energía, desde pequeños hornos hasta las más elaboradas plantas con sistemas de caldera/quemador muy perfeccionados y eficaces controles de contaminación atmosférica (CCA) en la salida. La combustión del carbón para la generación de energía se realiza en dos tipos generales de calderas que se diferencian por la forma como se extrae la ceniza. Las llamadas calderas de fondo seco utilizan cargadores o quemadores de carbón pulverizado montados en la pared opuesta, en todas las paredes o según un sistema de fuegos en esquina (denominado también de fuegos tangenciales). Todos estos sistemas queman carbón con extraordinaria eficiencia dejando la mayor parte de la ceniza como residuo seco en el fondo de la caldera. Las llamadas calderas de fondo húmedo utilizan quemadores pulverizados en un ciclón o una disposición de fuego en U que da temperaturas de combustión mucho más elevadas con lo cual la ceniza se funde y recoge como escoria líquida en el fondo de la caldera. Las calderas de fondo húmedo, en particular, se utilizan con frecuencia para la cocombustión de desechos, en particular CDD o lodos. La escoria fundida en el fondo de la caldera da temperaturas suficientemente elevadas como para oxidar por completo todos los constituyentes orgánicos de los desechos. Pero también en este caso todos los contaminantes se liberan con los gases de escape.

Para la generación de energía también se consume aceite pesado o fueloil pesado. En general se quema en quemadores especialmente diseñados que se incorporan a las paredes de la caldera. La formación de PCDD/PCDF se ve favorecida durante la cocombustión de desechos

líquidos o lodos, como aceites de desecho y/o solventes usados.

El aceite ligero o fueloil ligero y el gas natural se queman en quemadores especialmente diseñados y no parece probable que generen grandes cantidades de PCDD/PCDF ya que ambos combustibles tienen gran valor calórico, arden con limpieza y apenas dejan ceniza o no la dejan. Sólo si conjuntamente se queman desechos líquidos o lodos pueden esperarse concentraciones elevadas de PCDD/PCDF.

Al igual que en todos los procesos de combustión, se suelen formar PCDD/PCDF después de concluido el proceso y enfriados los gases de salida. Los fragmentos orgánicos restantes y el cloro contenido en el carbón se recombinan en presencia de catalizadores metal-cloro, formándose así los PCDD/PCDF. Normalmente, las liberaciones al agua, a la tierra y con productos son insignificantes. Por consiguiente, las únicas vías de liberación importante son la atmósfera y los residuos, en particular las cenizas volantes. Sobre la base de estudios realizados en Alemania, Bélgica y Suiza se han calculado cuatro clases de factores de emisión, que se muestran en el cuadro 33.

Cuadro 33: Factores de emisión de la generación de energía basada en combustibles fósiles y la producción de calor/energía en la industria

| | Factores de emisión - µg de EQT/TJ de combustible fósil quemado | |
|--|---|----------|
| | Atmósfera | Residuos |
| 1. Calderas de energía que queman conjuntamente combustible fósil / desechos | 35 | ND |
| 2. Calderas de energía que queman carbón | 10 | 14 |
| 3. Calderas de energía que queman aceite pesado | 2,5 | ND |
| 4. Calderas de energía que queman aceite ligero/ gas natural | 0,5 | ND |

Estos factores de emisión por defecto se basan en el supuesto de que los combustibles quemados liberan PCDD/PCDF en asociación con la evacuación de cenizas volantes. Las emisiones con cenizas depositadas son insignificantes. Además, la eficiencia de la retención de partículas aumenta con la calidad del sistema de CCA empleado en la planta.

6.3.1.1 Liberaciones a la atmósfera

La atmósfera es el vector predominante en las liberaciones consecutivas al uso de combustibles fósiles. Normalmente, las concentraciones medidas en las grandes centrales eléctricas son muy inferiores a 0,1 ng de EQT/m³; en la mayor parte de los casos, de uno o dos órdenes de magnitud si se trata de combustibles sólidos y líquidos. Mientras que los datos recogidos en Holanda a partir de grandes centrales eléctricas de carbón daban un factor de emisión de 0,35 µg de EQT/t, los datos en Alemania se situaban entre 0,004 y 0,2 µg de EQT/t (0,09 y 7,1 µg de EQT/TJ) y los datos del Reino Unido daban un valor mediano de 0,14 µg de EQT/t (límites: 0,06-0,32 µg de EQT/t). En Suiza, para centrales alimentadas con carbón, se han obtenido factores medios de emisión de 230 µg de EQT/TJ. Los datos alemanes iban de 0,02 a 0,03 µg de EQT/TJ para las calderas alimentadas con gas natural.

El factor de emisión por defecto para la clase 1 se obtuvo a partir de valores comunicados entre 0,4 y 118 µg de EQT/TJ. Para el Instrumental se ha elegido un valor mediano de 35 µg de EQT/TJ. El factor de emisión correspondiente a la clase 2 se obtuvo como mediana a partir de los valores comunicados, entre 230 (datos suizos) y 7 µg de EQT/TJ. La clase 3 se calculó según un promedio de los valores notificados, que iban de 1 a 4 µg de EQT/TJ. La clase 4 constituye un promedio de valores que se sitúan entre 0,5 y 1,5 µg de EQT/TJ (LUA 1997, IFEU 1998, Environment Canada 1999).

6.3.1.2 *Liberaciones al agua*

No se espera ninguna liberación al agua.

6.3.1.3 *Liberaciones a la tierra*

No se esperan liberaciones a tierra, a no ser que residuos sin tratar se coloquen directamente sobre el suelo o se mezclen con tierra.

6.3.1.4 *Liberaciones con productos*

El proceso no da ningún producto y, por consiguiente, no hay liberaciones con productos.

6.3.1.5 *Liberaciones con residuos*

Son pocos los datos medidos sobre concentraciones de PCDD/PCDF en cenizas volantes, de manera que será necesario conocer nuevos datos. Puede partirse del supuesto de que el contenido de PCDD/PCDF en las cenizas volantes aumenta con el contenido de carbón no quemado y la cantidad de desechos conjuntamente incinerados.

Para realizar una estimación preliminar pueden utilizarse datos obtenidos en el Reino Unido sobre PCDD/PCDF en residuos de la combustión industrial del carbón (Dyke et al 1997, EC 1999). Las concentraciones en cenizas volantes eran de 0,23 a 8,7 ng de EQT/kg de ceniza y las cenizas de rejilla daban 0,02-13,5 ng de EQT/kg. Las concentraciones en el hollín eran más elevadas (hasta de 53 ng de EQT/kg). Tomando un tipo medio de producción de ceniza del 10% y una concentración media de 4 ng de EQT/kg de ceniza, se obtiene un factor de emisión de 0,4 µg de EQT/t (alimentación de carbón) (aproximadamente 14 µg de EQT/TJ).

6.3.2 Centrales de energía de biomasa

Muchos países y regiones obtienen su energía y su calor valiéndose sobre todo de la combustión de biomasa. Puede tratarse de madera, incluidas ramas, cortezas, aserrín, recortes de madera, etc., o de turba o de residuos agrícolas (como paja, pellas de cítricos, cáscaras de coco, desechos de gallinero, excretas de camello, etc.). En la mayor parte de los casos la biomasa se quema directamente y sin adición de combustibles fósiles, en calderas de vapor pequeñas y en funcionamiento continuo. Para el Instrumental, dentro de esta subcategoría se diferencian dos clases según los tipos de combustible de biomasa utilizados, es decir calderas

alimentadas por madera y todas las calderas que consumen los otros tipos de biomasa. Para ambas categorías se parte del supuesto de que se emplean generadores accionados por vapor bien manejados y mantenidos, de manera que se obtenga de ellos el máximo rendimiento. En todos los casos, la atmósfera y los residuos son los dos únicos vectores que han de tenerse en cuenta. Esta sección no se ocupa de la quema de madera contaminada, que se trató en la sección 6.1.6.

Para la generación de energía la biomasa se quema en muy diversos dispositivos, desde pequeños hornos que se cargan por la boca hasta las más elaboradas plantas con sistemas de caldera/quemador muy perfeccionados y con eficaces medios de control de la contaminación atmosférica (CCA). La combustión de la biomasa para la generación de energía se realiza sobre todo en dos tipos generales de calderas que se distinguen por la forma como se alimenta de combustible al sistema.

Las llamadas calderas de alimentación por la boca utilizan una reja fija, vibratoria o móvil sobre la cual la biomasa se desplaza por el horno mientras se quema. El aire de combustión primaria se inyecta desde el fondo de la reja a través del combustible de biomasa. Todos estos sistemas queman la biomasa con gran eficiencia dejando la mayor parte de la ceniza como residuo seco que se deposita en el fondo de la caldera. Sólo una pequeña fracción de materia inerte sale de la caldera como ceniza volante.

Las llamadas calderas de lecho fluidizado utilizan un lecho de material inerte (como sal y/o ceniza) que se fluidiza inyectándole el aire de combustión primaria. La biomasa se despedaza y agrega al lecho fluidizado, donde se quema. La ceniza fluidizada, que es arrastrada junto con el gas de salida, suele recogerse en un (multi-)ciclón, para pasar después por un PES o un depurador de saco; a continuación, se reinyecta en la caldera. De la caldera sale muy poca o ninguna ceniza de fondo, ya que las mayores partículas o bien quedan en el lecho fluidizado o bien son retenidas por el separador del ciclón. Así, casi toda la ceniza se recoge como ceniza volante en el PES o en el filtro de saco.

La presencia de PCDD/PCDF en esta subcategoría se basa en las mismas reglas generales que se aplican a las plantas de combustibles fósiles. Gracias a los estudios realizados en Alemania, Bélgica y el Reino Unido se han obtenido dos grupos de factores de emisión, que se muestran en el cuadro 34.

Cuadro 34: Factores de emisión para la generación de energía basada en la biomasa

| | Factores de emisión - μg de EQT/TJ de biomasa quemada | |
|--|--|----------|
| | Atmósfera | Residuos |
| 1. Calderas alimentadas por biomasa mezclada | 500 | ND |
| 2. Calderas alimentadas por madera limpia | 50 | 15 |

Estos factores de emisión por defecto se basan en el supuesto de que las liberaciones de PCDD/PCDF a partir de los combustibles quemados se asocian con la evacuación de las cenizas. Las emisiones mediante las cenizas depositadas son insignificantes ya que la cantidad total de cenizas en la biomasa se sitúa entre 0,5% (madera) y 1% (otras biomásas). Además, la eficiencia de retención de partículas aumenta con la calidad del sistema de CCA empleado en la planta.

6.3.2.1 *Liberaciones a la atmósfera*

La atmósfera constituye el vector predominante de las liberaciones producidas por la combustión de biomasa. El factor de emisión por defecto aplicable a la clase 1 se obtuvo a partir de valores medios de la combustión de paja comunicados en el Reino Unido, que oscilaban entre 17 y 54 µg de EQT/t. Los datos notificados en Austria varían entre 2–500 µg de EQT/TJ. Basándose en un valor calórico medio de 8–11 MJ/kg se eligió un factor de emisión por defecto de 500 µg de EQT/TJ, considerándolo representativo pese a que pudieron hallarse valores tan altos como 5.000 µg de EQT/TJ. La clase 2 se calculó a partir de los valores medios comunicados, que iban de 4,7 (estudio de Bélgica) a 5,4 (estudio del Reino Unido) µg de EQT/t de madera quemada. Sobre la base de un valor calórico medio de 12–15 MJ/kg, se puede calcular un factor de emisión por defecto de unos 350 ng de EQT/GJ (LUA 1997, IFEU 1998, Environment Canada 1999).

6.3.2.2 *Liberaciones al agua*

No se espera ninguna liberación al agua.

6.3.2.3 *Liberaciones a la tierra*

No se espera ninguna liberación a la tierra a no ser que residuos sin tratar se depositen directamente sobre el suelo o se mezclen con tierra.

6.3.2.4 *Liberaciones con productos*

El proceso no da productos y, por consiguiente, no hay ninguna liberación con productos.

6.3.2.5 *Liberaciones con residuos*

Cabe suponer que en los residuos de cenizas existen PCDD/PCDF. Sin embargo, apenas pudieron hallarse datos sobre las cantidades existentes. En un estudio realizado en Alemania se encontraron concentraciones de 30-3.000 ng de EQT/kg en la ceniza depositada y de 30-23.300 ng de EQT/kg en las cenizas volantes. Dado que los valores comunicados para las cenizas depositadas y volantes se superponían en gran parte no se consideró necesario diferenciar mejor ambos valores. Por consiguiente, como factor de emisión por defecto se eligió un valor medio de 3.000 ng de EQT/kg basándose en un contenido de ceniza de 0,5%.

No pudieron hallarse datos adecuados sobre otros combustibles de biomasa. Se considera necesario seguir investigando esta cuestión.

6.3.3 Combustión de terraplén/biogás

El gas de terraplén y el biogás proceden de la digestión anaeróbica de materia orgánica. El gas resultante está constituido por una mezcla de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y amoníaco (NH₃), fracciones más pequeñas de gases combustibles y una importante fracción de agua (H₂O). La parte combustible del gas suele ser del 50% y su valor calórico de 15–25 MJ/kg dependiendo del origen del gas. La combustión de terraplén y el biogás se produce con llama en motores de turbinas de gas o en otros dispositivos generadores de energía.

La combustión de estos gases para la generación de energía se produce sobre todo en calderas alimentadas por gas o en motores/turbinas de gas. Ambos sistemas son muy semejantes a sus correspondientes modelos alimentados por gas natural. El proceso de combustión está prácticamente libre de residuos. A partir de estudios realizados en Alemania, Países Bajos y Reino Unido se obtuvo un solo factor de emisión, como se muestra en el cuadro 35.

Cuadro 35: Factores de emisión para la generación de poder y la combustión de biogás/gas de terraplén

| | Factor de emisión - µg de EQT/TJ de gas quemado Atmósfera |
|-----------------------------------|--|
| Calderas, motores/turbinas, fuego | 8 |

6.3.3.1 Liberaciones a la atmósfera

La atmósfera es el único vector de liberaciones producidas por la producción de gas de terraplén y biogás. El factor de emisión por defecto aplicable a la clase 1 se calculó a partir de valores medios notificados que iban desde 7,6 (estudio en Alemania) hasta 8,4 (estudio en el Reino Unido) µg de EQT/TJ de biogás quemado (LUA 1997, IFEU 1998, Environment Canada 1999).

6.3.3.2 Liberaciones al agua

No se espera ninguna liberación al agua.

6.3.3.3 Liberaciones a la tierra

No se espera ninguna liberación a la tierra ya que el gas de terraplén y el biogás no dejan prácticamente ningún residuo al arder.

6.3.3.4 Liberaciones con productos

El proceso no da ningún producto de manera que no hay liberaciones con productos.

6.3.3.5 Liberaciones con residuos

No se producen liberaciones con residuos ya que la combustión de gas de terraplén y de biogás no deja prácticamente ningún residuo.

6.3.4 Calefacción doméstica y cocina (biomasa)

La calefacción y la cocina con biomasa son frecuentes en las viviendas familiares de numerosos países. En la mayor parte de los casos la madera es el combustible preferido, aunque también pueden utilizarse otros combustibles de biomasa. Sólo dos categorías se definen dentro de esta subcategoría y la principal diferencia entre ellas es la pureza del combustible¹¹. La diferencia se hace entre la biomasa virgen y la biomasa contaminada, como la madera tratada y/o pintada o la paja fuertemente contaminada por plaguicidas clorados. Los vectores importantes a este respecto son la atmósfera, los residuos y, en ciertos casos, la tierra.

La biomasa para la calefacción residencial y la cocina se quema en muy diversos dispositivos, desde pequeñas estufas de hogar abierto o cocinas hasta las grandes estufas y hornos de leña muy perfeccionados. La combustión de biomasa para la calefacción doméstica y la cocina se realiza sobre todo en aparatos cuya eficiencia de combustión va siendo cada vez mayor a medida que en los distintos países va aumentando el producto nacional bruto y el grado de desarrollo.

Los PCDD/PCDF se forman como resultado de la combustión incompleta, típica de todos estos pequeños dispositivos que carecen de controles de combustión o que tienen unos controles muy limitados. Las liberaciones al agua y con los productos son insignificantes. Las liberaciones a tierra sólo pueden producirse cuando el proceso de combustión se desarrolla directamente sobre el suelo¹² o los residuos de este proceso se dejan en tierra. Por consiguiente, las únicas vías de liberación importantes son la atmósfera, la tierra y los residuos. Mediante estudios realizados en Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, Países Bajos, Reino Unido, Suecia y Suiza se calcularon dos grupos de factores de emisión, que se muestran en el cuadro 36.

Cuadro 36: Factores de emisión de la calefacción doméstica y la cocina basadas en la biomasa

| | Factores de emisión - µg de EQT/TJ de Biomasa quemada | | Concentración - µg de EQT/TJ Residuos |
|---|---|--------|---------------------------------------|
| | Atmósfera | Tierra | |
| 1. Estufas alimentadas por madera contaminada/biomasa | 1500 | ND | 2000 |
| 2. Estufas alimentadas por madera virgen/ biomasa | 100 | ND | 20 |

¹¹ Esta diferenciación no se ha hecho en los sectores público e industrial con respecto a la generación de electricidad y energía donde la utilización de biomasa contaminada, por ejemplo, la madera, se considera como una eliminación de madera de desecho.

¹² Este caso se trata en la sección 6.6 – Procesos de combustión incontrolados.

Los factores de emisión de las liberaciones con residuos se basan en concentraciones medidas en la ceniza (y no están relacionadas con el valor calórico del combustible).

6.3.4.1 *Liberaciones a la atmósfera*

La atmósfera es el vector predominante de las liberaciones procedentes de la combustión de biomasa. El factor de emisión por defecto correspondiente a la clase 1 se obtuvo a partir de valores medios notificados entre 2 y 50 µg de EQT/t de madera quemada. Los valores de 2,4–4,7 µg de EQT/kg comunicados en un estudio de Austria parecen ser extraordinariamente elevados. En cambio, un estudio realizado en Alemania dio valores de 0,2–0,7 µg de EQT/t, que parecen representar el extremo inferior del espectro. Lo mismo sucede con el valor obtenido en Suiza de 24 ng de EQT/GJ. Es importante advertir que los valores comunicados para la combustión de biomasa limpia son siempre inferiores en un orden de magnitud a los notificados para la combustión de biomasa contaminada, como madera tratada y/o pintada. En consecuencia, para la biomasa limpia se eligió un valor medio de 1,5 µg de EQT/t mientras que para la biomasa contaminada se tomó un valor aproximado de 25 µg de EQT/t. Basándose en el valor calórico medio de 12–15 MJ/kg de madera, para la biomasa limpia puede calcularse un factor de emisión por defecto de unos 100 µg de EQT/TJ y para la biomasa contaminada, de 1.500 µg de EQT/TJ (LUA 1997, IFEU 1998). Para la madera ligeramente contaminada LUA (1997) ha dado factores de emisión de 50 µg de EQT/t y para la madera fuertemente tratada con PCP valores de 500 µg de EQT/t, de lo que resultarán factores de emisión de 3.300 µg de EQT/TJ y de 50.000 µg de EQT/TJ, respectivamente.

6.3.4.2 *Liberaciones al agua*

No se espera ninguna liberación al agua.

6.3.4.3 *Liberaciones a la tierra*

No se espera ninguna liberación a tierra, a no ser que la combustión se realice directamente sobre el suelo. Ante la falta de datos no se ha podido calcular ningún factor de emisión por defecto.

6.3.4.4 *Liberaciones con productos*

El proceso no da productos de manera que no se puede producir ninguna liberación con ellos.

6.3.4.5 *Liberaciones con residuos*

Los PCDD/PCDF en el residuo de cenizas van desde unos pocos nanogramos hasta varios miles de ng de EQT/kg. La combustión de madera virgen da en la ceniza concentraciones inferiores a las resultantes de la madera tratada. Las concentraciones medias determinadas por Wunderli et al. (1996) se utilizarán en el Instrumental como una primera estimación: determinan un promedio de 1.000 ng de EQT-I/kg para la madera contaminada y de 10 ng de EQT-I/kg para la madera limpia. Los factores de emisión para las dos clases se han calculado

sobre la base de esos dos números y el supuesto de que se genera un 3% de ceniza (límites normales de 3-5%; cuando la combustión es buena la cantidad de ceniza será inferior, pero si es defectuosa, puede ser muy superior).

6.3.5 Calefacción doméstica (combustibles fósiles)

La calefacción doméstica, sobre todo en países desarrollados y en economías en transición, utiliza con frecuencia los combustibles fósiles. Carbón, aceite ligero y gas natural, que son las principales fuentes de combustibles fósiles utilizados para la calefacción doméstica, constituyen las tres clases que componen esta subcategoría. Para las tres clases se supone que se utilizan hornos bien manejados y mantenidos de manera que se obtenga un rendimiento óptimo. En todos los casos, la atmósfera constituye el vector de liberación que se ha de tener en cuenta. En el caso de la combustión de carbón también deben considerarse los residuos como un posible vector de liberaciones.

Los combustibles fósiles se queman en diversos dispositivos, desde los pequeños hornos alimentados por la boca hasta grandes sistemas muy elaborados de caldera/quemador para la generación central de calor en grandes edificios residenciales de numerosas viviendas.

La combustión para la calefacción doméstica se realiza en dos tipos generales de calderas que se distinguen por la forma como se transporta y libera el calor. Los llamados sistemas de calefacción central, que normalmente usan petróleo o gas como combustible, se basan en un gran quemador que calienta el agua, cuya circulación se impulsa por todo el edificio liberando su calor en numerosos radiadores descentralizados. Estos modernos sistemas son normalmente muy eficientes y dan una combustión bastante limpia de manera que apenas dejan residuo que haya que evacuar. El segundo tipo de sistema de calefacción se basa sobre todo en combustibles sólidos (carbón) y está constituido por estufas individuales que se colocan en cada habitación del edificio o de forma que por el interior de las paredes tengan acceso a varias habitaciones al mismo tiempo. Estos calentadores consisten en hornos bastante pequeños que prevén un sistema de circulación del aire por el interior y alrededor de ellos. Normalmente son más antiguos, menos eficientes y dan una combustión menos limpia. Además, el contenido inerte del combustible deja un depósito de ceniza que debe evacuarse. Algunos de estos sistemas también pueden funcionar con petróleo.

Los estudios realizados en Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, Países Bajos, Reino Unido, Suecia y Suiza han permitido calcular tres grupos de emisiones, que se muestran en el cuadro 37.

Cuadro 37: Factores de emisión de la calefacción doméstica basada en combustibles fósiles

| | Factores de emisión - μg de EQT/TJ de combustible fósil quemado Atmósfera | Concentraciones- ng de EQT/kg de ceniza Residuos |
|---------------------------|---|--|
| 1. Estufas de carbón | 70 | 5000 |
| 2. Estufas de petróleo | 10 | NA |
| 3. Estufas de gas natural | 1,5 | NA |

Estos factores de emisión por defecto se basan también en el supuesto de que sólo el carbón cuando se quema libera PCDD/PCDF asociados a la evacuación de la ceniza.

6.3.5.1 *Liberaciones a la atmósfera*

La atmósfera es el vector predominante de las liberaciones resultantes del consumo de combustibles fósiles. El factor de emisión por defecto aplicable a la clase 1 se obtuvo a partir de valores medios comunicados entre 1,6 y 50 μg de EQT/t de carbón quemado. El valor de 0,91 mg de EQT/t comunicado en el estudio austríaco parece extraordinariamente elevado. También el valor suizo, de 230 ng de EQT/GJ, parece situarse en los límites superiores. Es importante advertir que los valores comunicados para la combustión doméstica de carbón son bastante constantes, situándose entre 1 y 7 μg de EQT/t en todos los demás estudios. En consecuencia, para el carbón se eligió un valor medio de 2 μg de EQT/t. Basándose en un valor calórico medio de 28–35 MJ/kg para el carbón, se puede calcular un factor de emisión por defecto de unos 150 μg de EQT/TJ.

El factor de emisión por defecto de la clase 2 se obtuvo a partir de unos valores comunicados que iban de 0,04 a 2 μg de EQT/t. El valor de 0,04 mg de EQT/t procedente del estudio austríaco, parece ser extraordinariamente elevado, mientras que el suizo, de 0,5 ng de EQT/GJ es extremadamente bajo. En consecuencia, para la calefacción por petróleo se eligió un valor medio de 0,5 μg de EQT/t. Basándose en un valor calórico medio de 44–46 MJ/kg para el petróleo de calefacción, se calculó un factor de emisión por defecto de 10 μg de EQT/TJ.

El factor de emisión por defecto de la clase 3 se obtuvo a partir de valores comunicados entre 0,04 y 0,07 ng de EQT/m³. Para el gas natural se eligió un valor medio de 0,05 ng de EQT/m³. Basándose en un valor calórico medio de 32–35 MJ/m³ para el gas natural, se calculó un factor de emisión por defecto de 1,5 μg de EQT/TJ (LUA 1997, IFEU 1998, Environment Canada 1999).

6.3.5.2 *Liberaciones al agua*

No se espera ninguna liberación al agua.

6.3.5.3 *Liberaciones a la tierra*

No se espera ninguna liberación a la tierra.

6.3.5.4 *Liberaciones con productos*

El proceso no da productos de manera que no se puede producir ninguna liberación con ellos.

6.3.5.5 *Liberaciones con residuos*

Se han analizado los PCDD/PCDF existentes en las cenizas volantes que quedan de la combustión del carbón y se han detectado concentraciones entre 4 y 42.000 ng de EQT/kg de

ceniza (Dumler et al. 1995). En el Instrumental y como primera estimación, se utilizará un factor de emisión de 5.000 ng de EQT/kg de ceniza.

6.4 Categoría principal 4 – Productos minerales

6.4.1 Producción de cemento

Las principales materias primas del cemento son la arcilla y la piedra caliza. La fabricación del cemento comienza por la calcinación, que provoca la descomposición del carbonato cálcico (CaCO_3) a unos 900 °C para producir óxido de calcio (CaO , cal) y dióxido de carbono (CO_2). A continuación, la cal reacciona a temperaturas normalmente de 1.400 a 1.500 °C con sílice, alúmina y óxido ferroso, formando silicatos, aluminatos y ferritas de calcio (= escoria o “clinker”). A continuación, la escoria se tritura o muele junto al yeso y otros aditivos para producir el cemento (EC-JRC 2000d).

La fabricación del cemento puede seguir cuatro vías principales. Procesos secos, semisecos, semihúmedos y húmedos. En el proceso seco, las materias primas se trituran y deshidratan en una mezcla bruta que se introduce en un horno precalentador o precalcinador (o, más raramente, en un horno seco largo). El proceso seco requiere menos energía que el húmedo. La mayoría de los hornos europeos utilizan el proceso seco. En el proceso húmedo, las materias primas (que con gran frecuencia tienen un elevado contenido de humedad) se trituran en agua para formar un barro bombeable que se introduce directamente al horno o que antes se pasa por un desecador. La mayor parte de los hornos de cemento de los Estados Unidos utilizan el proceso húmedo.

El proceso se desarrolla de la siguiente manera: las materias primas se llevan al lugar, se mezclan, trituran y muelen hasta obtenerse una mezcla bruta con las adecuadas propiedades químicas y de tamaño de las partículas. La mezcla bruta se convierte en escoria de cemento por piropcesado en hornos rotatorios (de 50 m de longitud y más de 5 m de diámetro). Esos hornos consisten en una funda de acero cilíndrica revestida de material refractario ligeramente inclinada hacia la horizontal y que gira a razón de 1-3 rpm. Las materias primas se introducen por el extremo superior y gradualmente van descendiendo hacia la extremidad inferior donde un quemador produce una contracorriente de calentamiento. Los hornos rotatorios utilizados en la fabricación de cemento difieren de los clásicos procesos de combustión en que los materiales de entrada y los gases de salida se cruzan en contracorriente produciendo una minuciosa mezcla a altas temperaturas (>1,400 °C en el extremo más caliente, donde se forma la escoria), y largos tiempos de residencia (5-7 s). En estas circunstancias se destruyen todos los contaminantes orgánicos introducidos con el combustible.

Los modernos hornos de cemento utilizan con frecuencia el procesado en seco, en el cual las materias primas se pueden precalentar en un precalentador multiciclónico vertical, en el que la subida de los gases calientes procedentes del horno se ponen en contacto con el flujo descendiente de las materias primas. Algunos procesos en seco utilizan también una fase de precalcinación debajo del precalentador, inmediatamente antes del punto donde las materias primas entran en el horno. La utilización del proceso húmedo, en el que la mezcla molida se mezcla con agua y se introduce en el horno a modo de lodo utiliza un 40% aproximadamente más de energía que el proceso en seco.

La última etapa comprende el enfriamiento de la escoria. A medida que la escoria caliente va saliendo de la extremidad inferior del horno, rápidamente es enfriada por el aire ambiente en un refrigerador de escoria, es decir una rejilla desplazable con ventiladores inferiores que lanzan un chorro de aire frío a través de la escoria (EMEP 1999)

Por último, la escoria enfriada se mezcla con yeso y, si se trata de cementos compuestos, con otros materiales como la escoria de altos hornos y molida hasta un fino polvo homogéneo que da el producto final, que se almacena en silos antes de su transporte al granel o su empaclado.

Los combustibles más frecuentemente utilizados son carbón, petróleo, gas o cok de petróleo. En muchos casos a los combustibles fósiles se les añaden diversos combustibles de desechos, entre los que pueden figurar aceites de desecho, solventes, algunos desechos industriales y, en ciertos casos, también desechos que son peligrosos. La mayor parte de ellos se queman en el extremo caliente del horno. Con frecuencia se utilizan neumáticos que se pueden meter en el horno a cierta distancia de su extremo caliente, completos o despedazados.

En pruebas realizadas en los Estados Unidos de América se ha visto que las emisiones más elevadas proceden de ciertos hornos donde se utilizan desechos peligrosos (EPA 1998). Investigaciones más detallada han indicado que, si la combustión es buena, el principal factor de control es la temperatura del dispositivo de retención del polvo en el sistema de limpieza del gas, y que las plantas provistas de precipitadores electrostáticos de baja temperatura parecen dar emisiones bien controladas con o sin combustibles de desechos. Se considera que las propias materias primas pueden influir considerablemente sobre las emisiones y que la presencia de niveles elevados de materia orgánica en las materias primas se ha asociado con emisiones elevadas de PCDD/PCDF. Debe advertirse que las más elevadas emisiones medidas en los Estados Unidos procedían de hornos húmedos mientras que las más bajas (con más de 150 mediciones) observadas en hornos de cemento europeos (sobre todo en Alemania y en Suiza) se obtuvieron de plantas que utilizaban el procesado en seco. Los gases de salida de los hornos secos no se pueden refrigerar en agua y, por consiguiente, ingresan en el sistema de limpieza de gases de salida a temperaturas relativamente elevadas (>300 °C). En plantas europeas, tratándose de hornos de cemento con PES, no se han observado concentraciones elevadas de PCDD/PCDF.

En general, los hornos tienen un dispositivo que reduce las emisiones de partículas y que las captura, lo cual puede ser interesante para el cemento producido. El sistema de control de la contaminación puede consistir en un simple colector de polvo (ciclón), un precipitador electrostático o filtros de tela. En ciertas plantas se pueden instalar otros sistemas de control de la contaminación, como depuradores de gas. Se determinaron las siguientes clases de factores de emisión (cuadro 38).

Cuadro 38: Factores de emisión de la producción de cemento

| Clasificación | Factores de emisión – µg de EQT/t de cemento | | | | |
|--|--|------|--------|-----------|----------|
| | Atmósfera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| 1. Hornos húmedos, PES a temperatura >300 °C | 5,0 | ND | ND | ND | 1,0 |
| 2. Hornos húmedos, PES/filtro de tela temperatura 200-300 °C | 0,6 | ND | NA | ND | 0,1 |
| 3. Hornos húmedos, PES/filtro de tela temperatura <200°C Hornos secos con CCA (todos los tipos) | 0,15 | ND | NA | ND | 0,003 |

6.4.1.1 Liberaciones a la atmósfera

Las emisiones a la atmósfera expresadas como cantidades de PCDD/PCDF desprendidas de cada unidad de producción estarán influenciadas por la concentración de los PCDD/PCDF en los gases de salida y la cantidad de gases generados por unidad de producción. Los hornos húmedos producen mayores volúmenes de gas de salida por unidad de producción que los secos (4.000 Nm³/t frente a 2.500 Nm³/t en las condiciones de la chimenea, HMIP 1995).

Las mediciones realizadas en Alemania en 16 hornos de escoria de cemento (hornos precalentadores de suspensión y hornos Lepol) durante los últimos diez años han dado una concentración media de unos 0,02 ng de EQT/m³ (Schneider, 1996). En cambio, ciertas plantas de Europa (3 hornos, 2 hornos rotatorios y 1 horno de cuba en Suecia entre los años 1989-1993) han dado concentraciones medias entre 4,1 y 42 ng de EQT-N/Nm³. Todas las mediciones que han revelado altas concentraciones de PCDD/PCDF se han podido explicar o bien por la naturaleza de las materias primas y/o el combustible, o bien por combustión en condiciones defectuosas, lo que encarece la importancia de controlar las entradas en el horno y mantener un funcionamiento estable (EC-JRC 2000d).

La concentración de PCDD/PCDF en los gases de salida parece estar influida por la temperatura del dispositivo de retención del polvo. Las bajas temperaturas (<200 °C) parecen indicar que las concentraciones típicas serán inferiores a 0,1 ng de EQT/Nm³, las temperaturas de más de 300 °C aumentan las probabilidades de hallar emisiones más elevadas, con concentraciones típicas de 0,3 ng de EQT/Nm³ y superiores. En ciertos casos, pueden hallarse emisiones mucho más elevadas. Estas parecen estar relacionadas con las altas temperaturas de retención del polvo, los altos niveles de materia orgánica en las materias primas y el uso de ciertos desechos en condiciones inadecuadas.

A los hornos con colectores de polvo de más de 300 °C se les aplica un factor de emisión medio de 5 µg de EQT/t de producto (escoria). Cuando el colector de polvo trabaja entre 200 y 300 °C, se aplica un factor de emisión medio de 0,6 µg de EQT/t de producto. Si la temperatura del colector de polvo se mantiene por debajo de 200 °C, se aplica un factor de emisión de 0,15 µg de EQT/t de producto.

Deberá tomarse nota para un estudio más detenido de los ejemplos que se encuentren de hornos de cemento en los que las materias primas presenten concentraciones particularmente elevadas de materia orgánica y mantengan altas temperaturas en el colector de polvo. También deberá registrarse el uso de desechos advirtiendo qué desechos se utilizan, por qué

medios se introducen al horno y qué controles funcionan (por ejemplo, prevención de la entrada de materiales cuando se perturba la combustión, etc.).

6.4.1.2 *Liberaciones al agua*

No se esperan liberaciones al agua. Pero si se identifican efluentes, deberá tomarse nota de ello y describir su origen en el proceso.

6.4.1.3 *Liberaciones a la tierra*

Algunos residuos pueden caer a tierra y se ha comunicado que en ciertos casos se ha utilizado el polvo de los hornos de cemento para aumentar la alcalinidad y agregar cal. Deberá tomarse nota de toda utilización de polvo de horno de cemento en este sentido.

6.4.1.4 *Liberaciones con productos*

Cabe suponer que las liberaciones con el cemento producido van a ser de escasa cuantía ya que el producto se ha visto expuesto a elevadísimas temperaturas.

6.4.1.5 *Liberaciones con residuos*

El principal residuo desechado es el polvo del horno de cemento, que queda retenido en los sistemas de reducción de la contaminación. En este polvo se han encontrado diversas concentraciones de PCDD/PCDF y su ritmo de producción variará según algunos factores específicos de la planta y el grado en el que ese polvo se pueda reutilizar en el proceso.

Para realizar una estimación inicial de las liberaciones de PCDD/PCDF con el polvo de horno de cemento se tomó un promedio de producción de 0,4 millones de toneladas de polvo resultantes de la producción de 13,5 millones de toneladas de clinker/cemento (Dyke et al. 1997) – es decir, aproximadamente 30 kg de polvo por tonelada de clinker (0,3% de producción de clinker).

Las concentraciones de PCDD/PCDF en el polvo del horno de cemento son variables. No se dispone de datos suficientes para poder calcular con exactitud los PCDD/PCDF producidos por todos los hornos. Se han comunicado gran diversidad de concentraciones: de 0,001 a 30 ng de EQT/kg (Dyke et al. 1997) para los hornos del Reino Unido y de 1 a 40 ng de EQT/kg según las pruebas alemanas (SCEP 1994). Pruebas realizadas en los Estados Unidos indicaban que el promedio de los hornos que queman desechos peligrosos daba niveles más elevados (35 ng de EQT/kg) que los que no queman desechos peligrosos (0,03 ng de EQT/kg) (EPA 1998). Sobre estos resultados influyó en gran medida el elevadísimo nivel existente en una muestra, con lo que se han comunicado unos límites de 0,045 a 195 ng de EQT/kg.

Para realizar una estimación inicial de las liberaciones con el polvo del horno de cemento, en el cuadro 38 se proponen tres clases de factores de emisión, pero de todas formas esos valores no ofrecen seguridad.

6.4.2 Producción de cal

La cal se utiliza con gran diversidad de productos. La cal viva es óxido cálcico (CaO) producido por la descarbonización de la piedra caliza (CaCO_3). La cal apagada es cal viva con cierto contenido de agua y está constituida principalmente por hidróxido cálcico (Ca(OH)_2)¹³. Los principales utilizadores de cal son la industria del acero, la construcción y las industrias de la pasta papelera y del azúcar.

La cal se obtiene quemando carbonato cálcico y/o magnésico a temperaturas entre 900 y 1.500 °C. Para ciertos procesos se necesitan temperaturas mucho más elevadas. El óxido cálcico (CaO) producido por el horno se suele triturar, moler y/o tamizar antes de transportarlo a un silo. La cal viva se entrega al utilizador como tal cal viva o se la hace reaccionar con agua en una planta hidratadora obteniéndose así la cal hidratada o apagada.

Para la quema de la cal se utilizan distintos combustibles, sólidos, líquidos o gaseosos. Los combustibles dan la energía necesaria para calcinar la cal pero al mismo tiempo interactúan en el proceso. La mayor parte de los hornos pueden funcionar con distintos combustibles. El proceso de quema de la cal se realiza en dos fases (EC-JRC 2000d):

1. Suministrar calor suficiente, por encima de 800 °C, para calentar la piedra caliza y causar su descarbonización, y
2. Mantener la cal viva a temperaturas suficientemente elevadas (de unos 1.200-1.300 °C) para ajustar su reactividad.

La mayor parte de los hornos o bien son hornos de cuba o son hornos rotatorios. Se caracterizan sobre todo por el flujo a contracorriente de sólidos y gases. También se encuentran hornos de lecho fluidizado y hornos de solera rotatoria. Los tamaños más frecuentes de los hornos son los que producen entre 50 y 500 toneladas al día (EC-JRC 2000d).

Las materias primas o los combustibles que contienen cloruros pueden causar la formación de PCDD/PCDF durante el proceso de combustión del horno de cal. Según datos obtenidos en Europa en siete hornos, de los cuales cuatro eran rotatorios y tres de cuba, las concentraciones de PCDD/PCDF eran inferiores a 0,1 ng de EQT/ Nm^3 . Las mediciones realizadas en Alemania en dos hornos de cuba anulares no alcanzaban 0,05 ng de EQT- I/Nm^3 . Sin embargo, al ser tan escaso el número de mediciones, no puede excluirse que en Europa o en otros lugares puedan hallarse plantas que puedan producir efectos locales (LUA 1997).

En Suecia se han medido altas concentraciones de PCDD/PCDF en tres hornos, dos rotatorios y uno de cuba. Las mediciones, que se realizaron entre 1989 y 1993, dieron concentraciones de 4,1 a 42 ng N-EQT/ Nm^3 . En todos los casos en que se han podido medir altos niveles de dioxinas se pudo encontrar la explicación o bien en las materias primas o bien en el combustible utilizados, o por una combustión defectuosa, lo que subraya la importancia que tiene el controlar las materias de alimentación del horno y mantener un funcionamiento estable (EC-JRC 2000d).

Se han establecido las siguientes clases con sus correspondientes factores de emisión (cuadro 39):

¹³ Con mucha frecuencia la palabra “cal” se aplica incorrectamente a los productos de la piedra caliza.

Cuadro 39: Factores de emisión en la producción de cal

| Clasificación | Factores de emisión – µg de EQT/t de cal producida | | | | |
|---|--|------|--------|-----------|----------|
| | Atmósfera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| 1. Ciclón, sin control del polvo | 10 | NA | ND | ND | ND |
| 2. Producción de cal con retención de polvo | 0,07 | NA | ND | ND | ND |

El factor de clase 1 se aplica a plantas con combustión defectuosa con sencillos sistemas de limpieza de gas o sin éstos. El factor de clase 2 se utilizará tratándose de hornos muy eficientes en energía y dotados de sistemas de limpieza de gas con filtro de tela.

6.4.2.1 Liberaciones a la atmósfera

Se han medido emisiones de varios hornos alemanes (SCEP 1994). Tratándose de hornos de cal bien controlados y provistos de equipo de retención de polvo (sobre todo precipitador electrostático o filtro de tela), se aplicará un factor de emisión de 0,07 µg de EQT/t de cal producida.

Se han observado emisiones considerablemente más elevadas en pruebas limitadas (LUA 1997), de manera que se aplicará un factor de emisión de 10 µg de EQT/t de cal producida cuando el control del horno sea limitado y el sistema de retención del polvo sea elemental (ciclón) o no exista.

6.4.2.2 Liberaciones al agua

No se espera ninguna liberación al agua. Todo efluente que se identifique se señalará, especificando cuál es su fuente en el proceso.

6.4.2.3 Liberaciones a la tierra

La cal producida o los residuos de la limpieza del gas pueden utilizarse en el suelo. No se dispone de información suficiente para hacer una estimación de las concentraciones de PCDD/PCDF en las liberaciones a tierra.

6.4.2.4 Liberaciones con productos

No se dispone de información sobre concentraciones de PCDD/PCDF en productos de cal. Se espera que sean bajas a causa de las elevadas temperaturas que se utilizan en el procesado.

6.4.2.5 Liberaciones con residuos

Pueden producirse residuos en forma de polvos procedentes de las operaciones de depuración de gases pero este polvo se puede reutilizar en el proceso o puede tener valor como tal producto. No se dispone de información sobre concentraciones de PCDD/PCDF en ese polvo.

6.4.3 Producción de ladrillos

Los ladrillos se hacen sobre todo con arcilla y ciertos materiales adicionales con los que se obtiene la porosidad y demás características deseadas. En la producción industrial se utilizan habitualmente hornos de túnel en los que se alcanzan temperaturas de unos 1.000 °C. En estos sistemas se utilizan como combustibles petróleo o gas y en ciertos casos el gas se depura con retención de fluoruros.

El cocido de los ladrillos puede realizarse asimismo con otros tipos de hornos más elementales y con diferentes combustibles. En muchos casos apenas se utilizan tecnologías de depuración de gas.

Se seleccionaron las siguientes clases de factores de emisión (cuadro 40):

Cuadro 40: Factores de emisión en la producción de ladrillos

| Clasificación | Factores de emisión – µg de EQT/t de ladrillos producidos | | | | |
|---|---|------|--------|-----------|----------|
| | Atmósfera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| 1. Ciclón/sin control de polvo | 0,2 | NA | NA | ND | ND |
| 2. Producción de ladrillos con retención de polvo | 0,02 | NA | NA | ND | ND |

Los factores de clase 1 se aplicarán a hornos más pequeños y peor controlados desprovistos de tecnología de limpieza del gas. Los factores de clase 2 corresponden a la producción en instalaciones modernas con normas de control de combustión elevadas y eficiencia de energía.

6.4.3.1 Liberaciones a la atmósfera

Las emisiones de los hornos de cocer ladrillos pueden variar según el tipo o el proceso, la naturaleza de las materias primas y los sistemas de depuración de gases utilizados. Se dispone de pocos datos acerca de las liberaciones de PCDD/PCDF resultantes de la fabricación de ladrillos.

Pruebas realizadas en Alemania han determinado emisiones a la atmósfera de 0,002 a 0,23 µg de EQT/t del producto. Todas las pruebas se hicieron con plantas relativamente bien controladas.

Se aplicará un factor de emisión de 0,02 µg de EQT/t de producto a procesos de fabricación de ladrillos con temperaturas bien controladas y consistentemente elevadas y con controles sobre el combustible utilizado. Las emisiones pueden ser más elevadas si los controles son defectuosos y se queman desechos o combustibles de mala calidad.

6.4.3.2 Liberaciones al agua

No se espera ninguna liberación al agua. Se tomará nota de cualquier efluente que se observe y de su fuente.

6.4.3.3 *Liberaciones a la tierra*

No se espera ninguna liberación a la tierra.

6.4.3.4 *Liberaciones con productos*

No se dispone de datos acerca de niveles de PCDD/PCDF en ladrillos. Se esperan que sean bajos, ya que la cocción de ladrillos se efectúa a altas temperaturas.

6.4.3.5 *Liberaciones con residuos*

En los residuos del proceso pueden encontrarse PCDD/PCDF, pero no se dispone de información para estimar liberaciones a partir de esa fuente.

6.4.4 Producción de vidrio

Los hornos utilizados para la fabricación de vidrio pueden funcionar de forma continua o intermitente. Los combustibles habitualmente utilizados son el petróleo y el gas. Las materias primas son fundamentalmente arena, piedra caliza, dolomita y sosa. Pueden además agregarse otros materiales con los que se obtienen las propiedades deseadas de color, transparencia y pureza. Pueden agregarse compuestos clorados y fluorados (SCEP 1994).

En ciertos hornos de vidrio modernos los gases se depuran con solventes y precipitadores electrostáticos o filtros de tela.

Se conocen muy pocos estudios y los realizados vienen de Alemania donde en general el control de la contaminación es muy bueno, por lo que es posible que donde las normas de control de la contaminación sean más laxas las emisiones sean más elevadas. La falta de control sobre los combustibles utilizados, sobre la limpieza de los vidrios reciclados o sobre la contaminación puede dar lugar a emisiones mucho más elevadas.

Se seleccionaron las siguientes clases de factores de emisión:

Cuadro 41: Factores de emisión de la producción de vidrio

| Clasificación | Factores de emisión – µg de EQT/t de producto | | | | |
|---|---|------|--------|-----------|----------|
| | Atmósfera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| 1. Ciclón/sin control del polvo | 0,2 | NA | ND | ND | ND |
| 2. Producción de vidrio con retención del polvo | 0,015 | NA | ND | ND | ND |

6.4.4.1 *Liberaciones a la atmósfera*

Las pruebas realizadas en Alemania en tres hornos de producción de vidrio han dado bajas concentraciones de PCDD/PCDF (SCEP 1994). Las plantas estudiadas contaban con sistemas de adsorción en seco o de depuración húmeda o con precipitadores electrostáticos. Los

factores de emisión de las dos plantas fueron de 0,005 y 0,022 μg de EQT/t de producto, mientras que en la tercera se hallaron concentraciones unas 8 veces más elevadas, pero no pudo calcularse un factor de emisión.

Se aplicará un factor de emisión de 0,015 μg de EQT/t de producto a plantas con sistemas de control de la contaminación y con un control cuidadoso de la combustión y de los materiales de alimentación del horno.

Se aplicará un factor de emisión de 0,2 μg de EQT/t de producto cuando no se use ningún tipo de depuración de gases y los controles de las plantas puedan ser menos rigurosos.

6.4.4.2 *Liberaciones al agua*

Pueden producirse liberaciones al agua cuando se utilicen depuradores húmedos. No hay información suficiente para aplicar un factor de emisión a estos casos. Se tomará nota de la presencia y procedencia de los efluentes.

6.4.4.3 *Liberaciones a la tierra*

No se espera ninguna liberación a la tierra.

6.4.4.4 *Liberaciones con productos*

Es de suponer que las liberaciones de PCDD/PCDF con los productos del vidrio sean muy bajas dadas las elevadas temperaturas del procesado.

6.4.4.5 *Liberaciones con residuos*

En los residuos procedentes de los sistemas de depuración del gas utilizados para la fabricación de vidrio pueden hallarse PCDD/PCDF, pero no se dispone de la información necesaria para estimar un factor de emisión.

6.4.5 Producción de cerámica

No se dispone de información suficiente para poder señalar la producción de cerámica como fuente de contaminación por PCDD/PCDF. Es probable que se liberen PCDD/PCDF a la atmósfera, ya que se trata de un proceso térmico. Se propone que como estimación se apliquen los factores de emisión que acaban de exponerse con respecto a la fabricación de ladrillos.

6.4.6 Mezclado del asfalto

El asfalto se utiliza para la construcción de carreteras y en general está constituido por fragmentos de piedras, arena, materiales de relleno, todo ello aglomerado con alquitrán. Entre el material de relleno puede haber cenizas volantes procedentes de la incineración o de

centrales de energía.

La primera fase del proceso suele realizarse en una unidad para el secado por aire de los minerales. A continuación, los minerales en caliente se mezclan con el alquitrán, también caliente, obteniéndose el asfalto.

Las plantas mezcladoras de asfalto en países industrializados suelen tener sistemas de depuración de gases consistentes en filtros de tela o dispositivos de control en húmedo del polvo.

Se han establecido las siguientes clases de factores de emisión (cuadro 42):

Cuadro 42: Factores de emisión en el mezclado del asfalto

| Clasificación | Factores de emisión – μg de EQT/t de asfalto | | | | |
|--|---|------|--------|-----------|----------|
| | Atmósfera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| 1. Planta mezcladora sin sistemas de depuración de gas | 0,07 | NA | ND | ND | ND |
| 2. Planta mezcladora con filtro de tela o depurador húmedo | 0,007 | NA | ND | ND | 0,06 |

Los factores de clase 1 corresponden a instalaciones sin sistemas de depuración de gases, mientras que los factores de clase 2 se han de aplicar a las modernas instalaciones de mezclado de asfalto dotadas de filtros de tela o de depuradores húmedos para la limpieza de los gases.

6.4.6.1 Liberaciones a la atmósfera

Se han realizado pruebas en instalaciones de mezclado de asfalto en Alemania (SCEP 1994) y en los Países Bajos (Bremmer et al. 1994). Todas las plantas estudiadas disponían de filtros de tela y algunas utilizaban ciclones para la retención previa del polvo. A estas plantas provistas de este tipo de depuración de gases se les aplicará un factor de emisión medio de 0,007 μg de EQT/t de producto.

Para plantas sin filtros de tela, se aplica un factor de emisión de 0,07 μg de EQT/t de producto (partiendo del supuesto de que los filtros de tela capturarán aproximadamente 90% de los PCDD/PCDF).

Las emisiones pueden ser muy superiores si como parte del asfalto se utilizan materiales contaminados, por ejemplo, podrían producir mayores liberaciones las cenizas volantes procedentes de viejos incineradores. Deberá tomarse nota de todas las situaciones en las que se utilicen este tipo de materiales.

6.4.6.2 Liberaciones al agua

No se espera ninguna liberación al agua. Si se liberan efluentes, se tomará nota de su origen en el proceso.

6.4.6.3 *Liberaciones a la tierra*

Se supone que el asfalto se utiliza sobre el suelo pero no se dispone de datos sobre niveles de PCDD/PCDF en él.

6.4.6.4 *Liberaciones con productos*

En el asfalto puede haber PCDD/PCDF, pero no se sabe en qué concentración. Se espera que el asfalto se utilice sobre el suelo para la construcción de carreteras.

6.4.6.5 *Liberaciones con residuos*

Es lo más probable que los residuos que quedan de la limpieza de gases de salida contengan PCDD/PCDF, aunque se desconoce en qué cantidad. Podría hacerse una estimación inicial suponiendo que se consigue un 90% de captura de PCDD/PCDF en el gas de salida y que el gas bruto contiene la misma cantidad que en el caso de procesos no controlados que dan un factor de emisión de 0,06 µg de EQT/t.

6.5 **Categoría principal 5 – Transportes**

Los combustibles más utilizados para el transporte son la gasolina, el aceite diesel y el gas licuado de petróleo.

6.5.1 Motores de 4 tiempos

La mayor parte de los motores de combustión interna movidos por gasolina que se utilizan actualmente en automóviles, camiones ligeros, motocicletas y otros vehículos son motores de 4 tiempos. Estos motores siguen el ciclo de combustión termodinámica inventado por Nicolaus Otto, que se divide en 4 tiempos, absorción, compresión, encendido y combustión, y después se produce la salida. Esos cuatro tiempos se desarrollan a lo largo de dos revoluciones completas del cigüeñal. Como en todos los procesos de combustión, los motores de combustión interna producen PCDD/PCDF como producto secundario indeseado. Las emisiones más elevadas se han asociado a los limpiadores clorados que se utilizan en la gasolina con plomo. Pero cuando se utiliza la gasolina sin plomo y se instala un convertidor catalítico que retenga los NO_x y los hidrocarburos no quemados, las emisiones de PCDD/PCDF son insignificantes. El único vector para la liberación es la atmósfera. No hay liberaciones a ningún otro vector. Por consiguiente, se han establecido factores de emisión por defecto para las siguientes categorías (cuadro 43):

Cuadro 43: Factores de emisión de motores de 4 tiempos (automóviles de turismo)

| Clasificación | Factores de emisión – µg de EQT/t de combustible quemado | | | | |
|--|--|------|--------|-----------|----------|
| | Atmósfera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| 1. Combustible con plomo ¹⁴ | 2,2 | NA | NA | NA | NA |
| 2. Combustible sin plomo sin catalizador ¹⁴ | 0,1 | NA | NA | NA | NA |
| 3. Combustible con plomo con catalizador ¹⁴ | 0 | NA | NA | NA | NA |

Las emisiones varían a lo largo de las distintas fases, por ejemplo el arranque o el calentamiento del motor. En las cifras expuestas se parte de una situación de estabilidad.

6.5.1.1 Liberaciones a la atmósfera

El número de kilómetros que se recorre cada año, el tipo de vehículo y su mantenimiento difieren entre unos países y otros. El consumo de combustibles con plomo ha disminuido espectacularmente en Europa, Japón y Norteamérica como resultado de la legislación, pero en otros países sigue utilizándose el combustible con plomo. El abandono de la gasolina con plomo y la adopción de convertidores catalíticos, como requiere la Directriz europea 94/12/EG o leyes similares de los Estados Unidos o Japón, significará que los motores de gasolina de 4 tiempos llegarán a ser una fuente casi insignificante de liberación de PCDD/PCDF a la atmósfera.

Los factores de emisión se han basado en un estudio hecho en Alemania y Bélgica. Otros países, por ejemplo, de América del Norte y de Asia, tienen muy escasos datos sobre emisiones a partir de vehículos.

6.5.2 Motores de 2 tiempos

La mayor parte de los pequeños motores de gasolina de combustión interna utilizados hoy en día en barcos, esquís autopropulsados, velomotores, motocicletas, triciclos motorizados, pequeños arados, sierras de cadena y otros vehículos son motores de 2 tiempos. Estos motores siguen el mismo ciclo de combustión termodinámica que los de 4 tiempos, pero sólo en 2 tiempos, al combinar los tiempos de salida y de entrada, y los de compresión, encendido y combustión. La diferencia más importante con respecto a los motores de 4 tiempos es que todos los tiempos se desarrollan durante sólo una revolución completa del cigüeñal. En general, la lubricación se produce mediante el aceite que se agrega con el combustible. Por consiguiente, con respecto a los motores de 4 tiempos, éstos pueden liberar mayores cantidades de contaminantes y tener una eficiencia reducida. Sin embargo, por su sencillez y bajo costo de producción, el sistema de 2 tiempos es ideal sobre todo para los pequeños motores. Al igual que sucede con todos los procesos de combustión, el motor de 2 tiempos también produce PCDD/PCDF como producto secundario indeseable. El único vector de

¹⁴ Si los datos de consumo se dan en litros (L), adviértase que un 1 L de gasolina tiene una masa de 0,74 kg; por consiguiente, para convertir litros en toneladas se utilizará un factor de conversión de 0,000074.

liberación es la atmósfera. Ninguno de los demás vectores tiene importancia. Por consiguiente, se han establecido las categorías de factores de emisión por defecto que se muestran en el cuadro 44.

Cuadro 44: Factores de emisión para los motores de 2 tiempos (por ejemplo, pequeños velomotores)

| Clasificación | Factores de emisión – µg de EQT/t de combustible quemado | | | | |
|--|--|------|--------|-----------|----------|
| | Atmósfera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| 1. Combustible con plomo ¹⁴ | 3,5 | NA | NA | NA | NA |
| 2. Combustible sin plomo sin catalizador ¹⁴ | 2,5 | NA | NA | NA | NA |

Las emisiones difieren durante las distintas fases, por ejemplo durante el arranque y el calentamiento del motor. Las cifras expuestas se refieren a una situación de estabilidad. Como el sistema de 2 tiempos se utiliza sobre todo en motores pequeños, casi nunca llevan convertidores catalíticos.

6.5.2.1 Liberaciones a la atmósfera

El número de kilómetros recorrido cada año, el tipo de vehículo y su mantenimiento difieren de unos países a otros. Además, en muchos casos los pequeños motores no están muy bien mantenidos. De ello resultan mayores emisiones de PCDD/PCDF. Es de lamentar que no se disponga de datos que relacionen las emisiones de PCDD/PCDF con la edad y el mantenimiento del motor. Todos los datos utilizados se han obtenido a partir de varios estudios europeos.

6.5.3 Motores diesel

Los motores diesel se utilizan en camiones pesados, camiones ligeros, automóviles de turismo, equipos pesados de construcción, barcos, generadores diesel, bombas y equipos agrícolas, incluidos tractores y otras grandes máquinas. En general, utilizan aceite diesel (aceite ligero) y un ciclo de 4 tiempos. El encendido se hace por compresión, no por chispa. Se lleva el aire al cilindro y allí se comprime. Se agrega el combustible diesel a alta presión y se produce la explosión. De esta forma el combustible se utiliza con mayor eficiencia y son inferiores las emisiones específicas. Pero en cambio el funcionamiento de motores diesel se asocia a emisiones de partículas en forma de ceniza consecutivas a la combustión incompleta, en particular durante el arranque, el calentamiento y los cambios de carga. El depósito de esta ceniza puede conducir a liberaciones con residuos. Es sabido que las partículas emitidas por los motores diesel contienen elevadas concentraciones de hidrocarburos aromáticos policíclicos. En cambio, no se dispone de datos sobre concentraciones de PCDD/PCDF en la ceniza liberada por los motores diesel. Sólo se ha establecido un factor de emisión para motores diesel.

Cuadro 45: Factores de emisión de motores diesel (por ejemplo, camiones)

| Clasificación | Factores de emisión – µg de EQT/t de combustible quemado | | | | |
|------------------------------|--|------|--------|-----------|----------|
| | Atmósfera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| Motores diesel ¹⁵ | 0,5 | NA | NA | NA | ND |

Las emisiones pueden variar durante las distintas fases, como el arranque y el calentamiento del motor. Las presentes estimaciones se han hecho sobre la base de una situación estable.

6.5.3.1 Liberaciones a la atmósfera

Los factores de emisión se basan en estudios alemanes, americanos, belgas, canadienses y suecos. Si se emplean filtros de ceniza eficientes, las emisiones resultantes del consumo de combustibles diesel son insignificantes.

Ante el problema que plantean los camiones pesados movidos por aceite diesel, la EPA de los Estados Unidos se propone exigir que todos estos vehículos lleven filtros de partículas, lo que reducirá las emisiones hasta puntos realmente comparables con las que producen los automóviles de gasolina con convertidor catalítico.

6.5.3.2 Liberaciones con residuos

Lo más probable es que las emisiones de partículas de los motores diesel contengan PCDD/PCDF. Pero no se sabe en qué cantidad y convendría realizar más investigaciones para determinar qué concentraciones de PCDD/PCDF realmente tienen.

6.5.4 Motores de aceite pesado

Los motores de aceite pesado se utilizan en barcos, tanques, generadores de energía estacionarios y otros motores de gran tamaño y casi estacionarios. Se conocen muy mal cuáles son sus factores de emisión. Sobre la base de varios estudios se ha determinado un factor de emisión a la atmósfera.

Cuadro 46: Factores de emisión de motores de aceite pesado (por ejemplo, barcos)

| Clasificación | Factores de emisión – µg de EQT/t de combustible quemado | | | | |
|-----------------|--|------|--------|-----------|----------|
| | Atmósfera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| Todos los tipos | 4 | NA | NA | NA | ND |

Las emisiones difieren en las distintas fases, como el arranque o el calentamiento del motor. Este cálculo se ha basado en una situación estable.

¹⁵ Si los datos sobre consumo se dan en litros (L), obsérvese que 1 L de diesel tiene una masa de 0,85 kg; por consiguiente, para convertir litros en toneladas se utilizará un factor de conversión de 0,000085.

6.5.4.1 Liberaciones a la atmósfera

Los motores de aceite pesado emiten PCDD/PCDF a la atmósfera, si bien es de lamentar que se dispone de muy escasos datos procedentes de mediciones aisladas realizadas en Europa y Norteamérica. Estudios realizados en Canadá, Estados Unidos, Países Bajos y Suecia comunican normalmente concentraciones de 3 a 6 µg de EQT por tonelada de combustible.

6.5.4.2 Liberaciones con residuos

Los residuos de los motores de aceite pesado, en particular el hollín emitido, es lo más probable que contengan PCDD/PCDF. Lamentablemente no se conoce en qué cantidad y será necesario realizar nuevas investigaciones que permitan determinar cuáles son exactamente las concentraciones.

6.6 Categoría principal 6 – Procesos de combustión incontrolados

6.6.1 Quema de biomasa

Esta categoría comprende toda quema de biomasa que se produce a cielo abierto (es decir que queda excluida la combustión controlada en dispositivos como estufas, hornos e instalaciones de caldera). Se incluyen los incendios forestales (deliberados y accidentales), la quema de praderas, y la destrucción por el fuego y en el campo de residuos agrícolas, como la paja.

Se establecieron las siguientes clases de procesos y sus correspondientes factores de emisión (cuadro 47).

Cuadro 47: Factores de emisión para la quema de biomasa

| Clasificación | Factores de emisión – µg de EQT/t de material quemado | | | | |
|--|---|------|--------|-----------|----------|
| | Atmósfera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| 1. Incendios forestales | 5 | ND | 4 | NA | NA |
| 2. Incendios de praderas y brezos | 5 | ND | 4 | NA | NA |
| 3. Quema de residuos agrícolas (en el campo) | 30 | ND | 10 | NA | NA |

Los factores de emisión se expresan por tonelada de material quemado. Dentro de esta categoría de fuente, lo más difícil puede ser calcular la cantidad de material quemado de cualquiera de esas clases.

Los textos dedicados a la agricultura, silvicultura y ordenamiento de la tierra pueden facilitar indicaciones sobre las cantidades de materiales que han podido ser pasto de un incendio en el sector en cuestión. En el Reino Unido se obtuvieron las siguientes cifras:

- Quema de brezos – material consumido en el incendio – 8 toneladas por hectárea.
- Bosques del Reino Unido – material consumido en el incendio – 23 toneladas por hectárea.

Para que sirva de comparación, en Nueva Zelanda (NZ 2000) se comunicaron 10 t/ha de material perdido en incendios forestales, 20 t/ha en incendios de matorral y 2,5 t/ha en incendios de praderas. US-EPA propone una cifra de 23 t/ha para los incendios forestales (EPA 1998). Estos son algunos ejemplos ya que bosques y matorrales varían en gran medida según la situación geográfica de un país.

6.6.1.1 *Liberaciones a la atmósfera*

No se han encontrado datos que den mediciones directas de PCDD/PCDF liberados en incendios forestales. En ausencia de mediciones directas, las emisiones a partir de fuegos domésticos abiertos en los que se quema madera son el proceso más semejante sobre el que se dispone de información. Sólo se dispone de datos limitados en cuanto a la quema de madera en lugares abiertos (la mayor parte de las pruebas se refiere a la quema de madera en estufas cerradas). Es lo más probable que los incendios forestales consuman muy diversos materiales, incluidas ramas, hojas y madera viva y muerta, mientras que la mayor parte de los fuegos sobre los que se han hecho pruebas utilizaban especialmente trozas cortadas y secas, de manera que lo más probable es que las condiciones sean distintas.

Pruebas realizadas en los Países Bajos han dado factores de emisión de 13-28,5 μg de EQT/t (Bremmer et al. 1994), es decir más elevados que los que los autores han encontrado en publicaciones alemanas (0,7-1,2 μg de EQT/t). Estudios realizados en Suiza han dado un factor de emisión de 0,77 μg de EQT/t para una estufa de madera con la puerta abierta, simulando una quema a cielo abierto (Schatowitz et al. 1994).

Mahnke y Krauss (1996) han presentado los resultados de pruebas realizadas con el humo desprendido de la quema a cielo abierto de restos de caña de azúcar en Brasil, habiendo encontrado niveles de PCDD/PCDF elevados en comparación con los observados en zonas urbanas— no se dispone de factores de emisión.

Como estimación inicial para los incendios forestales se propone un factor de emisión de 5 μg de EQT/t.

En cuanto a los incendios de praderas y brezos no se han encontrado estudios que permitan dar factores de emisión. Los fuegos de madera abiertos (como los antes citados) y las pruebas realizadas en quemas a cielo abierto de hojas en Japón (Ikeguchi et al. 1999) se consideran los más representativos y como estimación inicial se propone un factor de emisión de 5 μg de EQT/t.

Diversos residuos agrícolas pueden quemarse en el campo o puede recurrirse a la quema para eliminar desechos. De esta sección se excluyen los materiales quemados para obtener energía (por ejemplo, calefacción), que figuran en la sección 6.3, mientras que ahora se trata de estimar emisiones procedentes de fuegos a cielo abierto, generalmente en el campo. Es difícil realizar mediciones de emisiones resultantes de estas prácticas y no se dispone de datos sobre emisiones de quemas en el campo. Es de suponer que estas emisiones variarán considerablemente según las condiciones en que se quemen los materiales, la naturaleza del cultivo o del residuo (es decir, su composición) y la posible presencia de contaminantes (las emisiones pueden variar mucho en presencia de residuos de agua salda o ante un tratamiento previo con plaguicidas). Las pruebas realizadas con quemas a cielo (Ikeguchi et al. 1999), incluidas pruebas iniciales de emisiones procedentes de hojas, haces de paja y cáscara de arroz, dieron 4,6, 20,2 y 67,4 μg de EQT/t. Como estimación inicial de liberaciones se utiliza

un factor medio de emisión de 30 µg de EQT/t (que es muy poco seguro, por lo que será necesario realizar nuevos estudios).

6.6.1.2 *Liberaciones al agua*

No se esperan liberaciones directas al agua pero sí que la lluvia arrastre residuos que, en parte, puedan entrar en corrientes de agua. Este hecho puede tener gran importancia.

6.6.1.3 *Liberaciones a la tierra*

Es de esperar que haya PCDD/PCDF en residuos que pueden quedar sobre el suelo o incorporarse a su superficie constituyendo una liberación a tierra.

Es de esperar asimismo que haya PCDD/PCDF en las cenizas restantes de los incendios. En ciertos casos estas cenizas se pueden utilizar en agricultura por su contenido mineral. La producción de cenizas a partir de estos fuegos puede variar con las condiciones y naturaleza del material quemado.

Se han realizado algunos estudios sobre concentraciones de PCDD/PCDF en suelos después de incendios a cielo abierto (como se vio en EPA 1998) y, en general, sólo se han encontrado pequeños cambios en las concentraciones de PCDD/PCDF en el suelo. Los estudios realizados sobre presencia de PCDD/PCDF en cenizas y hollín de fuegos abiertos han mostrado muy diversas concentraciones. El contenido en la ceniza de madera suele ser bajo (por comparación con el de desechos o el de carbón). Se propone un factor inicial de emisión de 4 µg de EQT/t de material quemado partiendo de una producción media de ceniza del 2% de la masa incinerada y una concentración en la ceniza de 200 ng de EQT/kg.

No se han encontrado datos sobre liberaciones con residuos procedentes de la combustión de materiales agrícolas en el campo. Como estimación inicial se propone un factor de emisión de 10 µg de EQT/t de material quemado (más elevado que el correspondiente a los incendios forestales o de pradera para reflejar el potencial probablemente más elevado de formación de PCDD/PCDF– véase antes).

6.6.1.4 *Liberaciones con productos*

No se espera ningún producto.

6.6.1.5 *Liberaciones con residuos*

Se supone que los residuos van a liberarse a tierra ya que normalmente se dejan en el lugar.

6.6.2 Quema de desechos e incendios accidentales

Este es un sector muy amplio y escasamente cuantificado. Se incluye la combustión deliberada de materiales de desecho para su eliminación cuando no se utilizan hornos ni dispositivos similares – por ejemplo, quema de desechos domésticos y de otros tipos en

montones y a cielo abierto o quema de desechos en terraplenes – tanto si se trata de incendios deliberados o accidentales, incendios de edificios, y de automóviles y vehículos similares. Se seleccionaron para su estudio las categorías que se muestran en el cuadro 48.

Cuadro 48: Factores de emisión de la quema de desechos e incendios accidentales

| Clasificación | Factores de emisión – µg de EQT/t de material quemado | | | | |
|---|---|------|----------------|-----------|-----------------------|
| | Atmósfera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| 1. Incendios de terraplenes | 1000 | ND | NA | NA | ND |
| 2. Incendios accidentales de viviendas, fábricas | 400 | ND | Véase residuos | NA | 400 |
| 3. Quema no controlada de desechos domésticos | 300 | ND | Véase residuos | NA | 600 |
| 4. Incendios accidentales de vehículos | 94 (por incidente) | ND | Véase residuos | NA | 18 (por incidente) |
| 5. Quema de madera a cielo abierto (construcción/derribo) | 60 | ND | ND | NA | 10 |

Por quema no controlada de desechos domésticos se entenderán todos los casos en los que se queman desechos sin ningún tipo de control de contaminación y, por consiguiente, incluye todas las quemas en cielo abierto en montones, pilones o cocinas abiertas. La quema de desechos en terraplenes se considera como una categoría aparte. Para esta práctica se puede deducir una estimación de la cantidad de dioxina restante en los residuos sólidos y se expresa en términos de dioxina por unidad de desecho quemada.

Los incendios accidentales son muy variables y las emisiones dependerán en gran parte de los materiales que se quemen y la naturaleza del incendio. Se dispone de escasa información sobre emisiones a partir de estos incendios y se da una sola cifra indicadora que ha de incluir todos los incendios accidentales, excluidos los de vehículos. En los residuos existirán PCDD/PCDF que se pueden eliminar o que se pueden dejar sobre el terreno.

Los incendios de sustancias químicas pueden provocar elevadísimas liberaciones que pueden contener determinadas sustancias químicas precursoras, pero no hay información suficiente para evaluar liberaciones a partir de incendios de sustancias químicas como categoría particular y, por consiguiente, se parte del supuesto de que las liberaciones ya se han tomado en consideración como resultantes de incendios accidentales. Se ha de advertir que determinados casos concretos podrían provocar contaminaciones locales y posibles “puntos calientes”.

Los incendios de vehículos pueden liberar PCDD/PCDF, y a partir de los limitados datos disponibles se dan los factores de emisión que se han presentado. Los vehículos en cuestión pueden ser muy diversos y se puede suponer que lo mismo sucederá con las emisiones. Las cifras que aquí se exponen constituyen sólo estimaciones iniciales.

En algunos países se utilizan cantidades considerables de lana en la construcción y esta lana se quema en el momento del derribo. Se dan factores de emisión para estos casos.

6.6.2.1 *Liberaciones a la atmósfera*

En los Estados Unidos, mediante pruebas en las que se quemaban desechos domésticos en un bidón (EPA 1997, Gullett et al. 1999), se han medido las emisiones a la atmósfera resultantes de la incineración de desechos domésticos y similares en condiciones incontroladas. Las emisiones parecían variar considerablemente según las condiciones de la combustión (muy variables) y la composición de los desechos, desde menos de 10 µg de EQT/t de desechos hasta más de 4.000 µg de EQT/t. Para la quema a cielo abierto aquí se utiliza un valor de 300 µg de EQT/t para la gran diversidad de desechos que pueden quemarse, incluyendo artículos como desechos domésticos peligrosos y sustancias químicas.

Son relativamente pocos los estudios realizados sobre liberaciones de PCDD/PCDF a partir de incendios de terraplén. A estos incendios se les han atribuido elevados niveles de PCDD/PCDF, lo cual es de esperar dadas las malas condiciones de combustión y lo mezclado de los desechos. Se aplica un factor de emisión de 1.000 µg de EQT/t (basado en un trabajo sueco comunicado por EPA 1998).

Los materiales que arden y las condiciones en que se desarrollan los incendios accidentales varían enormemente. En cuanto a las emisiones de esos incendios se dispone de datos limitados. Es difícil medir esas emisiones y los estudios realizados tienden a basarse en simulaciones en el laboratorio o a medir hollín y residuos restantes tras el incendio. Los factores de emisión que aquí se establecen son indicativos ya que es necesario estudiar más a fondo todos los tipos de incendio de manera que puedan afinarse las estimaciones de liberaciones. Algunos estudios se han ocupado de las emisiones a partir de la quema de PVC solamente y, basándose en la producción de hollín, han dado factores de emisión de 40 a 3.500 µg de EQT/t (basándose en un resumen por Carroll 1996). Estos factores se basaban en resultados obtenidos en el laboratorio y en muestras de verdaderos incendios y partían del supuesto de que un 20% del PVC queda sin quemar y que todas las emisiones a la atmósfera son transportadas por el hollín. Merk et al. (1995) quemaron madera y PVC en una habitación cerrada y midieron los niveles de PCDD/PCDF en la atmósfera/gas de salida de la habitación, así como en muestras de frotis tomados de las paredes. Suponiendo que todo el aire de la habitación se encontraba contaminado con las concentraciones medidas, se obtuvo un factor de emisión de 560 µg de EQT/t de PVC o de 51 µg de EQT/t de mezcla de madera/PVC. Se partió además del principio de que a esto se agrega el hollín depositado, con lo cual se alcanzaron 2.200 µg de EQT/t de PVC o de 200 µg de EQT/t PVC/madera. Ikeguchi et al. (1999) dieron para las quemas a cielo abierto de diversos desechos factores de emisión de 220 µg de EQT/t para neumáticos desechados, 1.000 µg de EQT/t para tubos de cables eléctricos y de 6.600 µg de EQT/t para plásticos agrícolas (PVC). Pruebas realizadas en Dinamarca sobre liberaciones de PCDD/PCDF a partir de la quema de sustancias químicas (Vikelsee y Johansen 2000) dieron una enorme diversidad de factores de emisión (a 500 °C), desde 1 µg de EQT/t para el diclorobenilo hasta 740.000 µg de EQT/t para el pentaclorofenol (PCP), mientras que el PVC dio en estas pruebas 100 µg de EQT/t. A 900 °C esas cifras se redujeron en gran medida. Después de revisar datos sobre factores de emisión de incendios accidentales residenciales, en Alemania (LUA 1997) se dieron las siguientes cifras: 83 µg de EQT/t a la atmósfera y 83 µg de EQT/t en la ceniza depositada en el lugar, mientras que para los incendios industriales las cifras correspondientes fueron de 500 µg de EQT/t a la atmósfera y de 500 µg de EQT/t en las cenizas depositadas localmente.

Dada la gran diversidad de los materiales consumidos en los incendios accidentales y los muy distintos factores de emisión posibles, se puede hacer una estimación inicial aplicando a los incendios accidentales un factor de emisión de 400 μg de EQT/t.

Son pocos los estudios realizados sobre liberación de PCDD/PCDF en incendios de vehículos. En un túnel se han realizado pruebas con un viejo coche (1974), uno nuevo (1988), un vagón de metro y un vagón de ferrocarril (Wichmann et al. 1995). Las emisiones a la atmósfera se calcularon a partir de los PCDD/PCDF depositados en el interior del túnel y no se hizo una estimación de los PCDD/PCDF que podrían no haberse depositado. Se obtuvieron factores de emisión de 32 μg de EQT para el coche viejo, 44 EQT μg para el nuevo, 2.000 μg de EQT para el vagón de metro y 9.200 μg de EQT para el de ferrocarril. Para la preparación de una estimación inicial se tomó un factor de emisión compuesto suponiendo que 49,5% de los incendios de vehículos afectan coches viejos, 59,5% a coches nuevos y 0,5% a vehículos que pueden ser vagones de metro o vagones de ferrocarril, con lo que se llegó a un factor de 94 μg de EQT por incidente (Nota: este factor de emisión se refiere a cada incidente y no a tonelada de material).

Es relativamente frecuente ver que se recurre al fuego para eliminar desechos procedentes de la construcción y los derribos, quemándose sobre todo lana pero también otros materiales. Tampoco se dispone de información suficiente sobre cantidades quemadas o emisiones. Recurriendo a estudios realizados en Japón se ha hecho una estimación inicial de un factor de emisión que podría ser aplicable: 60 μg de EQT/t (Ikeguchi et al. 1999).

6.6.2.2 *Liberaciones al agua*

Es poca la información existente acerca de las liberaciones de PCDD/PCDF al agua resultantes de estos tipos de fuegos. Las liberaciones variarán considerablemente, pero las más elevadas pueden ser las consecutivas al uso de agua para extinguir el incendio o a la lluvia que caiga sobre el lugar, y al arrastre de material a las corrientes de agua. Como estos procesos dependerán de las circunstancias locales, no se pueden dar factores de emisión por muy importante que pueda ser el hacerlo.

6.6.2.3 *Liberaciones a la tierra*

En muchos de los incendios considerados se producirán liberaciones a tierra ya que los residuos de fuego quedan en su lugar, sobre el suelo.

6.6.2.4 *Liberaciones con productos*

Estos procesos no dan ningún producto y, por consiguiente, no hay liberaciones por esa vía.

6.6.2.5 *Liberaciones con residuos*

Las liberaciones a partir de todos los tipos de fuegos considerados en esta sección es lo más probable que contengan PCDD/PCDF. Las cantidades variarán según las condiciones del fuego y la naturaleza de los materiales. Los residuos pueden quedar en el lugar o ser retirados.

Basándose en los resultados de quemas en bidones realizadas en los Estados Unidos se ha utilizado un factor indicativo de emisión de 600 µg de EQT/t de material aplicable a la quema al aire libre de desechos domésticos (Lemieux et al. 1997).

También se dispone de poca información acerca de los niveles de PCDD/PCDF en residuos. Se han podido medir muy diversas concentraciones pero con frecuencia la información existente no basta para estimar un factor de emisión, ya que no se conocen las cantidades de ceniza producidas. Una estimación hecha en Alemania dio factores de emisión en residuos (incluyendo el hollín depositado) de 1.000 µg de EQT/t para los incendios industriales y de 350 µg de EQT/t para los residenciales (LUA 1997). Como aproximación y con el fin de dar una estimación inicial, basándose en un promedio de los incendios estudiados, se utilizó un factor de emisión de 400 µg de EQT/t, lo que daba las mismas cantidades de PCDD/PCDF en las emisiones a la atmósfera y con los residuos.

En cuanto a los incendios de vehículos, las limitadas pruebas realizadas en Alemania (Wichmann et al. 1995) han dado ciertas cantidades de PCDD/PCDF en los residuos y se ha utilizado un factor de emisión compuesto para realizar una estimación inicial: 18 µg de EQT por incidente (utilizando siempre los mismos supuestos). Adviértase que este factor de emisión corresponde a un incidente, no a una unidad de masa.

Para los fuegos de madera de construcción y demolición no se han encontrado factores de emisión. Para una estimación preliminar se propone un factor de emisión de 10 µg de EQT/t de madera quemada (tomado de trabajos realizados en el Reino Unido sobre combustión industrial de madera, Dyke et al. 1997). Debe señalarse que si la madera ha sido tratada, si se han quemado materiales mezclados y eso en malas condiciones, las cantidades de PCDD/PCDF en los residuos pueden aumentar considerablemente.

6.7 Categoría principal 7 – Producción y uso de sustancias químicas y bienes de consumo

En esta sección 6.7 se describen las posibilidades que tiene el sector de producción de sustancias químicas y bienes de consumo de generar dioxinas y furanos, y expone los hallazgos hechos a partir de datos medidos y de información sobre características para estimar/cuantificar las liberaciones de PCDD/PCDF a partir de las diversas actividades de este sector. Además, la sección hace breves descripciones de los procesos que aquí interesan con miras a que se conozcan mejor esos sectores industriales. Así se comprenderá mejor la relación que existe entre los procesos industriales y las consiguientes liberaciones, relacionadas o no con dioxinas y furanos. Para más detalles será preciso consultar publicaciones e informaciones más especializadas.

Como puede verse en el cuadro 49, existen cinco subcategorías principales. Puede verse asimismo que las liberaciones de PCDD/PCDF pueden hacerse por diversas vías de las que resultará la contaminación de la atmósfera, del agua y del suelo, o con los productos. Además, también los residuos pueden estar contaminados por dioxinas y furanos. En todas las actividades incluidas en este sector las emisiones se hacen fundamentalmente a la atmósfera, aunque también a otros compartimientos.

Cuadro 49: Producción y uso de sustancias químicas y bienes de consumo: panorámica de las subcategorías con sus posibilidades de generar y/o liberar PCDD/PCDF y principales vectores de la liberación

| 7 | Categorías y subcategorías | Atmósfera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
|---|---|-----------|------|--------|-----------|----------|
| a | Fábricas de pasta y papel | x | x | | x | x |
| b | Industria química (clorofenoles, orgánicos halogenados, producción de Cl ₂ , procesos de oxiclорación) | x | X | (x) | x | X |
| c | Industria del petróleo (refinerías) | x | | | | x |
| d | Plantas textiles | | x | | X | |
| e | Plantas de cuero | | x | | x | |

6.7.1 Fábricas de pasta y papel

En términos generales, el papel consiste en una lámina de fibras a la que se agregan varios productos químicos que le dan sus propiedades y calidad. Además de las fibras y de los productos químicos, la fabricación de la pasta y el papel requiere grandes cantidades de agua y de energía para el procesado (en forma de vapor y electricidad).

La pasta destinada a la fabricación del papel puede producirse con fibra virgen por medios químicos o mecánicos o se puede fabricar a base de volver a trabajar la pasta de papel recuperado. La fábrica de papel puede utilizar pasta fabricada en otro lugar (= fábricas de pasta no integradas) o puede estar integrada con las operaciones de fabricación de pasta en el mismo lugar (= fábricas de pasta integradas). Las fábricas de pasta Kraft pueden ser no integradas o integradas, mientras que las fábricas de pasta al sulfito se encuentran normalmente integradas con la producción de papel. El procesamiento mecánico de la pasta y de la fibra reciclada suele formar parte integrante de la fabricación de papel pero en algunos casos ha llegado a ser una actividad independiente.

El sector de la fabricación de la pasta y el papel es muy complejo ya que consiste en numerosos procesos con diferentes fases y distintos productos. A efectos del Instrumental y dado que existen parámetros comunes, por ejemplo, las materias primas, los procesos pueden descomponerse en varias clases.

La producción de pasta es la principal fuente de impactos ambientales que causa la industria de la pasta y el papel. En general, el proceso de fabricación de papel y cartón¹⁶ consiste en tres etapas: fabricación de la pasta, procesamiento de la pasta, y fabricación del papel/cartón.

Las liberaciones de PCDD y PCDF de las fábricas de pasta y papel pueden producirse mediante los siguientes vectores:

- Emisiones a la atmósfera (de la cremación de lignito y licor negro para producir energía);
- Emisiones a la atmósfera de la quema de madera o corteza para generar energía;
- Emisiones con el agua de procesamiento (las fábricas de pasta modernas funcionan sin dejar ningún efluente);
- Emisiones con el lodo de la pasta, que se puede aplicar al suelo, incinerar o verter en terraplenes;

¹⁶ El cartón tiene más de 0,3 mm de grosor.

- Emisiones con productos (= pasta, papel), que pasan al mercado como productos valiosos.

Fabricación de pulpa

Durante el proceso de fabricación de pulpa las fibras de celulosa se separan de los lignitos que contiene la madera, operación que se conoce como deslignificación. Se utilizan sobre todo maderas duras y blandas, pero también pueden convertirse en pasta otros materiales como nueces de coco, bambú, papiro, paja, etc. Para conseguir la pulpa pueden emplearse medios mecánicos o químicos.

En la **fabricación mecánica de pulpa** las fibras de la madera se preparan aplicando una energía mecánica a la matriz, por ejemplo, se presionan las trozas contra una muela rotatoria al tiempo que se deja caer agua o se desfibrizan recortes de madera entre refinadores de disco. Si se agregan sustancias químicas para el pretratamiento de los fragmentos de madera, el proceso se denomina de fabricación químico-termo-mecánica de pulpa. Para obtener papeles de mejor calidad, la pulpa deberá deslignificarse o blanquearse. Para ello se emplean dos procedimientos:

a) el proceso con sulfito

Se utiliza un licor ácido de cocción que se basa en una solución acuosa de dióxido de azufre (SO_2) y una base, como calcio¹⁷, sodio¹⁸, magnesio¹⁷ o amonio. La importancia de este procedimiento ha ido disminuyendo a lo largo de los años y hoy en día sólo un 10 % de la producción mundial de pasta se hace por este método. El proceso de sulfito requiere fibras de gran calidad, mientras que los productos tienen una resistencia a la tracción más bien baja. Se utiliza con más frecuencia para la madera blanda.

b) el proceso Kraft o de sulfato

Este procedimiento, basado en el uso de un licor de cocción alcalino, es el más utilizado en el mundo entero (80% de la producción mundial de pulpa). Se puede aplicar a todos los tipos de maderas/fibras y da una celulosa de elevada resistencia a la tracción. El proceso Kraft utiliza una solución alcalina de base sódica (licor) constituida por sulfuro sódico (Na_2S) e hidróxido sódico (NaOH) en solución al 10%. Las sustancias químicas de pulpación que no han reaccionado (= licor negro) se recuperan para producir el licor blanco que se usa en la primera operación de fabricación de pulpa.

Blanqueo

Para eliminar el color que produce el lignito residual, la pulpa se blanquea siguiendo de tres a cinco etapas en las que se alternan condiciones ácidas y alcalinas.

Los productos químicos más frecuentemente utilizados son cloro, hipocloruro, dióxido de cloro, oxígeno, ozono y peróxido. Recientemente se ha lanzado al comercio como sustancia química blanqueante el ácido peracético. La sustitución cada vez más frecuente del dióxido de cloro permite reducir la formación de sustancias aromáticas cloradas, con lo que se evita la formación de PCDD/PCDF. Para el blanqueo existen cuatro métodos fundamentales:

¹⁷ Más baratos, pero las sustancias químicas de cocción no pueden recuperarse (obsoleto en Europa).

¹⁸ Es el procedimiento más utilizado en Europa; se pueden recuperar las sustancias químicas.

1. Blanqueo con cloro elemento

Se basa en el uso de cloro (Cl_2) y de hipoclorito para aclarar la pulpa. Cuando el cloro elemento y el hipoclorito reaccionan con el lignito se forman compuestos clorados, incluidos PCDD/PCDF.

2. Blanqueo con cloro elemento libre

El blanqueo con cloro elemento libre está constituido por una sucesión de operaciones en las que habitualmente se utiliza dióxido de cloro (ClO_2) como principal agente blanqueador. Ya no se utiliza el cloro elemento (gas cloro, Cl_2 , o también hipoclorito). El blanqueo con cloro elemento libre permite reducir los niveles de PCDD/PCDF. En octubre de 1998, el 54% del mercado mundial estaba abastecido de pulpa blanqueada con cloro elemento libre.

3. Blanqueo totalmente libre de cloro (TLC)

La pasta se blanquea sin utilizar ningún agente clorado, recurriéndose en cambio al oxígeno (O_2), al peróxido (H_2O_2) o al ácido peracético. Los efluentes están casi totalmente exentos de cloro. En octubre de 1998 la pasta producida por este método abastecía el 6% del mercado mundial.

4. Blanqueado de pastas mecánicas

El blanqueado de la pasta mecánica es completamente distinto del de la química, pues se basa en métodos de retención de lignito en lugar de dirigidos a suprimirlo. El efecto no es permanente y con el tiempo el papel amarillea. La operación de retención del lignito se desarrolla en una o dos etapas, utilizando ditionito sódico ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$), peróxido (H_2O_2) o una combinación de los dos.

Fabricación de papel

Papel de fibra primaria: Todas las máquinas de fabricar papel y cartón utilizan el mismo proceso básico, según el cual un 99% de la solución acuosa de fibras y productos químicos se deshidrata mecánicamente mediante una prensa y por último pasa a través de una serie de cilindros a una temperatura ligeramente superior a 100 °C. Al final, el papel se satina pasando por pares de rulos calientes (calandrias o calandrias suaves) y se enrolla en el rulo original.

Papel reciclado: La fabricación de pasta de fibras secundarias se realiza de acuerdo con un proceso relativamente sencillo que utiliza sustancias químicas como el NaOH. El procesamiento de la fibra reciclada se hace o bien mediante una limpieza exclusivamente mecánica (es decir sin ningún tipo de destintado), o bien mediante procesos de limpieza mecánica y destintado. El papel de recuperación se disuelve en agua caliente separado de impurezas ajenas a la fibra y progresivamente se va limpiando hasta obtener la pasta. Para ciertos usos, por ejemplo papel gráfico, la pasta se destinta con el fin de aumentar su blancura y pureza.

Sistemas de recuperación química

El proceso de recuperación química Kraft no ha variado mucho desde 1884. El licor negro diluido residual se concentra por evaporación para formar un licor negro concentrado, que se quema en una caldera de recuperación para obtener energía y los productos químicos del procesamiento se extraen de la mezcla fundidos. A las calderas de recuperación se les puede añadir calderas alimentadas por combustibles fósiles o por desechos de la madera (combustibles a base de desperdicios) cubriéndose así la demanda de energía de la planta. Las emisiones a partir de esas calderas pueden liberar PCDD y PCDF.

Para el Instrumental se sigue el método común y de comunicación de datos relativos a la pasta basándose en toneladas de sustancia secada por el aire (tSA), que se refiere a una pasta desecada al 90% y 900 kg de pasta absolutamente seca. En cuanto al papel, se toma como base el papel acabado en el grado de deshidratación resultante, que normalmente es de 94-96%.

Los factores de emisión aplicables a la industria de la pasta y el papel se elegirán según muestra en el cuadro 50 y en el cuadro 52.

Cuadro 50: Factores de emisión de la industria de la pasta y el papel: calderas

| | Factor de emisión | |
|---|--------------------------------------|-----------------------------------|
| | µg de EQT/t de material Atmósfera | µg de EQT/t de ceniza Residuos |
| 1. Calderas de licor negro, quema de lodos y madera | 0,07 | 1.000 |
| 2. Calderas de cortezas solamente | 0,4 | 1.000 |

Las emisiones anuales con los efluentes de aguas de desecho y lodos de pasta y papel (= residuos) se calcularán multiplicando la concentración en el efluente (en pg de EQT/L) o la concentración en el lodo (en µg de EQT/t de materia seca) por la descarga anual o el volumen de producción, respectivamente. Para facilitar el cálculo de las liberaciones, en los cuadros se dan valores típicos en términos de µg de EQT/tSA junto con concentraciones típicas en efluentes y sólidos, que pueden utilizarse si no se dispone de datos sobre flujo de masa. En el cuadro 51 pueden verse las concentraciones de PCDD/PCDF en las distintas clases. Estos factores de emisión parten del supuesto de que todas las plantas disponen de instalaciones de tratamiento de efluentes que producen lodos y efluentes con escasos sólidos suspendidos.

Cuadro 51: Factores de emisión para efluentes y lodos de pasta y papel

| Clasificación | Factores de emisión | | | |
|--|---------------------|-------------|------------------|----------------------|
| | Agua | | Residuos = Lodos | |
| | µg de EQT/tSA | pg de EQT/L | µg de EQT/tSA | µg de EQT/t en lodos |
| 1. Proceso Kraft, tecnología antigua (Cl ₂) | 4,50 | 70 | 4,5 | 100 |
| 2. Proceso Kraft, tecnología moderna (ClO ₂) | 0,06 | 2 | 0,2 | 10 |
| 3. Pasta termomecánica | ND | ND | ND | ND |
| 4. Pasta reciclada | ND | ND | ND | ND |

Cuadro 52: Factores de emisión de productos de pasta y papel

| Clasificación | Factores de emisión µg de EQT/t de producto |
|--|--|
| 1. Pasta y papel Kraft de fibras primarias, blanqueo sin cloro | 8 |
| 2. Papeles de sulfito, tecnología antigua (sin cloro) | 1 |
| 3. Papeles Kraft, nueva tecnología (ClO ₂ , sin nada de cloro), papel no blanqueado | 0,5 |
| 4. Papeles de sulfito, nueva tecnología (ClO ₂ , sin nada de cloro) | 0,1 |
| 5. Papel reciclado | 10 |

6.7.1.1 Liberaciones a la atmósfera

Las principales emisiones a la atmósfera producidas por las fábricas de pasta y papel tienen su origen en la generación de energía y no en el proceso fabril propiamente dicho.

Las fábricas de pasta y papel queman lignito (del propio proceso de producción de pasta) para la generación de la energía que utiliza la fábrica. Además, en las calderas pueden quemarse recortes residuales de madera, recortes de cortezas, etc. Tanto para las fábricas de papel de sulfito como Kraft, los volúmenes medios son de 6.000-9.000 m³/t de pasta y las concentraciones de unos 0,41 ng de EQT-I/m³ (límites: 0,036-1,4 ng de EQT-I/m³) (CEPA-FPAC 1999). Las emisiones más elevadas se basan en mediciones hechas en zonas costeras de Columbia Británica, donde las fábricas de pasta utilizan madera cargada de sal.

La industria de la pasta y del papel utiliza calderas de licor Kraft para quemar el licor negro concentrado. La mayor parte de ellas están provistas de algún dispositivo sencillo de depuración de los gases de salida, por ejemplo, ciclones, depuradores húmedos o precipitadores electrostáticos (PES). Las concentraciones medias se sitúan entre 0,004 y 0,008 ng de EQT-I/m³ (CEPA-FPAC 1999). Para el Instrumental se utilizará un factor de emisión de 0,007 µg de EQT/t de licor negro, tal como ha sido determinado por el NCASI y utilizado en su reevaluación por la US-EPA (US-EPA 2000, Volume 2, 5-26).

Para fábricas de pasta que queman lodos y residuos de madera en calderas con madera (calderas con PES), la US-EPA (1998) ha notificado emisiones entre 0,0004 y 0,118 µg de EQT-I/t de lodos o de madera, respectivamente. El factor de emisión por defecto para la quema de lodos o residuos de madera en fábricas de pasta es de 0,06 µg de EQT/t de materiales de alimentación (es decir, lodos o residuos de madera). No se establecerán

diferencias entre las distintas tecnologías, por ejemplo, entre los dispositivos de depuración de gases de salida.

Las fábricas de pasta Kraft disponen de hornos de cal que vuelven a quemar el carbonato cálcico que se forma durante el proceso de recaustificación. El horno rotatorio trabaja a temperaturas de 800 °C cuando comienza la reacción de calcinación y a 1.000-1.100 °C para completar la reacción. El flujo de gas en el horno de cal es de unos 1.000 Nm³/t de pasta. Los factores de emisión utilizables para los hornos de cal pueden verse en la sección 6.4.2.

The factor de emisión por defecto de la quema de madera en las fábricas de pasta será el mismo que se determinó para la quema de madera y que se puede ver en la sección 6.3.

6.7.1.2 *Liberaciones al agua*

La industria de la pasta y el papel es una de las principales consumidoras de agua. Las fábricas de papel sulfito descargan más agua que las de papel Kraft. Una moderna planta de blanqueado descarga de 15 a 20 m³/t de tSA.

En 1988, en los EE.UU., una fábrica típica de pasta y papel utilizaba entre 16.000 y 17.000 galones de agua por tonelada de pasta producida (60-64 m³ de agua/t de pasta); en la Unión Europea el consumo de agua ha variado entre 15 y 100 m³/t. El consumo de agua puede reducirse aumentando la recirculación interna. Normalmente las descargas de aguas de desecho son de 20-40 m³ por tonelada de pasta. Para el Instrumental se utilizará un factor de 30 m³ de agua por tonelada de pasta producida.

Las concentraciones en los efluentes oscilaban entre 3 pg de EQT/L y 210 pg de EQT/L, con una mediana de 73 pg de EQT/L (US-EPA 1998a). El factor de emisión por defecto aplicable a la pasta Kraft blanqueada mediante el procedimiento antiguo es de 4,5 µg de EQT/t de pasta. Otra posibilidad es utilizar la concentración del efluente y multiplicarla por la masa total de agua descargada al año, calculándose así la liberación anual.

El reemplazamiento del Cl₂ en la primera etapa de blanqueo por ClO₂ reduce espectacularmente la formación de 2,3,7,8-Cl₄DD y 2,3,7,8-Cl₄DF (hasta por debajo de los límites de detección de 0,3-0,9 pq/L).

Recientes datos obtenidos y publicados por el NCASI ¹⁹ (1998) en los Estados Unidos, a partir de 20 líneas de blanqueo en 14 fábricas Kraft del país que sustituyen totalmente el cloro por dióxido de cloro, dieron 119 pares de datos sobre 2,3,7,8-Cl₄DD y 2,3,7,8-Cl₄DF en efluentes de fábricas de pasta. Los resultados mostraban que en ninguna de las muestras podía hallarse 2,3,7,8-Cl₄DD en concentraciones superiores a la directriz propuesta de 10 pg/L. El 2,3,7,8-Cl₄DF se detectó en dos muestras en la fase ácida en concentraciones de 15 a 18 pg/L y en la etapa alcalina entre 11 y 18 pg/L.

El factor de emisión por defecto para las liberaciones de fábricas de pasta modernas que utilizan como agentes blanqueadores o bien el dióxido de cloro o bien agentes totalmente exentos de cloro se fijará de forma conservadora en 60 ng de EQT/t de pasta blanqueada. El factor de emisión sólo se aplicará si se produce una descarga directa al medio ambiente. Si se generan lodos, la carga de dioxina se recogerá en los lodos y los efluentes resultantes de la

¹⁹ National Council of the Paper Industry) for Air and Steam Improvement, Inc.

planta de tratamiento de efluentes habrán de tener concentraciones no detectables de PCDD/PCDF.

En efluentes de fábricas de pasta situadas en zonas costeras de Columbia Británica, en Canadá, se han detectado concentraciones especialmente elevadas. Estas fábricas funcionan en condiciones particulares ya que queman trozas saladas y las cenizas se procesan en la planta de tratamiento de efluentes. Deberá señalarse todo caso semejante a éste; por ahora no se puede dar un factor de emisión por defecto que sea aplicable a estas fábricas de pasta.

La fabricación de pasta a partir de madera tratada con pentaclorofenol puede aumentar las concentraciones en el efluente, pero hasta ahora no se ha publicado ningún dato. Deberá notificarse todo uso que la industria de la pasta y el papel haga de PCP o madera tratada con PCP.

En las fábricas mecánicas de pasta y papel (fábricas integradas), en general los sistemas de agua están bastante cerrados de manera que se mantengan las altas temperaturas que requiere el procesado. Por consiguiente, los volúmenes de aguas de desecho son bajos, de 5-10 m³/tSA.

6.7.1.3 *Liberaciones con productos*

Los productos de la industria de la pasta y el papel pueden estar contaminados con PCDD y PCDF. El grado de contaminación depende de la tecnología que se use para el blanqueado. Se han observado elevadas concentraciones de PCDD/PCDF cuando se han aplicado secuencias de blanqueo con cloro elemento. Las tecnologías modernas dan menores concentraciones en los productos. Al reemplazar el Cl₂ por ClO₂ se obtiene una reducción de 2,3,7,8-Cl₄DD y 2,3,7,8-Cl₄DF hasta niveles no detectables. De todas formas, la total eliminación de PCDD/PCDF en los efluentes y productos blanqueados sin cloro elemento es cuestión del número kappa y la pureza del ClO₂. Con números kappa elevados y ClO₂ poco puro (es decir, elevada impureza del Cl₂) las probabilidades de que se forme PCDD/PCDF aumentan.

Las concentraciones en la **pasta** pueden situarse entre 0,6 ng de EQT/kg de pasta y 200 ng de EQT/kg pasta blanqueada (US-EPA 1998a, Table 8-1). Se calcula que las concentraciones medianas con aplicación de la "antigua tecnología" son de 9 ng de EQT/kg de pasta Kraft blanqueada. El factor de emisión por defecto se fija en 10 µg de EQT/t de pasta Kraft blanqueada.

La PTM²⁰ contiene concentraciones próximas a 1 µg de EQT/t de pasta (de Wit 1989). El factor de emisión de la PTM es de 1 µg de EQT/t de pasta.

La pasta de sulfito no blanqueada contiene escasas concentraciones de PCDD/PCDF (0,1 µg de EQT/t de pasta). El factor de emisión para la pasta de sulfito es de 0,1 µg de EQT/t de pasta.

La pasta reciclada tiene un factor de emisión de 4 µg de EQT/t de pasta reciclada.

El reemplazamiento en la primera etapa de blanqueo del Cl₂ por ClO₂ reducirá espectacularmente la formación de 2,3,7,8-Cl₄DD y 2,3,7,8-Cl₄DF hasta 0,1-0,3 pg/g de pasta

²⁰ Pasta técnica mecánica.

blanqueada, lo que corresponde a 0,1-0,3 µg/t de pasta blanqueada.

Deberá vigilarse la evacuación de la ceniza señalando posibles liberaciones al medio ambiente, incluidas (diseminación no controlada en el suelo) o excluidas (terraplén).

Las concentraciones de PCDD/PCDF en **papel** Kraft blanqueado usando cloro libre y los respectivos factores de emisión por defecto son de 5 µg de EQT/t para tejidos destinados a la cosmética, bolsas para la compra y otros papeles de consumo y de 2 µg de EQT/t para papeles de filtro y papel prensa de fibras primarias. Si se utiliza dióxido de cloro o un agente blanqueador totalmente exento de cloro, el factor de emisión será de 0,5 µg de EQT/t.

Los papeles de sulfito fabricados con antiguas tecnologías tienen un factor de emisión de 1 µg de EQT/t de papel. Si se aplica la nueva tecnología, el factor de emisión desciende a 0,1 µg de EQT/t.

El papel no blanqueado tiene un factor de emisión de 0,5 µg de EQT/t.

El papel reciclado tendrá un factor de emisión de 10 µg de EQT/t.

6.7.1.4 *Liberaciones con residuos*

Los principales residuos de las fábricas de pasta y papel, y los más importantes desde el punto de vista de la liberación de dioxina son los lodos de la pasta que deja el tratamiento de las aguas residuales. Por cada tonelada de pasta se producen entre 14 y 140 kg de lodo (US-EPA 1998a). Según informes de la Unión Europea, quedan 30-60 kg de desechos orgánicos por cada tonelada de pasta Kraft blanqueada ²¹. La pasta no blanqueada produce 20-60 kg de sólidos secos por tonelada. Para calcular el factor de emisión, se parte del supuesto de que la producción de una tonelada de pasta genera 50 kg de lodo (materia seca).

El que exista o no un vector en el medio ambiente está determinado por la forma como se manejen los lodos. Entre las prácticas habituales de evacuación figuran los terraplenes y el represamiento en superficie, la aplicación al suelo, el reciclado (composte, lechos para animales) o la incineración.

Las concentraciones en los lodos de la pasta utilizando los antiguos procedimientos de blanqueado se sitúan entre 2 ng de EQT/kg y 370 ng de EQT/kg de materia seca, con una mediana de 93 ng de EQT/kg de materia seca de lodo. El factor de emisión aplicable al lodo de pasta Kraft blanqueada es de 4,5 µg de EQT/t de pasta. También puede utilizarse la concentración de 100 ng de EQT-1/kg de lodo, multiplicándola por la masa total de lodo evacuado por año, con lo que se calcula la liberación anual.

Casi no se hallaron diferencias en las concentraciones de los lodos procedentes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales entre fábricas que utilizaban la deslignificación convencional y las que recurrían a la deslignificación por oxígeno. En el análisis de los lodos se buscaron Cl₄DD y Cl₄DF 2,3,7,8-sustituidos así como los 17 congéneres de PCDD y PCDF 2,3,7,8-sustituidos. Las concentraciones variaban entre 3,8 ng de EQT/kg m.s. y 5,2 ng de EQT/kg m.s. para la deslignificación convencional y 1,8 ng de EQT/kg m.s. a 4,5 ng de

²¹ Además, por cada tonelada de pasta se generan 40-70 kg de desechos inorgánicos.

EQT/kg m.s. para la deslignificación ED o ED/OD.

Con un promedio estimado de 4 ng de EQT/kg m.s., el factor de emisión por defecto aplicable a lodos de pasta resultantes de la moderna tecnología será de 0,2 µg de EQT/t de pasta.

En una fábrica de papel por recuperación, Santl et al. (1994) encontraron entre 24,9 y 44,37 ng de EQT/kg en lodos de destintado. Después del tratamiento de los efluentes, la contaminación en el lodo se redujo a 11,01 ng de EQT-I/kg,

La pasta recuperada y la fabricación de papel, en particular, generan varios desechos con alto contenido de carbono orgánico (por ejemplo, residuos de papel, lodos del destintado, biolodos). Estos desechos pueden evacuarse en terraplenes o incinerarse. En Europa existe un número cada vez mayor de grandes instalaciones que, en el mismo sitio, generan vapor o coinciden los lodos en centrales de potencia. Las emisiones de PCDD/PCDF resultantes de un incinerador aislado dotado de un sistema de inyección de carbón activo o zeolita son muy bajas, del orden de 0,1 ng de EQT-I/m³; también la cocombustión de lodos de pasta en grandes centrales de producción de energía en buen estado de funcionamiento y con combustibles fósiles dieron resultados inferiores a 0,1 ng de EQT-I/m³ (EC-JRC 2000a). Como no se observaron efectos cuando se utilizaron otros combustibles, a la combustión de lodos deberán aplicarse los factores de emisión que se muestran en la sección 6.1.5 o, tratándose de centrales de potencia para la cocombustión de lodos, los de la sección 6.3.1.

Las concentraciones en la ceniza van de 10 a 3.700 ng de EQT-I/kg. Para el Instrumental se utilizará un promedio de 1.000 ng de EQT/kg de ceniza.

6.7.2 Industria química

Históricamente las primeras observaciones de contaminación por dioxinas y furanos correspondían a la fabricación de fenoles clorados y sus derivados. En particular, se observó que plaguicidas como el ácido 2,4,5-triclorofenoxiacético (2,4,5-T) y el pentaclorofenol (PCP) estaban contaminados con PCDD y PCDF. También en los bifenilos policlorados (PCB) se halló una elevada contaminación por PCDF.

PCDD y PCDF se pueden formar en procesos químicos en los que interviene el cloro. Se han identificado como fuentes de PCDD y PCDF los procesos que a continuación se citan según un orden de probabilidades decreciente, de arriba a abajo, de generar PCDD/PCDF:

- Fabricación de fenoles clorados y sus derivados.
- Fabricación de productos aromáticos clorados y sus derivados.
- Fabricación de sustancias químicas alifáticas cloradas.
- Fabricación de catalizadores clorados y sustancias químicas inorgánicas.

En ciertos procesos la formación de PCDD y PCDF está implícita en los procesos de fabricación, por ejemplo, por la cloración directa de fenoles cuando se purifican por destilación o mediante condensación del clorofenato.

Se ha observado que la producción de cloro con sales alcalinas o salmuera utilizando ánodos de grafito da una elevada contaminación de los residuos, sobre todo por PCDF, con menores concentraciones de PCDD. En los lodos de electrólisis se han encontrado concentraciones del

orden de μg de EQT/kg.

En cuanto a los procesos de fabricación química, se favorece la generación de PCDD y PCDF cuando están presentes una o varias de las siguientes condiciones:

- Altas temperaturas ($>150\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- Condiciones alcalinas (especialmente durante la purificación).
- Radiación ultravioleta u otros radicales iniciadores.

En las siguientes subsecciones se mencionan los productos que, según se ha observado, contienen PCDD y PCDF o los procesos cuya fabricación se ha asociado a la formación de PCDD/PCDF.

En todos los casos en los que se han identificado plantas que fabrican las sustancias químicas mencionadas en las siguientes subsecciones, se recomienda que se caracterice el proceso realizado empezando por las materias primas y las condiciones del proceso, siguiendo por las etapas de depuración y terminando por las cantidades y tratamiento de los residuos resultantes del proceso (por ejemplo, qué tipo de tratamiento se aplica a los efluentes, qué cantidad de residuos se produce y adónde se llevan). Facilitará la compilación del inventario la relación de los principales usos y clientes de los productos y todos los datos disponibles sobre los niveles de PCDD/PCDF en productos, residuos y efluentes.

Como el diseño del proceso y el manejo de los efluentes y residuos tienen un efecto tan profundo sobre la formación de PCDD/PCDF y sus posibles liberaciones al medio ambiente, no pueden darse factores de emisión por defecto para los distintos procesos estudiados en esta sección. Cada sección examina las características más destacadas de los procesos de producción química y, cuando es posible, da datos sobre concentraciones halladas en productos. Como método para evaluar liberaciones de la industria química se sugiere la conveniencia de identificar las instalaciones de producción de las sustancias químicas enumeradas, dando detalles acerca de los procesos utilizados, y los métodos de depuración, producción y tratamiento de residuos empleados, así como los productos secundarios resultantes. También es importante saber cuál es el destino de los residuos (terraplén, recuperación de productos secundarios, incineración, etc.). Como muchas de esas sustancias van a utilizarse en preparaciones químicas, éstas deberán también identificarse como usos del correspondiente producto. Se podrá evaluar en términos generales el flujo de PCDD/PCDF en el producto e identificar los puntos de entrada al medio ambiente. También será valiosa toda información que se dé sobre evacuación de materiales tratados con sustancias químicas.

Algunas de las sustancias químicas pueden no haber sido producidas en el mismo país, sino ser importadas como productos finales (es decir, preparaciones) o intermedios. En otros casos, puede tratarse de productos tal vez importados que hayan sido sometidos a tratamiento con alguna de las sustancias químicas (por ejemplo, madera tratada con PCP). Se señalarán las importaciones y si es posible se cuantificarán, tomando nota de sus aplicaciones. Por otra parte, es posible que en un país existan instalaciones en las que algunas de las sustancias químicas enumeradas en esta sección se sintetizan para su exportación (exclusivamente). Mientras que las liberaciones potenciales de PCDD/PCDF que se producen durante la fase de producción se inscribirán en el inventario del país, las liberaciones de PCDD/PCDF asociadas al uso o a la evacuación de esas sustancias deberán figurar en el inventario del país que las reciba.

Liberaciones a la atmósfera

La mayor parte de los estudios realizados en la industria química han mostrado que la fabricación de los productos enumerados sólo produce pequeñas liberaciones de PCDD/PCDF a la atmósfera.

En general, las liberaciones de PCDD/PCDF a la atmósfera van a ser inquietantes en la escala local. Suele ser un problema de exposición profesional/higiene de los trabajadores, diseño del lugar de trabajo y distribución de las ropas protectoras adecuadas – incluyendo tal vez caretas de filtro – a los trabajadores que pudieran verse expuestos.

Mayores liberaciones atmosféricas podrían producirse a partir de sustancias químicas en uso, pero éstas son difíciles de cuantificar y dependerán de las condiciones locales. También pueden producirse liberaciones a la atmósfera por la incineración de residuos procedentes de procesos de producción química. Es lo más probable que estas liberaciones se incluyan como incineración de desechos peligrosos y se tratan en la sección 6.1.2.

Liberaciones al agua

Cuando se descarguen efluentes que no sean reciclados en el curso del proceso pueden producirse liberaciones de PCDD/PCDF al agua y al alcantarillado. Los PCDD/PCDF estarán probablemente ligados con fuerza a materiales sólidos o asociados a fases oleosas de los efluentes. La liberación de PCDD/PCDF dependerá de los procesos utilizados, las cantidades de efluente producidas y el tratamiento de efluentes establecido.

No se pueden dar factores de emisión para las liberaciones al agua ya que éstas dependen de factores específicos del lugar.

Para cada proceso es importante identificar liberaciones de efluentes, señalar en qué punto del proceso se producen, identificar los tratamientos aplicados y tomar nota del lugar adonde se libera el efluente (alcantarillado, río, estanque de sedimentación, etc.). También será interesante dar los datos disponibles sobre la cantidad de efluentes y su composición.

También pueden producirse liberaciones en los puntos donde se utilizan los productos. Cuando se utilice alguno de estos productos probablemente se podrá calcular la cantidad liberada al agua y, por consiguiente, estimar la liberación de PCDD/PCDF. En otros casos será importante tomar nota de las liberaciones al agua consiguientes a la utilización del producto.

Liberaciones a la tierra

Sólo habrá probabilidades de que se produzcan liberaciones de PCDD/PCDF a tierra a partir de procesos de producción cuando residuos de estos procesos se viertan directamente al suelo. No pueden darse factores de emisión y una tal práctica deberá ser señalada dando además toda la información posible sobre la cantidad y procedencia del residuo.

Es posible que haya liberaciones a tierra a partir del uso del producto, sobre todo tratándose de plaguicidas. Si se dispone de buena información sobre el uso de sustancias químicas contaminadas, tal vez se puedan calcular las liberaciones a tierra. En otros casos se tomará nota de posibles liberaciones a tierra y se acopiarán datos sobre los usos del producto.

Liberaciones con productos y en relación con el uso y la evacuación del producto

Se dan datos sobre concentraciones de PCDD/PCDF en los productos (cuando se dispone de ellos) sobre cada una de las sustancias químicas enumeradas en las siguientes secciones. Estos datos pueden combinarse con los de producción y de importación/exportación para estimar el flujo de PCDD/PCDF en el producto.

Las liberaciones desde el producto al medio ambiente dependerán de los usos que se hagan de la sustancia y del destino que se dé a los materiales tratados con ella. Siempre que sea posible se reunirán datos sobre los usos principales, las cantidades utilizadas, la naturaleza de los usos industriales o domésticos, y el manejo y tratamiento de los materiales que han sido tratados.

Liberaciones con residuos

Ciertos residuos de la producción química pueden contener PCDD/PCDF en niveles que dependerán de los procesos utilizados y la depuración aplicada. Existen múltiples corrientes de residuos posibles. Entre las interesantes figurarán los productos secundarios (especialmente los residuos oleosos densos resultantes de la depuración), los lodos del tratamiento de efluentes, etc. Las concentraciones de PCDD/PCDF pueden variar entre el orden del $\mu\text{g}/\text{kg}$ al de mg/kg . No se pueden dar factores generales.

Es útil reunir datos sobre residuos generados en lugares de producción química. También convendrá tomar nota de cómo se tratan y eliminan los residuos.

También pueden quedar residuos de la utilización de productos o preparaciones. Se ha de poder calcular la cantidad de un producto contaminado que termina en un determinado residuo.

6.7.2.1 *Pentaclorofenol (PCP) y pentaclorofenato sódico (PCP-Na)*

El pentaclorofenol (PCP) y el pentaclorofenato sódico (PCP-Na) son plaguicidas y se usan como conservadores, por ejemplo, de la madera (interiores y exteriores), cueros y textiles (incluido algodón y lana). El pentaclorofenol es un hidrocarburo clorado con propiedades insecticidas y fungicidas. Se usa sobre todo para proteger la madera de la podredumbre fúngica y de insectos terebrantes. Los productos de PCP son muy tóxicos para las plantas y se utilizan como defoliantes previos a la recolección y herbicidas generales. Se han comercializado mezclas técnicas que contienen PCP o PCP-Na con numerosos nombres comerciales.

El PCP se utilizaba sobre todo como conservador de la madera, por lo menos hasta los últimos años ochenta. En los Estados Unidos, el 95-98% de la producción de PCP se destina directa o indirectamente al tratamiento de la madera. Datos de Canadá (95%) y de Alemania (61%) confirman que el PCP se utiliza sobre todo como conservador de la madera. Sin embargo, en Alemania en 1983 se han utilizado cantidades considerables de PCP en las industrias textil (13%), del cuero (5%), de los aceites minerales (6%) y de la cola (6%) (OMS 1987).

La sal sódica del pentaclorofenol (PCP-Na) se utiliza fundamentalmente en solución acuosa. Sirve como antifúngico y antibacteriano y tiene aplicaciones en los siguientes sectores:

- conservación de la madera (agente fungicida y contra la decoloración azul),
- impregnación de textiles industriales (fungicida),
- bactericida en las industrias del curtido y de la pasta papelera,
- molusquicida en el tratamiento de aguas industriales, en particular agua de refrigeración,

y a veces también como

- agente esterilizante.

A causa de su toxicidad, el PCP ha sido objeto de varias restricciones en más de treinta países.

El pentaclorofenol contiene peligrosas impurezas entre las que se incluye hasta un 0,1 % de policlorodibenzodioxinas/policlorodibenzofuranos y 1-5 % de fenoxifenoles policlorados. Se emiten PCDD/PCDF cuando productos tratados con PCP quedan expuestos al sol y cuando al final de su vida útil se queman en condiciones inadecuadas. También es fuente de PCDD/PCDF el PCP en el lodo de alcantarilla (EC 1996).

La producción comercial de pentaclorofenol se hace por tres procesos principales (OTAN/DCSM 1991):

El método más frecuentemente empleado consiste en la cloración directa del fenol con gas cloro en presencia de un catalizador. Esta reacción provoca la formación de productos secundarios como hidrógeno, cloruro de hidrógeno y PCDD/PCDF.

Hidrólisis del hexaclorobenzeno con hidróxido sódico. Se forman PCDD/PCDF como productos secundarios indeseables. Este proceso sólo se utiliza en Alemania.

En China, se fabrica el PCP por termólisis del hexaclorociclohexano (HCH) (Wu 1999).

Existen dos procesos para la fabricación de PCP-Na:

- (1) Por hidrólisis del hexaclorobenzeno (HCB) con hidróxido sódico. Se sabe que este proceso se ha aplicado en Alemania hasta 1984 (a partir de entonces, se ha utilizado el método (2) con PCP como material de partida.
- (2) Disolución de PCP en hidróxido sódico. La solución de PCP-Na se filtra y a continuación se concentra.

Normalmente, la contaminación por PCDD/PCDF en el PCP-Na es más baja que en el PCP, ya que el proceso de filtración permite eliminar una parte de ella.

La contaminación de PCP y de PCP-Na con PCDD y PCDF varía desde algunos μg de EQT-I/kg a 1-2 mg de EQT-I/kg, dependiendo del proceso de fabricación y del compuesto. Actualmente muchos países han prohibido el uso del pentaclorofenol y de su sal sódica. En la directiva 91/173/EEC de la Unión Europea se prohíbe la comercialización y el uso del pentaclorofenol y de sus sales y ésteres en concentraciones iguales o superiores a 0,1% por masa en las sustancias y preparaciones ²². En cualquier caso, el PCP utilizado como tal o

²² Aunque se dan cuatro excepciones. Se permite el uso de pentaclorofenol y sus compuestos en instalaciones industriales:

- a) para la conservación de la madera;
- b) para la impregnación de fibras y textiles de alta resistencia;

formando parte de preparaciones habrá de tener un contenido total de Cl₆DD (hexaclorodibenzo-*para*-dioxina) inferior a cuatro partes por millón (4 ppm). Quedan como utilizations principales el tratamiento a alta presión de postes telefónicos, traviesas de ferrocarril y cercas de madera (véase el sector 10, sección 6.10).

Un determinado país puede recibir un flujo considerable de PCP a partir de las importaciones de sustancias químicas y de productos tratados por PCP como madera (también en muebles) o textiles y cuero. Estos flujos pueden ser muy difícilmente detectables.

El factor de emisión por defecto del PCP fabricado mediante los procesos 1) o 2) es de 2.000.000 µg de EQT/t (200 µg de EQT/kg). La línea de producción china dará un factor de emisión de 800,000 µg de EQT/t.

El factor de emisión por defecto de PCP-Na es de 500 µg de EQT/t. Nota: Santl et al. (1994) detectaron 3,400 µg de EQT/kg en una muestra de PCP-Na tomada en Francia en el año 1992.

Las emisiones de PCDD/PCDF a la atmósfera a partir de materiales tratados con PCP son difíciles de cuantificar y pueden estar controladas por factores específicos del sitio, y las liberaciones a partir de la eliminación por combustión de materiales que contienen PCP puede producir elevadas emisiones de PCDD/PCDF, cosa que no se puede tratar suficientemente en este punto. De todas formas, el impacto de los factores de emisión con la combustión de madera contaminada por PCP se puede consultar en la sección 6.3.4. También los procesos de combustión no controlados contribuyen a elevadas emisiones (véase la sección 6.6.2).

6.7.2.2 *Bifenilos policlorados (PCB)*

Los bifenilos policlorados (PCB) se han utilizado mucho en aparatos eléctricos (transformadores, capacitores), como sellantes y en papel de copia sin carbón. Desde 1995 se ha dejado de producir PCB en el mundo entero pero aún se están utilizando numerosos equipos que lo contienen, y materiales y desechos también con PCB se están utilizando o esperan su eliminación.

La fabricación comercial de PCB se hace por cloración progresiva de bifenilo en presencia de un catalizador adecuado, como el cloruro de hierro. Según sean las condiciones de la reacción, el grado de cloración varía entre 21% y 68% (p/p). El producto es siempre una mezcla de distintos congéneres e isómeros, que se siguen purificando por filtración o destilación. En general, el PCB comercial contiene impurezas consistentes principalmente en dibenzofuranos policlorados (PCDF) en el orden de µg/kg a mg/kg, pero no dibenzo-*p*-dioxinas policloradas (PCDD). Aunque existen 209 congéneres posibles de PCB, sólo unos 130 tienen probabilidades de aparecer en mezclas comerciales (EHC 1993, Fiedler 1998).

Durante el proceso de producción, los PCB se contaminan exclusivamente con PCDF. Cuando los PCB comerciales se someten a un estrés térmico (temperaturas elevadas) aumentan los niveles de PCDF. Nota: no se forma PCDD. Dependiendo del grado de

-
- c) como agente sintetizador y/o de procesamiento en procesos industriales;
 - d) para el tratamiento *in situ* de edificios de interés cultural e histórico (sujeto a autorización individual por el Estado Miembro interesado).

cloración, la contaminación de los productos no utilizados varía entre unos pocos a muchos μg de EQT-I/kg.

En la actualidad, y por lo que sabe el PNUMA, en ningún lugar del mundo se producen PCB; por consiguiente, no se da ningún factor de emisión para la producción de PCB.

Las liberaciones de PCDF serán consecuencia de los usos de PCB o de operaciones de reciclado en las que el PCB se extrae del equipo, se almacena o se elimina. Los lugares donde se utiliza el PCB o donde se almacenan, desmantelan o eliminan equipos PCB pueden provocar una contaminación local y posibles puntos calientes (véase el punto 10 en la sección 6.10.6).

Como primer paso para estimar las liberaciones de PCDF asociadas al uso de equipos con PCB se habrá de compilar un inventario de estos equipos en el país. La preparación de ese inventario se trata en una guía del PNUMA dedicada particularmente a este asunto (PNUMA 2000) y no entra dentro del ámbito del presente Instrumental. Durante la fase de uso, el equipo con PCB puede experimentar pérdidas de material y los viejos equipos que ya no se usan, si están almacenados o mantenidos en malas condiciones, pueden liberar PCB y PCDF a la atmósfera, al agua y a la tierra. Los equipos con PCB pueden liberar el producto por evaporación y por pérdidas de líquido durante un uso normal. En EE.UU. se han hecho estimaciones generales de las tasas de derrames. Con el inventario de PCB se podrán mejorar las estimaciones de posibles derrames teniendo en cuenta el estado de los equipos de la planta.

Los PCB derramados a partir de los equipos pueden evaporarse (liberaciones a la atmósfera), pueden recogerse alrededor del equipo con medios adecuados y pueden eliminarse o pueden liberarse al agua o a la tierra. A efectos del presente inventario, se dan ejemplos de datos sobre concentración que pueden utilizarse para calcular la tasa de liberaciones de PCDF mediante los derrames identificados o estimados. El destino final de los PCB y PCDF vertidos dependerá de las circunstancias locales (liberaciones a la atmósfera, al agua, a la tierra o evacuación/destrucción).

El PCB fluido también puede hallarse presente en la industria de la chatarra de metal si el tratamiento es inadecuado. Las liberaciones pueden producirse por evaporación a partir de chatarra contaminada, liberaciones a partir del procesamiento de la chatarra o por pérdidas a partir de los lugares de evacuación. No se han hecho estimaciones de estas liberaciones.

Los PCB pueden servir como indicadores, sobre todo los PCB más clorados, que en el medio ambiente muestran un comportamiento (en particular, estabilidad y movilidad) semejante al PCDF 2,3,7,8-sustituido.

Las concentraciones de PCDF en productos con PCB se clasificarán de acuerdo con su contenido de cloro, tal como se muestra en el cuadro 53.

Cuadro 53: Concentraciones de PCDF en productos con PCB

| Tipo de PCB | PCB nuevo (μg de EQT/t) | PCB usado (μg de EQT/t) |
|---|--|--|
| Escasamente clorados, como Clofen A30, Aroclor 1242 | 15.000 | No se dan números pero se cree que son más elevadas que con el producto nuevo. |
| Cloración media, como Clofen A40, Aroclor 1248 | 70.000 | |
| Cloración media, como, Clofen A50, Aroclor 1254 | 300.000 | |
| Muy clorados, como Clofen A60, Aroclor 1260 | 1.500.000 | |

Annema et al. (1995) han utilizado los datos procedentes de los EE.UU. para calcular las siguientes tasas de derrames de capacitores y transformadores que contienen PCB (cuadro 54).

Cuadro 54: Estadísticas de derrames a partir de equipos con PCB

| | Frecuencia de derrames (% de unidades instaladas) | Cantidad media derramada por unidad y año | Pérdidas medias por derrames de líquido presente, en total por año |
|-----------------|---|---|--|
| Transformadores | 2% | 30 kg | 0,06% |
| Capacitores | 3% | 8 kg | 1,6% |

Como ya no se producen nuevos PCB, en el inventario de dioxinas no se incluirán emisiones por liberaciones a partir de productos nuevos. Pero las liberaciones a partir de productos se pueden calcular en función de los PCB de equipos existentes, tal como se ha descrito antes. También pueden producirse liberaciones a partir de la eliminación inadecuada de equipos usados que contengan PCB. Estas liberaciones no se pueden cuantificar sin una evaluación caso por caso y, por consiguiente, no puede darse un factor de emisión. Las liberaciones de PCDF causadas por derrames de PCB dependerán de las condiciones locales, y su evaluación y gestión se harán de acuerdo con los reglamentos relativos a los desechos peligrosos o los productos químicos tóxicos.

6.7.2.3 *Acido 2,4,5-triclorofenoxiacético (2,4,5-T), 2,4,5-triclorofenol y otros derivados del clorofenol*

Los derivados del clorofenol contaminados por PCDD y PCDF son:

2,4-D = ácido 2,4,-diclorofenoxiacético y 2,4-DB = ácido 2,4,-diclorofenoxibutírico

Sesone = sulfato sódico de 2-(2,4-diclorofenoxi) etilo

DMPA = isopropilfosforamidotiolato de 0-(2,4-diclorofenil) 0-metilo

2,4,5-T = ácido triclorofenoxi acético

Silvex (ácido) = ácido 2-(2,4,5-triclorofenoxi) propiónico (conocido también como Fenoprop, 2,4,5-TP, 2,4,5-TCPPA)

Erbon = éster 2-(2,4,5-triclorofenoxi) etílico del ácido 2,2-dicloropropanoico

Ronnel = 0,0-dimetil 0-(2,4,5-triclorofenil) fosforoato (véase también Fenclorfos)

El ácido 2,4,5-triclorofenoxi acético (2,4,5-T) es un herbicida que se usa con frecuencia como desfoliante. Durante la guerra de Viet Nam se pulverizaron sobre el país grandes cantidades de ésteres butílicos de una mezcla 50:50 de 2,4,5-T y 2,4-D (ácido 2,4-diclorofenoxiacético) – conocido como Agente Orange. En la actualidad sólo existe un pequeño número de lugares

donde se produce 2,4,5-T. Se ha observado que el 2,4,5-T estaba fuertemente contaminado por 2,4,7,8-Cl₄DD; no se identificó ningún otro congénere de PCDD o PCDF. La concentración más elevada hallada en un producto de Alemania fue de 7.000 ng de EQT-I/kg de 2,4,5-T²³. El 2,4,5-triclorofenol se ha utilizado sobre todo como intermediario para la fabricación de ácido 2,4,5-triclorofenoxiacético y hexaclorofeno. Una sola medición efectuada ha dado 680.000 ng de EQT-I/kg.

El 2,4,5-T es el derivado más importante del 2,4,5-triclorofenol (2,4,5-TCP). Comercialmente, se hace reaccionar el 2,4,5-triclorofenol con ácido cloroacético en medio alcalino. La adición subsiguiente de ácido sulfúrico da 2,4,5-T, que a continuación puede reaccionar con distintos alcoholes o aminas para producir ésteres de 2,4,5-T y sales aminadas. Aunque no han sido muchos los fabricantes de 2,4,5-T, existía un número mucho más elevado de empresas que comercializaban más de 400 plaguicidas en cuya preparación figuraba el 2,4,5-T (Esposito et al. 1980).

Pueden existir puntos calientes en suelos donde se había producido y manejado el 2,4,5-T.

El factor de emisión del 2,4,5-T comercial (producto técnico) es de 7.000 µg de EQT/t.

El factor de emisión del 2,4,6-triclorofenol es de 700 µg de EQT/t.

El factor de emisión del diclorprop es de 1.000 µg de EQT/t.

El factor de emisión del 2,4-D es de 700 µg de EQT/t (US-EPA 1998a, p 8-74). Las concentraciones pueden variar considerablemente: muestras tomadas al azar de marcas americanas dieron 3 µg de EQT/t mientras que en marcas asiáticas y rusas se hallaron 200 µg de EQT/kg (US-EPA 1998a, p 8-77). El destino último de PCDD/PCDF en estos productos dependerá de su uso y dependerá de las circunstancias locales.

6.7.2.4 Cloranilo

El 2,3,5,6-tetracloro-2,5-ciclohexadieno-1,4-diona (*p*-cloranilo) es el precursor en la producción de tintes de dioxazina²⁴ (para algodón, cuero y materiales sintéticos) y de otras sustancias químicas (por ejemplo para semillas y fungicidas). Según sean los procesos de producción el *p*-cloranilo puede estar fuertemente contaminado por PCDD/PCDF.

Se conocen dos procesos de producción:

- (1) El antiguo procedimiento de Hoechst AG por cloración de fenol (que se utilizó en Alemania hasta 1990). Con este antiguo proceso, el *p*-cloranilo estaba contaminado por PCDD/PCDF (sobre todo PCDF) hasta en varios cientos de µg de EQT-I/kg. La contaminación del congénere *orto* era muy inferior (alrededor de 60 µg de EQT-I/kg).

²³ Presente en forma de 2,3,7,8-Cl₄DD.

²⁴ Los pigmentos se sintetizan haciendo reaccionar el cloranilo (u otras benzoquinonas halogenadas) con aminas aromáticas, produciendo diarilaminocloroquinonas y la ciclización oxidativa en solventes de elevado punto de fusión, como el *o*-diclorobenceno, en presencia de acilcloruros o ácido sulfúrico.

- (2) El proceso sistematizado por Rhône-Poulenc Chimie y utilizado actualmente, por ejemplo, por Clariant (Alemania), por cloración (con HCl) de la hidroquinona. Este proceso da productos mucho más limpios (*p*-cloranilo: ~7 µg de EQT-I/kg)²⁵.

En los Estados Unidos, entre 1937 y 1977 se ha utilizado el cloranilo como fungicida y agente para el tratamiento de semillas. Después de 1977 se prohibieron todas las aplicaciones del cloranilo a la agricultura. En Europa este producto no se ha utilizado como fungicida ni como protector de semillas. En Africa, el cloranilo se ha utilizado por lo menos hasta 1984 como fungicida y para el tratamiento de las semillas.

Hasta 1989 se producían unas 400 t de cloranilo al año, de las cuales 300 t/a se procesaban como pigmentos y 100 t/a como materias colorantes (BAU 1992). En su último año de producción, 1990, Hoechst AG fabricó 300 toneladas. Hasta 1989, 150-200 t/a se exportaban y unas 50-100 t/a fueron importadas por Hoechst AG de la India. Es sabido que en la India hasta mediados de los años noventa se ha venido aplicando el mismo proceso a la producción del cloranilo. Se calcula que en Alemania se han importado 50-100 t/a aproximadamente (BUA 1992). Desde 1990, el único productor en Europa Occidental y probablemente el mayor productor de cloranilo en el mundo entero es Rhône-Poulenc Chimie, de Francia. Se han encontrado puntos de producción más pequeños en la India, que aún puede estar utilizando el proceso tradicional con fenol. No se ha podido obtener información acerca de la producción en los países de Europa Oriental y la Federación de Rusia, pero se sabe que en la Federación de Rusia se ha estado produciendo cloranilo, producto que además se ha importado también al país. Los Estados Unidos de América no tienen producción interior de cloranilo (BUA 1992).

La contaminación por PCDD/PCDF en los productos finales que utilizan cloranilo, como las materias colorantes y los pigmentos, terminarán por llegar a los desechos de polímeros/plásticos, textiles y materiales de embalaje (papel, botes de lata, etc.) para ser eliminados como desechos sólidos municipales o reingresar en un proceso de reciclado. En el caso del reciclado del papel y la tinción de textiles, los PCDD/PCDF pueden ser liberados al agua o encontrarse en los lodos.

El pigmento más importante de dioxazina es el C.I. Pigment Violet 23 (de Hoechst AG), que se usa para lacas, polímeros y tintas de imprenta. Aplicación similar se da al C.I. Pigment Violet 37 (de Ciba Geigy AG).

El factor de emisión correspondiente al *p*-cloranilo fabricado según el antiguo proceso de Hoechst Farben es de 400.000 µg de EQT/t. El factor de emisión del *o*-cloranilo es de 60.000 µg de EQT/t. Las materias colorantes de base cloranilo producidas según el antiguo método pueden tener 1.200 µg de EQT/t.

El factor de emisión con el proceso de hidroquinona para la fabricación del *p*-cloranilo es de 100 µg de EQT/t.

Los pigmentos de dioxazina y los que utilizan el procedimiento antiguo presentaban concentraciones entre 20.000 y 57.000 µg de EQT/t (para el Blue 106) y entre 1.000 y 19.000 µg de EQT/t (Violet 23) (Williams 1992). En los Estados Unidos se encontraron concentraciones de cloranilo entre 263.000 µg de EQT/t y 3.065.000 µg de EQT/t. El

²⁵ Tokoyama Soda (Japón) obtiene la misma calidad.

Carbazole Violet (pigmento colorante) presentaba 211.000 µg de EQT/t.

No pueden darse informaciones cuantitativas sobre liberaciones de PCDD/PCDF al medio ambiente ya que no se dispone de datos analíticos seguros. Es de suponer que se producirán liberaciones a la hidrosfera a partir de industrias que se sitúan junto a ríos, por ejemplo para la producción de materias colorantes, con la tinción de textiles en baño de licor y de reciclado de papel (BUA 1992). Se ha observado que con el procedimiento Hoechst se producen 20 m³ de aguas residuales por tonelada de producto, pero no se han dado a conocer las concentraciones de PCDD/PCDF en esas aguas residuales. La síntesis de pigmentos de dioxazina se realiza en sistemas cerrados de manera que, en condiciones normales, no se producen efluentes. La contaminación por PCDD/PCDF puede hallarse disuelta en el solvente, es decir, el diclorobenceno, y puede concentrarse en los residuos de la destilación. Deberá notificarse cuál es el destino de estos residuos sólidos (por ejemplo, si se vierten en terraplenes o se incineran).

Además, también puede contener PCDD/PCDF el carbón activo utilizado en la producción de los tintes (en Alemania, los desechos peligrosos se eliminan mediante hornos rotatorios) (BUA 1992).

6.7.2.5 *Eter de 2,4,6-triclorofenil-4'-nitrofenilo (CNP)*

El éter de 2,4,6-triclorofenil-4'-nitrofenilo (CNP) o cloronitrofen se ha utilizado como alternativa del pentaclorofenol en aplicaciones intensivas en cultivos en Japón. Se ha observado que el CNP contiene altas concentraciones de PCDD y PCDF. En particular, los lotes producidos durante los años setenta y primeros años ochenta tenían una contaminación entre 240 y 540 µg de EQT/kg; más adelante las concentraciones bajaron a unos 400 ng de EQT/kg (Masunaga y Nakanishi 1999). No se dispone de más información sobre la síntesis y cuál podría ser la razón de que haya disminuido la contaminación en los lotes más recientes.

Los factores de emisión aplicables al CNP son de 300.000 µg de EQT/t si se han utilizado las antiguas tecnologías y de 400 µg de EQT/t con la nueva tecnología.

6.7.2.6 *Clorobenzenos*

Sólo el triclorobenceno se puede relacionar con la formación de PCDD/PCDF, en un proceso específico que de todas formas ya no existe (Fuente: EUROCLOR). Los mono- y los diclorobenzenos se producen comercialmente mediante la cloración directa del benceno en fase líquida y en presencia de un catalizador Lewis, como cloruro férrico (FeCl₃) o la oxiclорación del benceno con HCl en presencia del oxígeno (OTAN/DCSM 1990, EHC 1991).

A partir de los mecanismos de reacción antes mencionados no es evidente la formación de PCDD/PCDF, pero probablemente ésta se produce durante la purificación en los casos en que suele realizarse en medio alcalino.

La contaminación de los clorobenzenos por PCDD/PCDF es relativamente baja. Como no se han encontrado datos medidos de análisis específicos de congéneres, no se pueden dar factores de emisión.

6.7.2.7 *Producción de cloro*

El gas cloro se produce haciendo pasar una corriente eléctrica a través de salmuera (sal común disuelta en agua). Los coproductos esenciales son la sosa cáustica (hidróxido sódico, NaOH) y el hidrógeno (H₂). Se utilizan tres procesos principales: el proceso de mercurio, el proceso de diafragma y el proceso de membranas. Los PCDF se pueden formar en células de cloro; las concentraciones de PCDD son muy bajas.

Cuando se utilizan ánodos de grafito puede ser importante la formación de PCDD y PCDF. A comienzos de los años setenta muchos países industrializados reemplazaron los ánodos de grafito, pero de todas formas este antiguo proceso puede seguir siendo una fuente considerable de PCDD/PCDF. A causa de su bajo costo y fácil realización, los electrodos de grafito se siguen utilizando comúnmente en China, el segundo país del mundo por su producción de cloralcali (Wu 2000). La producción antigua por este método puede producir puntos calientes (véase la sección 6.10). Algunos datos muestran que la utilización de ánodos de titanio también puede provocar la producción de PCDF. La fuente del carbono orgánico podría encontrarse en las arandelas sellantes de caucho utilizadas en el proceso.

Comunican algunas publicaciones (Kannan et al. 1997) que la mezcla comercial de Aroclor 1268 se ha utilizado para la lubricación de los electrodos. El proceso de eliminación de desechos ha causado grave contaminación ambiental.

6.7.2.7.1 Liberaciones a la atmósfera

No cabe esperar que este proceso provoque liberaciones de PCDD/PCDF a la atmósfera.

6.7.2.7.2 Liberaciones al agua

Las liberaciones de PCDD/PCDF al agua dependerán del tratamiento que se aplique al efluente. Es probable que los PCDD/PCDF se encuentren firmemente ligados a partículas y la eficiencia con que éstas se capturen influirá probablemente en la liberación al agua. No se puede dar un factor general de emisión. Deberá reunirse información sobre fuentes, cantidades y tratamiento aplicado a los efluentes.

6.7.2.7.3 Liberaciones con productos

El gas cloro no contiene PCDD/PCDF. Por consiguiente, el factor de emisión para el cloro es cero.

6.7.2.7.4 Liberaciones con residuos

La mayor parte de la contaminación por PCDD/PCDF se encontrará en los residuos. A efectos del Instrumental y como primera medida, la evaluación de esta fuente se limitará a identificar los lugares de producción de cloro donde se utilicen electrodos de grafito. Cuando esto suceda, se irá siguiendo la vía de evacuación de residuos para identificar posibles puntos calientes. No puede darse un factor de emisión general para este vector y las evaluaciones que después se hagan consistirán en estudios de casos (véase la sección 6.10.2). En los lodos procedentes de electrodos de grafito se han comunicado concentraciones entre 13.500 y

30.000 µg de EQT/t de lodo.

6.7.2.8 *Dicloruro de etileno o 1,2-dicloroetano (EDC)*

El dicloruro de etileno (EDC) es un importante intermediario en la fabricación PVC. En los Estados Unidos, más del 90% de la producción total de EDC se utiliza para producir monómero de cloruro de vinilo (VCM). La mayor parte de la producción de PVC se basa en la dehidrocloración (craqueo) del dicloruro de etileno (EDC)

Producción de EDC (dos métodos distintos)

- a) **Cloración directa** de etileno con cloro en presencia de un catalizador²⁶. El proceso tiene una elevada tasa de conversión. Normalmente la cloración directa se realiza en un reactor en fase líquida a temperaturas de 50 °C a 70 °C y presiones de unos 400-500 kPa. El HCl formado en el proceso se puede reciclar en un proceso de oxiclорación.
- b) **Oxicloración** de etileno con ácido clorhídrico (HCl) y a continuación se lleva aire u oxígeno en presencia de un catalizador (generalmente cobre) en un reactor de lecho fijo o en un reactor de lecho fluidizado. La temperatura no pasará de 325 °C pues con temperaturas más elevadas aumentará la formación de productos secundarios (sobre todo compuestos clorados C₁- y C₂-). El primer paso del proceso de purificación de EDC consiste en enfriamiento con agua seguido de una depuración cáustica. El agua se vuelve a llevar al proceso o se limpia por vaporización antes de su evacuación (véase el factor de emisión para el efluente acuoso).

Producción de VCM

El VCM se produce por descloración térmica a partir del EDC. El llamado horno de pirólisis (o craqueo) funciona normalmente con una presión de 2.000 kPa aproximadamente y temperaturas de 450 °C a 650 °C. Las materias primas que no han reaccionado se reciclan regresándolas al proceso. El VCM (punto de ebullición: -13 °C) se separa de los productos secundarios por destilación. Los materiales de alto punto de ebullición pueden contener varios productos de condensación, entre ellos PCDD/PCDF. Normalmente estos materiales se descomponen térmicamente; en ciertos casos, se recupera y recicla el HCl del proceso

Producción de PVC

Para producir resinas de PVC existen los siguientes procesos:

- Suspensión
- Dispersión (emulsión)
- Al granel (en masa), y
- Solución.

En la industria de EDC/VCM/PVC, el paso más crítico para la generación de PCDD/PCDF es la fabricación de EDC por oxiclорación del etileno. En la pirólisis del VCM la generación de PCDD/PCDF raramente se debe a una baja concentración de oxígeno. Las condiciones

²⁶ Cloruros de hierro, aluminio, cobre, antimonio.

químicas para la generación de PCDD/PCDF no se dan en la polimerización del PVC.

Entre las corrientes que pueden contener PCDD/PCDF figuran todas las corrientes procedentes de la combustión, incluidos combustores líquidos, de líquido/gas o de gas de salida. Además, en el apoyo catalítico pueden existir algunos PCDD/PCDF. Las liberaciones de ese material difieren según el proceso de producción.

Los catalizadores de lecho fluidizado seguirán la distribución de partículas por tamaños propia del catalizador. Las pequeñas partículas pueden ser arrastradas con el vapor del producto y lavadas en el momento del enfriamiento con agua. El catalizador en sistemas de lecho fijo se reemplaza aproximadamente cada año. En consecuencia, normalmente las partículas de los sistemas de lecho fluidizado quedan aisladas en sólidos procedentes de la depuración del agua de desecho. Cuando se desecha un catalizador de lecho fijo desgastado se considerará como una clara corriente de desecho.

En el cuadro 55 se muestran los factores de emisión para la industria del EDC/VCM y del PVC. Se van a prever dos clases de factores de emisión correspondientes, respectivamente, a la tecnología antigua y a la moderna. Como puede verse, por ahora no se dispone de factores de emisión a la atmósfera a partir de las antiguas tecnologías.

Cuadro 55: Factores de emisión para la industria del EDC/VCM/PVC

| | Factor de emisión– μg de EQT/t (de producto) | | | |
|---|---|-------|-----------|--------------|
| | Atmósfera | Agua | Productos | Residuos [1] |
| 1. Antigua tecnología, EDC/VCM, PVC | ND | 1 | ND | 3 |
| 2. Plantas modernas | | | | |
| EDC/VCM (sólo salidas de gas) | 0,91 [2] | 0,015 | 0,03 | 2 |
| EDC/VCM (líquidos y salidas de gas) | 0,66 [2] | | | |
| Solamente PVC (combustión de gas de salida) | 0,00084 [3] | 0,03 | 0,1 [3] | 0,02 |

[1] incluye catalizadores gastados y lodos de tratamiento de aguas residuales

[2] por tonelada de EDC.

[3] por tonelada de PVC producido

6.7.2.8.1 Liberaciones a la atmósfera

Las emisiones a la atmósfera a partir de estos procesos se producen sobre todo en la incineración. La incineración se utiliza para controlar los gases de salida de las distintas etapas del proceso con tipos diversos de hornos como oxidantes térmicos, hornos rotatorios, incineradores de inyección líquida e incineradores de lecho fluidizado. Dado el contenido en HCl de los gases de salida, se puede esperar que los incineradores estén equipados por lo menos de un sistema de refrigeración y un enfriamiento en líquido cáustico para neutralizar el HCl.

Una encuesta estadounidense sobre plantas de EDC/VCM y PVC (US-EPA 2000, Vinyl Institute 1998) evaluó los resultados de 22 incineradores pertenecientes a este ramo industrial. Las emisiones más bajas se daban en los gases de salida procedentes de combustores en los lugares de producción solamente de PVC (nota: no había corriente de residuos líquidos). Los factores de emisión procedentes de la combustión de gases de salida y

de líquidos/gases de salida eran muy variables, hasta de cuatro órdenes de magnitud en combustores similares. Para el Instrumental se ha adoptado un promedio de emisiones con el que se calculan los factores de emisión correspondientes a la combustión de gases de salida solamente y de líquidos y gases de salida basados en la producción de EDC, como se muestra en el cuadro 55.

Los datos de cuadro 55 se basan en datos de producción de EDC o PVC de la industria de los Estados Unidos: el cálculo más riguroso era de 0,00135 g de EQT/a correspondiente a la producción de 5.215.000 toneladas de PVC, de lo que resultaba un factor de emisión de 0,00027 µg de EQT/t de PVC producido. La producción de EDC, de 11.115.000 toneladas, dio un total de emisiones atmosféricas de 10,6 g de EQT/a. De ello resultará un factor de emisión de 0,95 µg de EQT/t de EDC (US-EPA 2000, Vinyl Institute 1998).

Otra posibilidad sería utilizar factores de emisión basados en las cantidades de desechos ingresados en el proceso. También en este caso, las liberaciones procedentes de incineradores de gases de salida y de desechos/gases de salida en plantas de EDC/VCM combinadas mostraron emisiones variables, entre 1,3 y 14 µg de EQT/t de desechos ingresados en el proceso.

Como el diseño y funcionamiento del combustor son los factores más importantes, se sugiere la conveniencia de hacer una estimación de la cantidad total de desechos quemados y que esto se trate como una incineración de desechos peligrosos (véase la sección 6.1.2.1).

6.7.2.8.2 Liberaciones al agua

Para la fabricación de EDC/VCM y PVC se utilizan cantidades considerables de agua de procesamiento, que o bien sale después de la planta o bien se recicla en la mayor medida posible para regresarla al proceso de fabricación de EDC/VCM/PVC. El agua de procesamiento que no se puede reciclar se puede descargar sin más tratamiento o dirigir a un proceso de tratamiento de aguas residuales²⁷.

En las modernas instalaciones estadounidenses, las concentraciones de PCDD/PCDF en las aguas residuales de los puntos de producción de PVC se encontraban solamente próximas al límite de detección. Las concentraciones medias generales eran de 0,88 pg de EQT-I/L (ND=0) y 4,7 pg de EQT-I/L (ND=½ LD). Todas las muestras tomadas en plantas de EDC/VCM presentaban concentraciones cuantificables con valores medios de 0,42 pg de EQT/L (ND=0) y 4,4 pg de EQT/L (ND=½ LD). Para las aguas residuales de las plantas de PVC modernas se ha calculado un factor de emisión de 0,03 µg de EQT/t de PVC, mientras que para las aguas residuales de las plantas de EDC/VCM el factor de emisión se ha fijado en 0,015 µg de EQT/t de EDC (US EPA 2000, Vinyl Institute 1998).

Los sistemas antiguos y escasamente controlados pueden dar una formación de PCDD/PCDF más elevada y las liberaciones al agua dependerán de la eficacia del sistema de tratamiento del agua. Para realizar una estimación inicial de esas plantas sin sistema de retención de sólidos en las aguas residuales, se aplicará un factor inicial de emisión de 1 µg de EQT/t de EDC.

²⁷ Normalmente así se reduce la DBO (demanda biológica de oxígeno) y el total de sólidos en suspensión, además de ajustarse el pH a las directrices aplicables al agua.

6.7.2.8.3 Liberaciones con productos

Las concentraciones de PCDD/PCDF en los productos de PVC son bajas. La mayor parte de las muestras no mostraban concentraciones detectables de PCDD/PCDF. Para el Instrumental se utilizará una concentración media general de 0,3 ng de EQT-I/kg. En cuanto al EDC, sólo en una muestra se pudo detectar 0,03 ng de EQT-I/kg (ND=0). Dada la falta de muestras auténticas no se han podido dar factores de emisión para los productos de PVC y EDC de antiguas instalaciones.

6.7.2.8.4 Liberaciones con residuos

Los principales residuos de interés son: extremos pesados de la depuración de EDC, catalizador consumido (de plantas de lecho fijo) y lodos de tratamiento de aguas residuales. Cada uno de estos residuos se puede manejar y eliminar de diversas maneras, lo que influirá en las liberaciones al medio ambiente.

Para las plantas combinadas de EDC/VCM, las concentraciones de lodos en el tratamiento de aguas residuales iban de 100 a 5.900 µg de EQT-I/t del producto (VI 1998). Las instalaciones que usaban una tecnología de lecho fijo daban generalmente concentraciones inferiores pero, en cambio, liberaban catalizador consumido (con el proceso de lecho fluidizado, el catalizador sale con el agua y se retiene en el lodo resultante del tratamiento del agua de desecho). El promedio general de factores de emisión fue aproximadamente de 2 µg de EQT-I/t (producción de EDC). En lo que respecta a las plantas que utilizan lecho fijo, la mayor parte de la producción de PCDD/PCDF se asociará al catalizador consumido.

Con respecto a las plantas más antiguas y a las que no se basan en una tecnología autorizada, la estimación inicial de liberaciones con el lodo resultante del tratamiento de aguas residuales y del catalizador consumido será de 3 µg de EQT-I/t de EDC.

Los lodos procedentes de los lugares donde sólo se produce PVC tienen un factor de emisión de 0,02 µg de EQT/t de PVC. Las emisiones de cuerpos sólidos, como catalizador consumido y sólidos resultantes del tratamiento de aguas residuales, considerando conjuntamente los lugares de producción de EDC y de combinación de EDC/PVC, se aproximará a 2,0 µg de EQT/t de producto (US-EPA 2000, Vinyl Institute 1998).

Las concentraciones de PCDD/PCDF pueden ser muy superiores en ciertas corrientes de residuos, como los extremos pesados resultantes de la depuración de EDC. Así, por ejemplo, en desechos resultantes de la fabricación de PVC, Stringer et al. (1995) observaron concentraciones que iban desde 3.000 ng de EQT/kg hasta 5.000.000 ng de EQT/kg. Es evidente que las posibles liberaciones a partir de estas corrientes dependen de la forma como se manejen y eliminen los materiales. Siempre que sea posible se estimará la cantidad de residuos producida. En muchos casos, estos residuos se incineran en el lugar o en incineradores comerciales de desechos peligrosos; para hacer una estimación de las liberaciones resultantes de esta actividad, véase la sección 6.1.2.1 – Incineración de desechos peligrosos. En algunos casos los residuos se han dejado en depósitos subterráneos (Dyke et al. 1997) y en otros pueden usarse como materiales de entrada para la producción de solventes.

Deberá tomarse nota de los casos en los que los residuos se eliminan en un vertedero o se usan como material de entrada de otro proceso. Datos procedentes del Reino Unido han

mostrado que unos desechos orgánicos halogenados contenían 100 µg de EQT-I/t (expresados por unidad de producción de EDC). Este factor puede utilizarse para realizar una estimación inicial de la cantidad de PCDD/PCDF en esas corrientes, y en esos casos deberá identificarse cuál es el destino de las corrientes de residuos.

6.7.2.9 *Compuestos alifáticos clorados*

Muchos de los procesos de producción de compuestos alifáticos clorados dan pequeñas cantidades de PCDD/PCDF o no las producen en absoluto (mediciones recientes del percloroetileno han dado resultados inferiores a los límites de detección). Pero si el proceso se alimenta con residuos procedentes de procesos como los de producción de EDC (véase antes) u otros residuos mixtos, entonces sí puede formarse y liberarse PCDD/PCDF.

Anteriormente, en el Reino Unido residuos procedentes de la producción de EDC se usaban en un oxiclador para producir per- y tricloroetileno (solventes). Este proceso daba cantidades considerables de PCDD/PCDF en las corrientes de residuos (350-630 g de EQT en los residuos resultantes de la producción de 130.000 toneladas de tri y percloroetileno, producían aproximadamente 4.000 µg de EQT-I/t de producto – Dyke et al 1997). La forma como se manejen y el destino que se dé a esos residuos determinará cuáles van a ser las liberaciones al medio ambiente.

6.7.2.10 *Resumen*

Dentro del subsector de la industria química, la parte más crítica del proceso de fabricación es el proceso de oxiclación para fabricar el dicloruro de etileno (EDC), que generalmente forma parte de la fabricación de sustancias orgánicas cloradas.

En algunos lugares es posible que se realicen operaciones independientes en las que se recicle el HCl para volver a Cl₂. Pero este proceso será mucho más costoso que la electrólisis de KCl, NaCl o salmuera. Si se llegan a identificar esas operaciones, será preciso realizar una evaluación caso por caso para determinar la posible formación y liberación de PCDD/PCDF.

El proceso más crítico de la industria química es la oxiclación del etileno para fabricar EDC. Después, avanzando la cadena de producción de las sustancias químicas cloradas o no cloradas ya no se producirán más emisiones críticas.

En 1995, el Consejo Europeo de Fabricantes de Vinilo (CEFV) fijó unas metas de emisión voluntarias en el deseo de promover la conservación del medio ambiente. La Carta del CEFV, que es una especie de autorregulación, incluye directrices sobre las emisiones de dioxina basadas en las mejores técnicas disponibles. Para las emisiones de gases de salida a la atmósfera, la directriz del CEFV relativa a los componentes de tipo dioxínico es de 0,1 ng de EQT-I/Nm³²⁸ y de 1 µg de EQT-I/t de EDC en efluentes acuosos. Estos números pueden considerarse como estimaciones aproximadas para calcular las liberaciones de PCDD/PCDF a partir de plantas de EDV/VCM absolutamente modernas.

²⁸ Condiciones normales (europeas): 11 % O₂, 0 °C, 103.1 hPa.

6.7.3 Industria del petróleo

El petróleo bruto es una mezcla de numerosos hidrocarburos distintos y pequeñas cantidades de impurezas. La composición del petróleo bruto puede variar considerablemente entre las distintas fuentes. Las refinerías de petróleo constituyen un complejo sistema de múltiples operaciones y los procesos utilizados en una determinada refinería dependen de las propiedades del petróleo bruto que ha de refinar y de los productos que desea obtener.

Por ahora, en la industria del refinado de petróleo sólo se ha notificado una fuente potencial de PCDD/PCDF: la regeneración del catalizador utilizado para el termofraccionamiento catalítico de las grandes moléculas de hidrocarburo en moléculas más pequeñas y ligeras (Beard et al. 1993). El proceso de combustión también puede emitir PCDD/PCDF; esta posibilidad se trata en la sección 6.3.1.

Para el proceso de reforma catalítica se utiliza generalmente nafta de pocos octanos. La hidrorreforma catalítica utiliza catalizadores basados en el platino. Durante el proceso continuo, según se va agotando el catalizador se va extrayendo del fondo del reactor y se envía a un regenerador donde se quema el carbón del catalizador con aire caliente/vapor. Para retener la actividad catalítica se agregan cantidades del orden de indicios de un promotor, normalmente compuestos organoclorados, como tri o percloroetileno. Se extrae la humedad y el catalizador regenerado se devuelve al primer lecho reformador. En las unidades cíclicas o semirregenerativas, la regeneración del catalizador se hace de forma discontinua al igual que sucede con las emisiones resultantes. En este proceso se han detectado PCDD/PCDF.

Los PCDD/PCDF pueden salir a la atmósfera o ser capturados en sistemas de depuración y transferidos a efluentes. Las liberaciones finales dependerán de los controles de contaminación y del manejo que se haga de los residuos. Por ahora no se dispone de datos suficientes para dar factores de emisión.

6.7.3.1 *Liberaciones a la atmósfera*

No se dispone de datos suficientes para dar factores de emisión.

6.7.3.2 *Liberaciones al agua*

La cantidad de aguas de desecho generadas en el proceso de reforma catalítica viene a ser de unos 190 kg/t de materiales de entrada. Las aguas servidas contienen altos niveles de petróleo y de sólidos en suspensión. Pueden producirse emisiones de PCDD/PCDF al agua en el momento de la descarga de las aguas de desecho. Pero por ahora no se dispone de datos. Deberá tomarse nota de toda descarga de aguas de desecho.

6.7.3.3 *Liberaciones con residuos*

De los sistemas de retención de partículas finas pueden producirse partículas del catalizador gastado. El catalizador se consume a razón de unas 20-25 toneladas al año en el caso de una refinería de 5 millones de toneladas anuales. Normalmente, el catalizador gastado se recupera para su reciclado o regeneración.

En el tratamiento de las aguas residuales pueden producirse lodos. Por ahora no se conocen concentraciones de PCDD/PCDF, pero se han detectado concentraciones de pireno y benzo[a]pireno en cantidades de pocos mg/kg (EC-JRC 2000b).

6.7.4 Plantas textiles

La industria textil está constituida por un grupo diverso y fragmentado de establecimientos que producen y/o procesan artículos relacionados con los textiles, es decir fibras, hilos o telas para su procesamiento en artículos acabados. Pueden variar entre pequeñas operaciones más o menos disimuladas con escasos controles hasta operaciones industriales en gran escala y muy perfeccionadas con controles exhaustivos de contaminación. El proceso de convertir las fibras brutas en productos textiles acabados es complejo; por consiguiente, la mayor parte de las fábricas textiles se especializan (EPA 1997). La industria textil se está considerando como posible fuente de PCDD/PCDF, ya que:

- Es sabido que plaguicidas como el pentaclorofenol, que está contaminado con PCDD/PCDF, pueden entrar en la planta con las materias primas, como el algodón, que se tratan con PCP;
- Para la tinción de textiles pueden utilizarse colorantes basados en el cloranilo;
- En el proceso de acabo pueden utilizarse sustancias químicas cloradas contaminadas por PCDD/PCDF y además como parte del proceso de acabado de textiles éstos se someten a un lavado en medio alcalino; y
- Se liberan al ambiente grandes volúmenes de agua efluente.

Las telas tejidas y de punto no pueden procesarse como artículos acabados hasta que han pasado por varias etapas en las que se consume mucha agua y se procesan en húmedo (lo que se conoce como acabado), incluyendo la preparación de la tela, su tinción, estampado y acabado. Normalmente las fibras naturales requieren más etapas de procesamiento que las artificiales. Se generan volúmenes relativamente grandes de aguas de desecho, que contienen diversos contaminantes que se han de tratar antes de su evacuación. Se utilizan cantidades considerables de energía para el calentamiento y la refrigeración de los baños químicos y la tinción de las telas y los hilos.

Para preparar la tela se realizan las siguientes operaciones: desaprestado²⁹, desengrasado³⁰, blanqueado y gaseado³¹ y mercerización³². Las operaciones de tinción se aplican en diversas etapas de la producción, agregan color y solidez a los tejidos y aumentan el valor del producto. Los colorantes utilizados en la industria textil son sobre todo sintéticos. El acabado comprende tratamientos químicos o mecánicos.

²⁹ Para eliminar los materiales de apresto que se aplicaron antes del tejido.

³⁰ Proceso de limpieza que suprime impurezas de las fibras, los hilos o la tela lavándolas. Normalmente, se utilizan soluciones alcalinas.

³¹ Elimina de fibras, hilos o tela las materias coloreadas indeseables. Entre los agentes de blanqueado más frecuente figuran peróxido de hidrógeno, hipoclorito sódico, clorito sódico y gas de dióxido de azufre. El peróxido de hidrógeno es el agente blanqueador más frecuentemente utilizado para el algodón y las mezclas de algodón.

³² Con el que se trata de alterar química o físicamente la tela haciéndola pasar por una solución al 15-20% de sosa cáustica.

Las aguas residuales son, con mucha diferencia, las que constituyen la principal corriente de desechos de la industria textil. Entre los desechos de mayor volumen figuran el agua de lavado resultante de la preparación y el teñido continuo, los desechos alcalinos de la preparación, y los desechos de los lotes de colorantes que contienen grandes cantidades de sales, ácidos o alkalis.

De las 635.000 toneladas métricas (700.000 toneladas cortas EE.UU.) de tintes producidos cada año en el mundo entero, un 10-15% aproximadamente se eliminan con efluentes de operaciones de tinción. Pero los colorantes en las aguas residuales pueden encontrarse ligados químicamente a fibras de tela. El promedio de generación de aguas residuales de una gran instalación industrial centralizada de tinción en los Estados Unidos se calcula que oscila entre 3,8 y 7,5 millones de litros por día (uno a dos millones de galones por día). Los procesos de tinción y enjuague para dispersar el tinte generan unos 100-140 L de producto (12-17 galones de aguas residuales por libra). Procesos similares para la tinción reactiva y directa aún generan más aguas residuales, unos 125-170 L del producto (15-20 galones por libra de producto (EPA 1997).

Basándose en los análisis realizados en 16 muestras tomadas en Alemania, se ha llegado a la conclusión de que la concentración de dioxina no aumenta significativamente durante estos procesos de acabado: las concentraciones medias halladas en el algodón acabado eran de $0,21 \pm 0,10$ ng de EQT-I/kg, con una mediana de 0,20 ng de EQT-I/kg (Horstmann 1994). Estos resultados se vieron confirmados por análisis de muestras tomadas al azar de algodón bruto y tomado antes del tratamiento según llegaba al puerto de Hamburgo, que contenían 0,03-0,2 ng de EQT-I/kg (Hutzinger et al. 1995, FHH 1995).

Las fuentes de PCDD/PCDF en los productos acabados pueden deberse a:

- La utilización de sustancias químicas cloradas, en particular PCP, para la protección de las materias primas (algodón, lana u otras fibras, cuero, etc.).
- La utilización de tintes contaminados por dioxina.
- La formación de PCDD/PCDF durante las operaciones de acabado.

Si bien existen numerosos datos sobre concentraciones de PCDD/PCDF en los productos acabados (textiles) no se dispone de datos en relación con los residuos y las aguas residuales. Por consiguiente, los factores de emisión se darán sólo como límites superiores e inferiores en el producto final.

Cuadro 56: Factores de emisión para la industria textil

| Clasificación | Factores de emisión – μg de EQT/t de textil | | | | |
|--------------------|--|------|--------|-----------|----------|
| | Atmósfera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| 1. Límite superior | NA | ND | NA | 100 | ND |
| 2. Límite inferior | NA | ND | NA | 0,1 | ND |

6.7.4.1 Liberaciones a la atmósfera

No se dispone de indicaciones sobre emisiones de PCDD/PCDF a la atmósfera a partir de plantas textiles y, por consiguiente, no se da un factor de emisión. Las emisiones resultantes de la generación de vapor y energía se tratan en la sección 6.3.

6.7.4.2 *Liberaciones al agua*

No se dispone de datos y no se pueden preparar factores de emisión. En procesos de acabado realizados en Alemania no se han encontrado concentraciones cuantificables.

Las liberaciones al agua dependerán de los materiales y las sustancias químicas utilizados o aplicados en el proceso o en las materias primas, así como del tratamiento que se aplique al agua. Es evidente que existe la posibilidad de liberaciones cuando las descargas y grandes cantidades de determinadas sustancias químicas estén defectuosamente controladas.

6.7.4.3 *Liberaciones con productos*

No existe un indicador sencillo que permita identificar fibras, lana o textiles contaminados por dioxina: mientras que en la mayor parte de las muestras de textiles brutos se detectaron concentraciones inferiores a 1 ng de EQT-I/kg (con promedios de unos 0,2 ng de EQT-I/kg), también se encontraron muestras muy contaminadas. Por ejemplo, en un poliéster blanqueado se encontraron 244 ng de EQT-I/kg, en algodón azul, 370 ng de EQT-I/kg (Horstmann 1994), y en lana 86 ng de EQT-I/kg (Mayer 1998). Los perfiles homólogos de todas las muestras altamente contaminadas están dominados por los PCDD y PCDF más clorados (Cl₇ y Cl₈), lo que indicaría que los tintes de pentaclorofenol o basados en el cloranilo son la fuente de la contaminación. Pero varios análisis confirman que no existe una correlación entre PCP y concentraciones de PCDD/PCDF en textiles, pese a que las características de la dioxina indicarían que la fuente ha de ser el PCP. Estos hallazgos parecen lógicos ya que el PCP es hidrosoluble y se puede eliminar en el proceso de acabado y en los procesos de lavado final, mientras que los PCDD/PCDF se adsorben en la fibra y quedan en el textil (Horstmann y McLachlan 1995b, Klasmeier y McLachlan 1998).

6.7.4.4 *Liberaciones con residuos*

Dependiendo de los factores que acaban de exponerse, los lodos procedentes del tratamiento del agua o de las distintas etapas del procesado pueden contener PCDD/PCDF. Por ahora no se dispone de datos medidos.

6.7.5 Industria del cuero

Hasta ahora no se han conocido casos de contaminación por PCDD/PCDF procedentes de la industria del cuero. Pero sí se han comunicado casos de contaminación de productos comerciales de cuero y si se tienen en cuenta las características de los PCDD/PCDF, puede darse por supuesto que la fuente de la contaminación es el PCP. Viene a confirmar esta suposición el hecho de que desde que en el año 1989 se prohibió el uso de PCP en Alemania³³, las concentraciones de PCDD/PCDF en los artículos de cuero han disminuido.

A diferencia de lo que sucede con los artículos textiles, el PCP aplicado al cuero no se puede retirar fácilmente mediante procesos de lavado. En billetteros de cuero se han encontrado concentraciones de 430 ng de EQT-I/kg, y en zapatos hasta 6.400 ng de EQT-I/kg (Malisch

³³ Se admite una concentración máxima de 5 mg PCP/kg en el producto final.

1994b). Aunque en muchos países ha disminuido el uso de PCP, por lo menos en el calzado, las concentraciones de PCDD/PCDF no disminuyen: en Alemania, 1991, se encontraron concentraciones máximas de 2.100 y 3.000 ng de EQT-I/kg, se trataba de zapatos de cuero comprados en 1991. En el año 1996 seguían observándose elevadas concentraciones (Klasmeier y McLachlan 1997). En lo que respecta a los artículos de cuero, las concentraciones de PCP guardan una relación, por lo menos cualitativa, con las concentraciones de PCDD/PCDF. Los perfiles de homólogos y congéneres y las propiedades observadas dan indicios vehementes de que el PCP es la fuente de la contaminación por dioxina.

A efectos del Instrumental, por ahora sólo se pueden dar factores de emisión correspondientes al producto final. No se dispone de datos sobre efluentes o desechos. Se espera que las emisiones atmosféricas sean insignificantes. En cambio, las liberaciones al agua y con residuos pueden ser elevadas.

Cuadro 57: Factores de emisión de la industria del cuero

| Clasificación | Factores de emisión – µg de EQT/t | | | | |
|--------------------|-----------------------------------|------|--------|-----------|----------|
| | Atmósfera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| 1. Límite superior | NA | ND | NA | 1.000 | ND |
| 2. Límite inferior | NA | ND | NA | 10 | ND |

6.8 Categoría principal 8 – Varios

Esta categoría comprende ocho procesos que no han podido clasificarse en las demás categorías principales de fuentes. En el cuadro 58 pueden verse las subcategorías.

Esta sección incluye además dos procesos (desechado de forraje verde, ahumaderos), que se pueden considerar como procesos de combustión, como, por ejemplo, la combustión de los desechos de madera – sección 6.1.6 o la calefacción doméstica y la cocina – 6.3.4. Se tratan aquí a causa de que el desecado de forraje verde puede tener un impacto considerable sobre las concentraciones de PCDD/PCDF en piensos y alimentos y, por consiguiente, sobre la exposición humana, como se ha observado recientemente en Alemania. Además, aunque aún no se ha investigado bien, el ahumado de carnes y pescados puede aumentar las concentraciones de PCDD/PCDF en los alimentos y, por consiguiente, repercutir sobre los niveles en el organismo humano.

Cuadro 58: Subcategorías de la categoría 8

| No. | Categorías y Subcategorías | Atmósfera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
|----------|--|-----------|----------|----------|-----------|----------|
| 8 | Varios | X | X | X | X | X |
| | a Desechado de biomasa (forraje verde, recortes de madera) | x | | | | |
| | b Crematorios | x | | | | x |
| | c Ahumaderos | x | | | x | x |
| | d Residuos de la limpieza en seco | | x | | | x |
| | e Consumo de tabaco | | | | | |

6.8.1 Desecado de biomasa

El desecado de biomasa, por ejemplo, de recortes de madera o de forrajes verdes, se hace o bien en bidones o bien al aire libre y sin restricciones. En condiciones controladas se utilizarán combustibles limpios como la madera. En un accidente recientemente sucedido en Alemania se encontró que como combustible se había utilizado madera contaminada, lo que produjo elevadísimas concentraciones de PCDD/PCDF en el forraje verde. Se han diferenciado tres categorías que se muestran en el cuadro 59.

El desecado de forrajes verdes utilizando combustibles de mala calidad, como madera tratada, textiles usados, alfombras, etc., puede dar lugar a la contaminación del producto. Así la contaminación por PCDD/PCDF se puede transferir a los piensos y entrar en la cadena alimentaria humana. Una buena gestión exige que en el proceso se utilice el combustible apropiado de manera que se evite la contaminación.

Cuadro 59: Factores de emisión del desecado de biomasa
* tras el desecado

| Clasificación | Factores de emisión – µg de EQT/t de producto * | | | | |
|---|---|------|--------|-----------|----------|
| | Atmós-fera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| 1. Madera limpia | 0,007 | NA | ND | 0,1 | ND |
| 2. Forraje verde | 0,1 | NA | ND | 0,1 | ND |
| 3. PCP- o biomasa tratada de otras formas | 10 | NA | ND | 0,5 | ND |

6.8.1.1 Liberaciones a la atmósfera

Las concentraciones medidas en la atmósfera van de 0,005 ng de EQT-I/m³ a 3,51 ng de EQT-I/m³, con una mediana de 0,16 ng de EQT-I/m³ (LUA 1997). Las más elevadas concentraciones se encontraron cuando para la desecación de forraje verde se había utilizado como combustible madera tratada con PCP.

6.8.1.2 Liberaciones con productos

Se pueden encontrar en los productos concentraciones próximas al límite de detección; así, por ejemplo, en la madera virgen eran de 0,1 ng de EQT-I/kg aproximadamente. Las concentraciones en forrajes se están determinando en estudios de biovigilancia con el centeno galés. Las concentraciones halladas en el producto desecado cuando se utilizó madera contaminada como combustible iban de 0,3 a 0,8 ng de EQT-I/kg m.s. Si como combustible se utiliza madera tratada con PCP se habrá de aplicar un factor de emisión de 0,5 µg de EQT-I/t, y de 0,1 µg de EQT-I/t si se utiliza un combustible limpio.

6.8.2 Crematorios

La cremación es una práctica frecuente en muchas sociedades para destruir los cadáveres por incineración. Los componentes esenciales de la cremación son el cargador del ataúd (con el

cadáver), la principal cámara de combustión y, cuando existe, una cámara de postcombustión, en muchos casos con un separador de polvo o con un sistema más perfeccionado de tratamiento de gases, y la chimenea. La mayor parte de los hornos utilizan petróleo o gas natural, otros funcionan con electricidad. En general los crematorios están situados en el interior de las ciudades y próximos a zonas residenciales, con unas chimeneas que normalmente son relativamente bajas. La reunión de estos dos factores hace que los efectos sobre el medio ambiente y el ser humano sean bastante inmediatos.

Ciertas instalaciones pueden estar desprovistas de todo sistema de depuración de gases de salida, mientras que otras más perfeccionadas poseen cámaras para la combustión secundaria que aseguren una buena combustión de los gases y además pueden tener también sistemas de retención del polvo (ciclones, precipitadores electrostáticos). Los crematorios más modernos tienen perfeccionados sistemas de CCA, como sistemas de inyección adsorbente o catalizadores que retienen o destruyen los PCDD/PCDF. Con estas últimas técnicas, fácilmente se pueden alcanzar concentraciones de emisión 0,1 ng de EQT-I/m³ (el límite legal en Alemania, 27th BImSchV). Las emisiones procedentes de crematorios sin ningún tipo de control de la contaminación atmosférica pueden alcanzar hasta 50 ng de EQT-I/m³ (@11 % O₂). Estas instalaciones son de capacidad variable entre 2 y 70 cremaciones al día. Por término medio para cada cremación se necesitan unos 70 minutos. Los volúmenes de gases de salida van de unos 2.000 m³/h a 10.000 m³/h. Se han comunicado concentraciones entre 1.000 y 2.500 ng de EQT-I/kg en la ceniza del multiciclón o en el polvo del filtro (LUA 1997; datos de Bélgica). Según datos recogidos en los Países Bajos, cada cremación genera 75 g de cenizas volantes con 35.000 ng de EQT/kg.

Cuadro 60: Factores de emisión de crematorios

| Clasificación | Factores de emisión – µg de EQT por cremación | | | | |
|---------------------------|---|------|--------|-----------|----------|
| | Atmósfera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| 1. Sin control | 90 | NA | ND | NA | NA |
| 2. Con control intermedio | 10 | NA | ND | NA | 2,5 |
| 3. Con control óptimo | 0,4 | NA | ND | NA | 2,5 |

6.8.2.1 Liberaciones a la atmósfera

Se elegirán los factores de emisión de clase 1 cuando las condiciones de combustión sean defectuosas, por ejemplo temperaturas inferiores a 850 °C, flujo de aire de combustión incontrolado, etc., si junto con el ataúd se queman materiales plásticos u otros materiales de decoración, si la madera ha sido tratada con conservadores de madera o si no se cuenta con ningún sistema de depuración de los gases de salida. Los factores de clase 2 se aplicarán en los casos en los que las condiciones de combustión sean mejores – temperaturas mantenidas con seguridad por encima de los 850 °C, combustión controlada del flujo de aire, ningún tipo de materiales problemáticos o de plástico – y cuando exista algún tipo de dispositivo para la retención del polvo. El factor de emisión de clase 3 se aplicará a las instalaciones dotadas de los mejores sistemas de CCA.

6.8.2.2 Liberaciones al agua

Normalmente, en los crematorios no se utilizan depuradores húmedos ni enfriamiento con

agua y, por consiguiente, no hay ninguna razón para que se produzcan liberaciones al agua. Si se utilizan depuradores húmedos, el sistema de CCA suele funcionar sin necesidad de agua y las aguas residuales se evaporan internamente; se encuentran ejemplos así en Europa Occidental.

6.8.2.3 *Liberaciones a la tierra*

No se produce ninguna liberación a tierra.

6.8.2.4 *Liberaciones con productos*

No se genera ningún producto.

6.8.2.5 *Liberaciones con residuos*

Unas condiciones defectuosas de combustión darán lugar a una quema incompleta del carbono orgánico y a concentraciones más elevadas en las cenizas volantes y en la ceniza del horno. Pero con los datos disponibles sólo se pueden hacer estimaciones iniciales válidas para todas las clases.

6.8.3 Ahumaderos

En muchos países se utiliza con frecuencia el ahumado para la conservación de carnes y pescados. En general los ahumaderos son instalaciones relativamente pequeñas, las condiciones de la combustión pueden no ser óptimas y en el combustible que utilizan, sobre todo madera, puede haber un potencial de formación de dioxina.

Cuadro 61: Factores de emisión para ahumaderos

| Clasificación | Factores de emisión | | | | |
|---|---------------------|------|--------|------------------------------|--|
| | Atmós-fera µg/t | Agua | Tierra | Productos ng de EQT/kg | Residuos µg de EQT/t de residuos |
| 1. Usa madera tratada como combustible | 50 | NA | NA | ND | Igual que la combustión de la madera |
| 2. Combustible limpio, sin postcombustión | 6 | NA | NA | ND | |
| 3. Combustible limpio, con postcombustión | 0,6 | NA | NA | ND | |

6.8.3.1 *Liberaciones a la atmósfera*

En Alemania se han publicado datos sobre concentraciones de PCDD/PCDF en los gases de salida de ahumaderos (LAI 1993). Una cámara de ahumado convencional emite unos 300 m³/h y da unos 50 kg de producto por hora. El volumen de gas de salida será de

6.000 m³/t de producto. Con unos datos medidos de 1,02 ng de EQT/m³ en un ahumadero que carecía de postcombustión térmica y de 0,1 ng de EQT/m³ para un ahumadero con postcombustión térmica, se han constituido los factores de emisión correspondientes a la clase 2 y a la clase 3. Se aplicará el factor de emisión de la clase 1 cuando se utilice madera tratada. El factor de emisión de clase 2 corresponderá a las instalaciones que utilizan madera limpia.

6.8.3.2 *Liberaciones al agua*

Normalmente, en los ahumaderos no se utilizan depuradores húmedos y, por consiguiente, no hay ninguna descarga al agua.

6.8.3.3 *Liberaciones a la tierra*

No hay liberaciones a tierra.

6.8.3.4 *Liberaciones con productos*

Se han hecho mediciones sistemáticas en carnes y pescados ahumados. En un pequeño número de ellas se ha encontrado un aumento de la concentración de dioxina. Pero la concentración en el alimento está determinada por el origen de éste (con mayores concentraciones en vacas y ovejas y menores en los cerdos; muy variable, aunque a veces muy elevada, en el pescado).

6.8.3.5 *Liberaciones con residuos*

Los factores de emisión son los mismos que para la combustión de la madera.

6.8.4 Limpieza en seco

Se han encontrado PCDD/PCDF en los residuos de destilación de instalaciones de limpieza en seco (limpieza de textiles con solventes, sin lavado con agua). Se ha identificado como fuente de contaminación la contaminación de textiles con PCDD/PCDF, procedente del uso de PCP como biocida para la protección del textil o de la materia prima – lana, algodón, etc. – o bien por los tintes utilizados. El proceso de limpieza en seco por sí mismo no produce ningún PCDD/PCDF. Durante el proceso de limpieza en seco la contaminación por PCDD/PCDF se extrae del textil y pasa al solvente. El solvente se destila para su recuperación y reutilización y, por consiguiente, los PCDD/PCDF se concentran en los residuos de destilación que normalmente se desechan. Investigaciones detalladas han demostrado que sobre las concentraciones de PCDD/PCDF en los residuos de destilación no influye el solvente utilizado en el proceso de limpieza en seco; los solventes más utilizados son percloroetileno, gasolina o fluorocarburos.

Cuadro 62: Factores de emisión en residuos de limpieza en seco

| Clasificación | Factores de emisión – µg de EQT/t de residuo de destilación | | | | |
|---|---|------|--------|-----------|----------|
| | Atmósfera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| 1. Textiles pesados, tratados con PCP, etc. | NA | NA | ND | ND | 3.000 |
| 2. Textiles normales | NA | NA | ND | ND | 50 |

6.8.4.1 Liberaciones al agua

No se espera ninguna liberación al agua.

6.8.4.2 Liberaciones a la tierra

No se espera ninguna liberación a la tierra.

6.8.4.3 Liberaciones con productos

No se genera ningún producto (sólo hay un riesgo en los residuos de la destilación).

6.8.4.4 Liberaciones con residuos

Se aplicará el factor de emisión de clase 1 cuando en el proceso se limpien textiles muy contaminados, por ejemplo alfombras o cortinas pesadas sospechosas de haber sido tratadas con PCP (el país de origen puede ser un indicador) o prendas de trabajadores que hayan desarrollado su actividad en ambientes contaminados por dioxina. Se aplicará el factor de emisión de clase 2 cuando se limpie ropa normal.

Deberá tomarse nota del tratamiento de los residuos.

6.8.5 Consumo de tabaco

Como en cualquier otro proceso térmico, la “combustión” de cigarrillos y cigarros puros produce PCDD/PCDF. Investigaciones realizadas sobre las diez marcas más populares fumadas en Alemania han dado “emisiones” de 0,1 pg de EQT-I/cigarrillo. No hay datos sobre cigarros puros. Sólo se han estudiado las emisiones a la atmósfera; todas las demás liberaciones serán insignificantes.

Cuadro 63: Factores de emisión del consumo de tabaco

| Clasificación | Factores de emisión – pg de EQT-I/Cigarro o cigarrillo | | | | |
|---------------|--|------|--------|-----------|----------|
| | Atmósfera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| 1. Cigarro | 0,3 | NA | NA | NA | NA |
| 2. Cigarrillo | 0,1 | NA | NA | NA | NA |

6.8.5.1 *Liberaciones a la atmósfera*

Los factores de emisión son evidentes. El factor de emisión correspondiente a los cigarros puros se ha calculado teniendo en cuenta que con ellos se consume una cantidad mayor de tabaco. Un puro puede tener entre 2 y 20 veces más tabaco que un cigarrillo.

6.8.5.2 *Liberaciones al agua*

No es aplicable.

6.8.5.3 *Liberaciones a la tierra*

No es aplicable.

6.8.5.4 *Liberaciones con productos*

No se genera ningún producto.

6.8.5.5 *Liberaciones con residuos*

No es aplicable.

6.9 Categoría principal 9 – Evacuación/terraplén

La forma como se manejan y evacuan los desechos puede tener importantes efectos sobre la formación y liberación de PCDD/PCDF. En secciones anteriores se han descrito muchos procesos que producen residuos que contienen PCDD/PCDF. Lo que se haga con esos residuos, por ejemplo conteniéndolos en terraplenes seguros, destruyéndolos (descontaminación térmica o química) o liberándolos al medio ambiente, por ejemplo, en efluentes que sencillamente se vierten a ríos, lagos u océanos, puede provocar liberaciones de esos contaminantes que van desde insignificantes hasta muy importantes. Deberá tomarse nota de todas las prácticas de evacuación de residuos que contengan dioxina. En casos extremos la evacuación de residuos puede provocar fuertes exposiciones a PCDD/PCDF. Recientes ejemplos son el accidente de los pollos en Bélgica, en el que un aceite usado que contenía PCB se recicló en grasas utilizadas por los fabricantes de piensos o el uso de cal contaminada en la producción de alimentos para animales.

Esta sección se ocupa de posibilidades de evacuación distintas de la incineración o el reciclado térmico. Cuando están presentes los PCDD/PCDF es porque se han formado dioxinas y furanos en otros procesos pero la contaminación se concentrará o dispersará según las distintas posibilidades de gestión que se mencionan en el cuadro 64. Ya antes, sobre todo en la sección 6.7, se han dado ejemplos de productos contaminados por PCDD/PCDF. La presencia de dioxinas y furanos en el medio ambiente humano general como, por ejemplo, en bienes de consumo o en residuos, incluso en polvo en la vivienda, es consecuencia de que los desechos domésticos “normales” contienen PCDD/PCDF. Se conocen pocos datos sobre

concentraciones de PCDD/PCDF en los desechos sólidos municipales: los números van desde unas concentraciones relativamente bajas, pocos ng de EQT-I/kg, hasta concentraciones superiores a 100 ng de EQT-I/kg, con máximos varias veces superiores (sobre todo cuando hay presentes fracciones de polvo). En Alemania, en los primeros años noventa se calculó una concentración media de 50 ng de EQT-I/kg y en el Reino Unido, a mediados de los años noventa, se midió una concentración media de 6 ng de EQT-I/kg. Como la composición de los desechos varía mucho de unos países a otros y a lo largo del año (durante el verano abundan más los materiales verdes) y como las emisiones o los productos utilizados cambian, es preciso tener en cuenta las variaciones en el tiempo. Habrá asimismo tendencias temporales cuando se modifiquen los planes de gestión, por ejemplo, que se instale un sistema de reciclado para el papel y el cartón utilizados (por ejemplo, periódicos, papeles de oficina, papeles de embalaje) o para el vidrio, las latas, etc., o si se promueve el compostado para suprimir esas fracciones de los desechos que va a ir a un terraplén o se van a verter. Por otra parte, el crecimiento económico puede aumentar las cantidades de materiales plásticos de todos los tipos y de materiales compuestos que se evacúan al final de su vida útil. Por último, es muy difícil o casi imposible tomar una muestra representativa de los desechos y determinar en ella su concentración de PCDD/PCDF.

Cuadro 64: Subcategorías de la matriz del inventario– Sector 9

| No. | Categorías y subcategorías | Atmós-fera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
|----------|--|------------|----------|----------|-----------|----------|
| 9 | Evacuación | | X | X | | X |
| | a Terraplenes y vertederos | | x | | | |
| | b Alcantarillado/tratamiento de aguas negras | | x | x | x | x |
| | c Compostado | | | | x | |
| | d Vertido al agua abierta (a ríos, lagos, océanos) | | x | | | |
| | e Evacuación de aceites de desecho (no combustión) | | x | x | | |

6.9.1 Terraplenes y vertederos

A efectos del Instrumental, terraplenes y vertederos son lugares donde se depositan los desechos, enterrándolos o apilándolos sobre la superficie. En general el terraplén está más elaborado: con frecuencia se trata de una oquedad en el suelo, restos de una mina o de una cantera, y en las instalaciones modernas se utilizan revestimientos y cubiertas para controlar las infiltraciones de agua; también pueden recogerse los gases y la lixiviación. Lo mejor es que los terraplenes estén sometidos a reglamentos y controles. A efectos del Instrumental, como vertedero se entenderá un lugar no reglamentado donde se apilan desechos mixtos.

En el terraplén o en el vertedero se degradan las materias orgánicas y como resultado se producen gases, sobre todo metano. El paso de agua a través de los desechos puede provocar una lixiviación. Si no se ha instalado un sistema de captación, los gases y lixiviados del terraplén saldrán de éste de manera no controlada.

Los más perfeccionados sistemas de recogida de gases de terraplén pueden captar la mitad aproximadamente de los gases que se producen en un lugar. Los gases recogidos pueden

utilizarse (véase la sección 6.3.3), y de ese uso de desprenden liberaciones que no se consideran en este lugar.

Cuadro 65: Factores de emisión de terraplenes y vertederos

| Clasificación | Factores de emisión – pg de EQT/L de lixiviado liberado | | | | |
|---------------------------|---|------|--------|-----------|----------|
| | Atmósfera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| 1. Desechos peligrosos | 0 | 200 | NA | NA | NA |
| 2. Desechos no peligrosos | 0 | 30 | NA | NA | NA |

6.9.1.1 Liberaciones a la atmósfera

Por término medio, 1 tonelada de desechos municipales normales depositada en un terraplén produce 150 m³ de gas de terraplén (desechos europeos) durante un período de 10-20 años (o incluso más). La mayor producción de gas tiene lugar en los primeros años del vertido. Las mediciones de gases de terraplén no han permitido hallar concentraciones cuantificables de PCDD/PCDF. En incendios y en motores de gas sí se han detectado concentraciones de PCDD/PCDF (véase el capítulo 6.3.3). En el gas de terraplén nativo no se han cuantificado PCDD/PCDF. De esta actividad no cabe esperar ninguna emisión atmosférica mensurable.

6.9.1.2 Liberaciones al agua

El lixiviado o deslave de terraplenes y vertederos puede contener PCDD/PCDF. Se dispone de pocos datos sobre concentraciones de PCDD/PCDF en lixiviados. Lo más probable es que los PCDD/PCDF se concentren en posibles fases oleosas del lixiviado (las fases oleosas pueden hallarse o bien por encima o bien por debajo de la fase acuosa). Los análisis efectuados hasta ahora en aguas lixiviadas de terraplenes municipales, mixtos no peligrosos no han permitido hallar PCDD/PCDF.

Datos procedentes de cinco terraplenes de Nueva Zelanda dieron entre 7,5 y 221 pg de EQT-I/L. El inventario de Nueva Zelanda (NZ 2000) subdivide esta gama en 14-48.3 pg de EQT-I/L para los terraplenes pequeños y medios y 7,5-221 pg de EQT-I/L para los grandes terraplenes. Las concentraciones más elevadas se encontraron en un terraplén que contenía importantes desechos industriales y potencialmente peligrosos.

A efectos del Instrumental, se proponen dos categorías: la clase 1, con un factor de emisión de 200 pg de EQT-I/L para terraplenes que pueden contener desechos peligrosos, y una clase 2 con un factor de emisión de 30 pg de EQT-I/L para terraplenes que contienen desechos municipales no peligrosos.

6.9.1.3 Liberaciones a la tierra

Puede producirse contaminación del suelo a partir de vertederos y terraplenes mal controlados.

6.9.1.4 *Liberaciones con productos*

No hay ningún producto.

6.9.1.5 *Liberaciones con residuos*

En general no se producen residuos. Los PCDD/PCDF existentes en el terraplén actúan como reservorio y fuente potencial para el futuro.

6.9.2 Aguas de alcantarilla y su tratamiento

Los lodos de alcantarilla que aquí se consideran representan el residuo sólido resultante del tratamiento de las aguas residuales, en particular de las procedentes de los sistemas sanitarios y de las viviendas. Entre las aguas residuales figuran los desechos humanos (aguas de alcantarilla), el agua resultante del lavado de personas y ropas, en ciertos casos el agua de escorrentía, y los efluentes industriales que se vierten al alcantarillado. Como la mayor parte de la contaminación existente en los lodos tiene su origen en otros procesos o productos³⁴, los lodos de alcantarilla pueden considerarse como los sumideros de PCDD/PCDF formados y emitidos previamente a partir de otras fuentes. Pero el manejo de los lodos puede causar liberaciones de PCDD/PCDF. En varios países se han estudiado concentraciones en los lodos de alcantarilla. Otros países, como Alemania y Austria, que disponen de una legislación al respecto, analizan sistemáticamente los lodos de alcantarilla para detectar la presencia de PCDD/PCDF. En esta sección sólo se consideran los lodos resultantes de las aguas negras domésticas. Los lodos resultantes de procesos de producción, por ejemplo de la industria de la pasta y el papel, se tratan en sus correspondientes subcategorías (sobre todo en la sección 6.7.1).

Las cantidades de PCDD/PCDF que entran en el sistema de alcantarillado o las instalaciones de tratamiento dependerán de las fuentes de las aguas residuales. Los sistemas de tratamiento de las aguas negras pueden tener distintas configuraciones, desde el simple transporte del efluente a un vertedero (a veces al mar) sin tratamiento alguno, hasta el tratamiento biológico y la sedimentación, pasando por la simple retención de partículas (en estanques de sedimentación o mediante tamizado grueso). En algunos casos pueden aplicarse otras etapas más de tratamiento.

Las cantidades de PCDD/PCDF que ingresan en el sistema de alcantarillado o en las instalaciones de tratamiento dependerán de las fuentes de las aguas residuales. El paso a aguas residuales puede ser muy variable y, por consiguiente, es difícil hacer estimaciones. Lo más probable es que las concentraciones más bajas se den en lugares donde no haya ninguna industria y en medios remotos o subdesarrollados. En estos casos, las concentraciones de PCDD/PCDF en la escorrentía son bajas (siempre que no haya depósitos a partir de la atmósfera). Pueden esperarse también concentraciones bajas en países que impongan estrictos

³⁴ Algunos autores han señalado la formación biogénica de PCDD/PCDF en los lodos de alcantarilla. Pero la contribución de esta formación biológica es muy pequeña y no se puede cuantificar en términos de factores de emisión. Además, tampoco se toma en consideración la biodegradación de PCDD/PCDF durante la fermentación. Los PCDD/PCDF pueden también producirse en el momento de la desecación térmica de los lodos.

controles a las descargas de efluentes industriales al alcantarillado y con controles también efectivos sobre los PCP, etc., aplicados a los textiles y que no utilicen papel higiénico blanqueado con cloro. Los niveles más elevados se encontrarán probablemente en zonas urbanas que también tengan industrias y que utilicen bienes de consumo que contengan dioxina. En ocasiones, la descarga directa de efluentes industriales (para referencia, véase la sección 6.7.2) sin ningún tratamiento pueden causar elevadísimos niveles de PCDD/PCDF en los lodos de alcantarilla.

Si en el lugar donde se produce el lodo se aplica un tratamiento más avanzado, por ejemplo, biológico, la mayor parte de los PCDD/PCDF quedarán concentrados en los lodos producidos. Es lo más probable que la cantidad de PCDD/PCDF en el efluente se vea influida por la cantidad de sólidos suspendidos que en él queden.

Cuadro 66: Factores de emisión de los lodos de alcantarilla
(Nota: los factores de emisión se dan en pg de EQT-I/L de efluente de agua de alcantarilla y en µg de EQT-I por tonelada de lodos de alcantarilla (materia seca = m.s.) y, por consiguiente, se trata de concentraciones y NO de toneladas por lodos de alcantarilla)

| Clasificación | Factores de emisión | | | |
|---|---------------------|---------------------------|--------|---|
| | Atmós-fera | Agua pg de EQT- I/L | Tierra | Productos = Residuos µg de EQT/t m.s. |
| 1. Mezcla de residuos domésticos e industriales (posiblemente con cloro) | NA | 5 ^a | NA | 1000 |
| | NA | 0,5 ^b | NA | 1000 |
| 2. Medio ambiente urbano | NA | 2 ^a | NA | 100 |
| | NA | 0,5 ^b | NA | 100 |
| 3. Medio ambiente remoto o control de entradas (y sistemas de tratamiento instalados) | NA | 0,5 | NA | 10 |

a = sin retirada de lodos, b = con retirada de lodos

6.9.2.1 Liberaciones a la atmósfera

Las emisiones a la atmósfera no tienen importancia en este caso, aparte de la incineración u otros tratamientos térmicos de los lodos de alcantarilla.

6.9.2.2 Liberaciones al agua

Los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas de alcantarilla tienen normalmente concentraciones muy bajas de PCDD/PCDF y la retención de las partículas permite su eliminación casi completa, ya que dioxinas y furanos se ligan estrechamente al carbono orgánico de las partículas de lodo. El factor de emisión más alto, la clase 1, se aplicará a los lugares donde no se generan lodos, mientras que el factor de emisión de clase 2 se reservará para los casos en los que haya algún sistema de retención de lodos.

6.9.2.3 *Liberaciones a la tierra*

Los lodos resultantes del tratamiento de aguas de alcantarilla pueden aplicarse al suelo para mejorar la calidad de la tierra. En estos casos se utilizarán las concentraciones del producto.

6.9.2.4 *Liberaciones con productos*

El lodo puede considerarse como un producto cuando se aplica al suelo para mejorarlo. Estos casos se considerarán como de liberaciones a tierra (véase antes). Los lodos que se eliminan de otras maneras se consideran como residuos.

Los lodos de alcantarilla son un producto y no generan residuos. La concentración de clase 1 se aplicará en los casos en los que, además de los efluentes domésticos normales, al mismo sistema de alcantarillado lleguen efluentes industriales que podrían estar contaminados por dioxinas y furanos o cuando a la planta de tratamiento del alcantarillado entre escorrentía de tejados y suelos con altas cargas de finas partículas. Los factores de clase 2 se aplicarán a zonas urbanas, industrializadas, y los factores de clase 3 a las zonas remotas sin ninguna fuente de dioxina conocida en la proximidad (Rappe et al. 1996). Los factores de emisión de clase 3 corresponderán a zonas/países con reglamentos que eviten que efluentes contaminados entren en las plantas de tratamiento del agua de alcantarilla (esto explica por qué en los lodos de las grandes ciudades europeas se encuentran concentraciones relativamente bajas).

6.9.2.5 *Liberaciones con residuos*

El residuo es el lodo de alcantarilla (producto de tratamientos biológicos o de estanques de sedimentación) y los sólidos que se extraen por gravedad. No se producen residuos cuando no se realiza tratamiento. Cuando los lodos se aplican al terreno esto se considerará como liberaciones a tierra. Deberán anotarse los casos en los que los lodos se vierten al mar.

6.9.3 Compostado

El compostado es un método popular de utilización de desechos resultantes de actividades culinarias, jardinería, mantenimiento de parques y otras áreas públicas/privadas y de la agricultura y silvicultura. En principio todo material orgánico se puede compostar, proceso de evacuación que es muy bien aceptado por la población. Con el compostado se pierde aproximadamente el 50% del peso del material de entrada. El contenido medio de agua del composte es del 30%.

Datos obtenidos en Europa han mostrado que la contaminación por PCDD/PCDF puede ser elevada cuando se composta la fracción orgánica total. Existen fracciones que pueden ingresar en el proceso de compostado y que llevan elevadas concentraciones de PCDD/PCDF. Esos materiales son, por ejemplo, el contenido de las aspiradoras de polvo o todas las partículas finas como el polvo doméstico, el suelo de tierras contaminadas que pasa con residuos vegetales de distintas plantas, las hojas contaminadas por el tráfico con gasolina con plomo, el césped de cementerios y otros desechos orgánicos tratados con plaguicidas. De esta práctica puede resultar un producto final inaceptablemente contaminado que no debe

utilizarse en horticultura. En estos compostes se han detectado concentraciones superiores a 100 ng de EQT-I/kg.

Cuadro 67: Factores de emisión del composte

| Clasificación | Factores de emisión - µg de EQT/t m.s. | | | |
|--|--|------|--------|----------------------|
| | Atmós-fera | Agua | Tierra | Productos = Residuos |
| 1. Fracción orgánica completa | NA | NA | NA | 100 |
| 2. Desechos de jardín y de cocina | NA | NA | NA | 15 |
| 3. Materiales verdes de medios no impactados | NA | NA | NA | 5 |

6.9.3.1 *Liberaciones a la atmósfera*

Las liberaciones a la atmósfera son muy bajas (pocos pg por m³) y no hay que tenerlas en cuenta.

6.9.3.2 *Liberaciones al agua*

El proceso de compostado genera agua, pero las concentraciones de PCDD/PCDF son normalmente muy bajas y durante el proceso el agua se recicla en el propio composte.

6.9.3.3 *Liberaciones a la tierra*

La utilización habitual del composte acabado es la aplicación al suelo y, por consiguiente, se utilizarán las concentraciones que haya en el producto.

6.9.3.4 *Liberaciones con productos*

En el caso del composte, el producto es igual al residuo. Se aplicará la concentración de clase 1 a los casos en los que se composte la totalidad de la fracción orgánica y eventualmente el contenido de las aspiradoras de polvo, la ceniza de chimeneas o estufas o la de barbacoas/asadores. El factor de emisión de clase 2 se utilizará cuando se composten residuos de cocina y césped de jardín junto con hojas o agujas de parques, etc. El factor de emisión de clase 3 corresponderá a los casos en los que se composten residuos de verduras y plantas que no hayan sido tratadas con plaguicidas clorados y en los que no se incluyan partículas finas.

6.9.4 Vertidos al agua abierta

El vertido a aguas abiertas es una práctica de gestión de desechos o de aguas residuales y el final de otras actividades industriales o domésticas. Dependiendo del nivel de industrialización y civilización, los efluentes domésticos e industriales o bien se recogen y tratan en plantas para el tratamiento centralizado de las aguas de alcantarilla, o bien se

utilizan fosas sépticas para viviendas individuales o bien se descargan directamente al medio ambiente. En la mayor parte de los casos estas descargas van a aguas receptoras como ríos, lagos u océanos.

En esta subsección 6.9.4, el Instrumental no se ocupa de efluentes industriales, que se tratan con sus correspondientes ramos industriales. Aquí se trata de caracterizar y cuantificar vertidos de viviendas, oficinas y pequeños negocios, así como la escorrentía de terrenos acotados como estacionamientos de automóviles, calles, etc. Las concentraciones de PCDD/PCDF en los efluentes domésticos varían entre 0,8 pg de EQT-I/L y 15 pg de EQT-I/L. Ciertas fracciones, como los efluentes de máquinas de lavar, tienen concentraciones más elevadas (17-25 pg de EQT-I/L) mientras que otras, como los efluentes de duchas o baños tienen concentraciones inferiores (2-16 pg de EQT-I/L).

Cuadro 68: Factores de emisión de vertidos a agua abierta

| Clasificación | Factores de emisión – pg de EQT/L | | | | |
|------------------------------------|-----------------------------------|------|--------|-----------|----------|
| | Atmósfera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| 1. Aguas residuales contaminadas | NA | 50 | NA | NA | NA |
| 2. Aguas residuales urbanas mixtas | NA | 5 | NA | NA | NA |

6.9.4.1 *Liberaciones a la atmósfera*

Insignificantes.

6.9.4.2 *Liberaciones al agua*

6.9.4.3 *Liberaciones a la tierra*

Insignificantes.

6.9.4.4 *Liberaciones con productos*

No se producen, ya que no hay ningún producto.

6.9.4.5 *Liberaciones con residuos*

Insignificantes.

6.9.5 Evacuación de aceites de desecho (no térmicos)

Por varias razones puede ser difícil estimar la evacuación de aceites de desecho para el inventario de dioxinas. En primer lugar, no existe una definición clara de lo que es un aceite “usado” o un aceite “de desecho”. La fracción oleosa o grasa recogida en los filtros para aceite de cantinas, restaurantes, empresas, etc., se puede recoger y reciclar. Aceites de

automóviles, otros motores, etc., pueden representar otra categoría distinta y, finalmente, hay que tener en cuenta los aceites procedentes de transformadores, que pueden contener PCB. Estos últimos se tratarán en la categoría principal 10, mientras que los de las primeras clases se tratan en esta sección.

La primera dificultad surge cuando se trata de obtener datos sobre actividad, es decir qué cantidad de aceite de desecho se recoge y procesa en un país. Se puede dar por supuesto que una gran parte del total se va a procesar ilegalmente (y su proporción quedará desconocida). Una parte del aceite de desecho se utilizará como combustible alternativo en otros procesos y así se ha de contabilizar, por ejemplo en instalaciones de mezclado de asfalto, en hornos de cemento, fábricas de ladrillos, etc. Otra parte se puede mezclar con aceites pesados y utilizar en barcos transatlánticos. Por último, puede quedar una parte que se va a quemar sin previo procesamiento. La medición de emisiones de estas instalaciones de combustión ha dado concentraciones entre 0,1 ng de EQT-I/m³ y 0,3 ng de EQT-I/m³ (incluidos transatlánticos) (LUA 1997, datos de los Países Bajos). El factor de emisión se muestra en el cuadro 69.

Cuadro 69: Factores de emisión de la evacuación de aceites de desecho

| Clasificación | Factores de emisión – µg de EQT/t de aceite | | | | |
|----------------------|---|------|--------|-----------|----------|
| | Atmósfera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| Todas las categorías | 4 | NA | ND | ND | ND |

6.9.5.1 Liberaciones a la atmósfera

Como todos los datos medidos han dado resultados muy próximos, no se puede dar más que un solo factor de emisión.

6.9.5.2 Liberaciones al agua

La evacuación de aceites de desecho a sistemas de drenaje y corrientes de agua puede ser una importante causa de contaminación ambiental. Como no se dispone de datos sobre concentraciones, no se puede dar un factor de emisión.

6.10 Categoría principal 10 – Puntos calientes

Esta sección 6.10 da una lista indicativa de las actividades que han podido producir contaminación del suelo o de sedimentos con PCDD/PCDF. Si alguna de las actividades aquí mencionadas se ha puesto en práctica o se está practicando, hay grandes probabilidades de detectar contaminación por PCDD/PCDF. No pueden darse indicaciones cuantitativas pero en muchos casos las concentraciones serán en varios órdenes de cantidad superiores a las concentraciones ambientales. Cada uno de estos posibles puntos calientes requiere una evaluación específica de lugar comenzando por una evaluación histórica sobre si se han realizado o se están realizando actividades sospechosas. En este contexto es importante obtener una estimación de la magnitud, por ejemplo, de las sustancias químicas producidas o utilizadas, y de la escala de tiempo de las actividades (meses, años, decenios).

6.10.1 Lugares de producción de sustancias orgánicas cloradas

Hay muchas probabilidades de que estén contaminados los edificios y suelos donde se estén produciendo o se hayan producido sustancias orgánicas cloradas. Las concentraciones de PCDD/PCDF más elevadas se asociarán probablemente con la producción de fenoles clorados y sus derivados. Si se han producido descargas de aguas residuales en aguas receptoras, los sedimentos subyacentes a la tubería de descarga pueden estar contaminados por PCDD y PCDF. Si se ha permitido que las aguas residuales se sedimenten en estanques, estos sedimentos o los lodos resultantes de estos estanques de sedimentación pueden contener elevadas concentraciones de PCDD/PCDF.

6.10.2 Lugares de producción de cloro

La fabricación de cloro con célula de mercurio y ánodos de grafito deja residuos contaminados por PCDD/PCDF. Se han encontrado contaminaciones hasta de 30 mg de EQT/kg de residuos. Para la producción de cloro se utilizaban casi exclusivamente ánodos de grafito hasta que en los años setenta fueron reemplazados por ánodos metálicos. El ánodo de grafito estaba compuesto por varios tipos de partículas de cok mezcladas con un ligante de brea. Una parte del oxígeno se liberaba en los ánodos con el cloro y este oxígeno atacaba al grafito formando monóxido de carbono y dióxido de carbono. El desgaste del electrodo era la causa de que el grafito se consumiese a razón de unos 2 kg por tonelada de cloro producida a partir de cloruro sódico y de 3-4 kg por tonelada de cloro producida a partir de cloruro potásico. El residuo de grafito producido estaba contaminado por compuestos de PCDD/PCDF, resultantes sobre todo de la reacción entre el cloro y el ligante de brea que contenía hidrocarburos aromáticos (PAH) (Ullmann 1996).

Para estos lugares no puede darse un factor de emisión para PCDD/PCDF y será preciso evaluar sitio por sitio. Lo primero que habrá que estudiar es el suelo y si se ha producido lixiviación hacia compartimientos vecinos y si también se han visto afectados por sedimentos los ríos próximos. El hallazgo de elevadas concentraciones de mercurio puede ser firme indicador de contaminación por PCDD/PCDF, pero no puede establecerse un factor de correlación.

6.10.3 Lugares de formulación de fenoles clorados

Son lugares donde se prepararon fórmulas con fenoles clorados, por ejemplo de plaguicidas destinados a la agricultura o a otros usos. Normalmente, la contaminación se encontrará en los edificios donde se almacenaron o formularon los fenoles clorados. Por consiguiente, existen altas posibilidades de contaminación del suelo.

6.10.4 Lugares de aplicación de fenoles clorados

Se trata, por ejemplo, de los lugares donde se han aplicado sustancias químicas como plaguicidas. Según diversas modalidades de aplicación, se han utilizado herbicidas que contienen dioxina, como 2,3,4-T, 2,4-D u otros (véanse las secciones 6.7.2.3, 6.7.2.5 o 6.7.2.6) en agricultura o para despejar caminos. Además de las aplicaciones que se muestran en la sección 6.10.5, la contaminación por pentaclorofenol y sus sales puede producirse en

arrozales o en cultivos cuando existen cercas con postes tratados por PCP o alrededor de los postes de teléfonos, etc.

6.10.5 Fabricación de madera y lugares de tratamiento

Los aserraderos y lugares de manufactura de la madera suelen asociarse al uso de pentaclorofenol. Suelos y sedimentos pueden encontrarse contaminados por PCDD/PCDF. Estas industrias utilizan mucha agua y con frecuencia se sitúan al lado de los ríos. Como el PCP y el PCP-Na tienen una solubilidad en agua mucho más elevada y una vida media más breve, la concentración de PCP en suelos o sedimentos no dará más que algún indicio sobre contaminación por PCDD/PCDF. No puede establecerse una correlación cuantitativa entre concentraciones de PCB y de PCDD/PCDF, pues ambas clases de compuestos tienen diferentes características físicas y químicas, así como destinos distintos en las mismas condiciones ambientales.

6.10.6 Transformadores y capacitores rellenos de PCB

Todo transformador o capacitor que contenga PCB, contendrá también PCDF. A medida que aumentan la edad y el tiempo de funcionamiento, aumentarán también las concentraciones de PCDF en el material que llena el transformador. Mientras los transformadores y los capacitores estén en buen estado, es decir, sin escapes, no se producirán liberaciones de PCDF al medio ambiente. Pero en el momento que se produzcan escapes, se liberará PCDF al entorno, es decir, suelo, superficies y sedimentos. El PCB puede servir como indicador, ya que los PCB más clorados tienen en el medio ambiente un comportamiento similar (sobre todo en cuanto a estabilidad y movilidad) al del PCDF 2,3,7,8-sustituido.

Los factores de emisión aplicables a los productos con PCB se agruparán según su contenido de cloro, como se muestra en el cuadro 70. Es sabido que bajo estrés térmico, el PCB se transformará en PCDF y así aumentará el EQT. No puede establecerse una correlación, pero sí puede suponerse que los PCB usados tendrán mayores concentraciones que los PCB nuevos. En la actualidad, todos los PCB que se descubran en cualquier tipo de equipo se considerarán como PCB "usados", y las concentraciones que se dan a continuación se considerarán como límites inferiores.

Cuadro 70: Factores de emisión de PCB

| Tipo de PCB | PCB nuevo (μg de EQT/t) |
|--|--|
| Poco clorados, como Clofen A30, Aroclor 1242 | 15.000 |
| Cloración media, como Clofen A40, Aroclor 1248 | 70.000 |
| Cloración media, como Clofen A50, Aroclor 1254 | 300.000 |
| Muy clorados, como Clofen A60, Aroclor 1260 | 1.500.000 |

De todas formas, los reglamentos relativos al PCB existentes en muchos países exigen que se haga un inventario de todos los equipos que contengan esta sustancia y que se traten como desechos peligrosos (en lo que respecta a su evacuación). Estas medidas ayudarán a identificar los PCB para el inventario de dioxinas y también a identificar posibles puntos calientes en los que PCB podría haberse vertido al medio ambiente.

6.10.7 Vertederos de desechos/residuos de categorías 1-9

En todo lugar donde se hayan evacuado productos o residuos que contengan PCDD/PCDF, existen probabilidades de que esos contaminantes sean liberados al medio ambiente. Los propios vertederos o terraplenes constituyen el reservorio. En esos vertederos los PCDD/PCDF se mantienen relativamente inmóviles mientras no haya infiltraciones de agua que puedan movilizar la contaminación por PCDD/PCDF. Una vez liberados, los PCDD/PCDF se concentrarán en las capas oleosas (fases orgánicas de la mezcla de fases agua/materia orgánica). Cuando se trate de realizar análisis, sólo se buscarán los PCDD/PCDF en la fase orgánica. Todas las experiencias han demostrado que las fases acuosas sólo contienen concentraciones no detectables de PCDD/PCDF.

Se considerarán como indicadores de la existencia de PCDD/PCDF en un vertedero los siguientes desechos que figuren en el correspondiente registro:

- (3) Residuos de la producción química, en particular clorofenoles;
- Residuos de procesos de combustión e incineración, como cenizas volantes;
- Equipos que contienen PCB (como capacitores, transformadores y otros aparatos eléctricos);
- Lodos de fábricas de pasta que utilizan cloro libre para el blanqueo;
- Industria de la madera cuando se haya aplicado PCP u otros conservadores de la madera que contengan cloro;
- Cuando se hayan quemado cables de cobre revestidos de plástico;
- Tras incendios de terraplén incidentales o accidentales.

6.10.8 Lugares donde se hayan producido accidentes importantes

Ciertos accidentes, como los incendios, pueden dejar hollín y residuos con elevadas concentraciones de PCDD/PCDF (véase también la sección 6.6.2). Estos incendios son con frecuencia incendios de transformadores con PCB, de almacenes o de viviendas (sobre todo si han ardido maderas tratadas, plásticos, alfombras o retardantes de llama bromados). Normalmente, la contaminación por PCDD/PCDF se concentra en el hollín. Este deberá recogerse y evacuarse adecuadamente como desecho peligroso.

6.10.9 Dragado de sedimentos

Los sedimentos depositados en puertos o bajo conducciones de descargas industriales correspondientes a algunas de las actividades antes mencionadas pueden estar contaminados por PCDD/PCDF. Es muy frecuente que para facilitar la navegación estos sedimentos se draguen y depositen en tierra. Esta actividad sólo sirve para retirar la contaminación por PCDD/PCDF del lugar donde se había depositado y de las vías de navegación, pero no hace más que transferir el mismo nivel de contaminación a otro lugar con exposiciones potencialmente nuevas (→ suelos agrícolas o residenciales). Por consiguiente, será preciso determinar con el máximo cuidado cuál es la mejor forma de manejar los sedimentos contaminados para reducir el riesgo de cualquier exposición inadvertida.

6.10.10 Lugares donde hay caolina o arcilla plástica

En estos últimos años se ha venido observando con frecuencia cada vez mayor casos de contaminación por PCDD/PCDF en el medio ambiente que pueden ser considerablemente más antiguos que la propia industria del cloro y que, de hecho, han podido ser el resultado de actividades no antropogénicas. Se han encontrado altas concentraciones, sobre todo de PCDD, en minas de arcilla plástica en los Estados Unidos, en minas de arcilla caolinítica en Alemania, en muestras profundas de suelo en Gran Bretaña, en muestras profundas de sedimentos marinos, de antigüedad conocida, en Queensland/Australia y en muestras de sedimentos profundos de un lago artificial en Mississippi/EE.UU. Es típico de todas estas muestras la ausencia casi total de PCDF y la distribución de congéneres/isómeros casi idéntica en todas esas localizaciones geográficas. Todos los estudios indican claramente que los PCDD/PCDF se formaron durante procesos naturales. Estas observaciones habrán de impulsar investigaciones intensivas que permitan evaluar hasta qué punto está generalizado este fenómeno de las dioxinas naturalmente formadas y averiguar cuáles han sido los mecanismos que podrían explicar estas observaciones. Deberá notificarse todo hallazgo de este tipo.

7 REFERENCIAS

Annema J.A., J.E.M. Beurskens, y C.W.M. Bodar (1995): Evaluation of PCB Fluxes in the Environment, RIVM, Bilthoven, The Netherlands

Beard A., K.P. Naikwadi, y F.W. Karasek (1993): Formation de Polychlorinated Dibenzofurans by Chlorination and *de novo* Reaction with FeCl₃ in Petroleum Refining Industry. Environ. Sci. Technol. **27**, 1505-1512

BImSchV (1990): 17. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes vom 23.1.1990 (Verordnung über Verbrennungsanlagen für Abfälle und ähnliche brennbare Stoffe - 17. BImSchV). Bundesgesetzblatt Teil I, Jahrgang 1990, 2832. (Ordenanza sobre incineradores de desechos, Alemania)

BImSchV (1997): 27. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Anlagen zur Feuerbestattung - 27. BImSchV) vom 19. März 1997. BGBl. I, S. 545. (Ordenanza para crematorios)

Bramley M. (1998): Dioxins and Hexachlorobenzene Releases from Magnesium Production in North America: Lessons from Noranda's Magnola Project in Asbestos, Quebec. Greenpeace, Canada

Bremmer H.J., L.M. Troost, G. Kuipers, J. de Konig, y A.A. Sein (1994): Emissions of Dioxins in the Netherlands, RIVM/TNO, The Netherlands

Bröker G., P. Bruckmann, y H. Gliwa (1999): Study of Dioxin Sources in North Rhine-Westphalia. Chemosphere **38**, 1913-1924

Carroll W.F. (1996): Is PVC in House Fires the Great Unknown Source of Dioxin? Fire and Materials **20**, 161

CE (1999): Releases of Dioxins and Furans to Land and Water in Europe. Report for Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Germany on behalf of European Commission, CD Environment, Brussels, Belgium, September 1999

CE (1996): 96/211/EC: Commission Decision of 26 February 1996 concerning the prohibition of pentachlorophenol (PCP) notified by Denmark (Only the Danish text is authentic) (Text with EEA relevance). Official Journal No. L 068 , 19/03/1996 P. 0032-0040

CE-JRC (2000a): Prevención y control integrados de la contaminación (PCIC) – Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en la industria de la pasta y el papel. Julio de 2000. Comisión Europea, Tecnologías para un desarrollo sostenible, Oficina Europea de PCIC, Sevilla, España

CE-JRC (2000b): Prevención y control integrados de la contaminación (PCIC) – Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles para las refinerías de aceite mineral y gas. Borrador de febrero de 2000. Comisión Europea, Tecnologías para un desarrollo sostenible, Oficina Europea de PCIC, Sevilla, España

CE-JRC (2000c): Prevención y control integrados de la contaminación (PCIC) – Mejores técnicas disponibles – Documentación de referencia sobre producción de hierro y acero. Marzo de 2000. Comisión Europea, Tecnologías para un desarrollo sostenible, Oficina Europea de PCIC, Sevilla, España

CE-JRC (2000d): Prevención y control integrados de la contaminación (PCIC) – Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en las industrias de fabricación de cemento y cal. Marzo de 2000. Comisión Europea, Tecnologías para un desarrollo sostenible, Oficina Europea de PCIC, Sevilla, España

Charles Napier (1998): PCDD and PCDF Emission Inventory, Prevention and Control Technologies in the Iron and Steel Sector, Environment Canada (Napier C.E. and Co, CC Doiron Associates)

Dumler-Gradl R., H. Thoma, y O. Vierle (1995): Research Program on Dioxin/Furan Concentration in Chimney Soot from House Heating Systems in the Bavarian Area. *Organohalogen Compd.* **24**, 115-118

Dyke P.H., M.J. Wenborn, P.J. Coleman, M.J. Woodfield, y C.L. Rose (1997): A Review of Dioxin Releases to Land and Water in the UK, Environment Agency, R&D Publication 3, Environment Agency, UK

EMEP (1999): Emission Inventory Guidebook. September 1999

Environment Canada and the Federal/Provincial Task Force (1999): Dioxins and Furans and Hexachlorobenzene. Inventory of Releases. Prepared by Environment Canada and the Federal/Provincial Task Force on Dioxins and Furans for the Federal Provincial Advisory Committee for the Canadian Environmental Protection Act (CEPA-FPAC), January 1999

Essers U., O. Hutzinger, y H. Hagenmaier (1992): Untersuchungen zur Emission halogener Dibenzo-dioxine und Dibenzo-furane aus Verbrennungsmotoren beim Betrieb mit handelsüblichen Betriebsstoffen. Bericht an das GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit München, PT Umwelt und Klimaforschung

Fiedler H., O. Hutzinger, y C.W. Timms (1990): Dioxins: Sources of Environmental Load and Human Exposure. *Toxicol. Environ. Chem.* **29**, 157-234

Gullett B.K., P.M. Lemieux, C.C. Lutes, C.K. Winterrowd, y D.L. Winters (1999): PCDD/F Emissions from Uncontrolled Domestic Waste Burning. *Organohalogen Compd.* **41**, 27-30 (and 157-160)

Hagenmaier H., P. Krauß, J. Vatter y M. Walczok (1995): Bedeutung der Dioxin-Einträge durch Automobilabgase und Hausfeuerungen. *Organohalogen Compd.* **22**, 49-54

HMIP (1995): A Review of Dioxin Emissions in the UK, Her Majesty's Inspectorate of Pollution, DOE/HMIP/RR/95/004, UK

Horstmann M., M.S. McLachlan, M. Reissinger, y M. Morgenroth (1993a): An Investigation of PCDD/F Formation during Textile Production and Finishing. *Organohalogen Compd.* **11**, 417-420

Horstmann, M., M.S. McLachlan y M. Reissinger (1993b): Further Investigations of the Sources de PCDD/F in Municipal Sewage Sludge. *Organohalogen Compd.* **11**, 293-296

- Horstmann M., M.S. McLachlan y M. Reissinger (1993c): Investigations of the Origin de PCDD/F in Municipal Sewage Sludge. *Chemosphere* **27**, 113-120
- Hutzinger O., H. Fiedler, C. Lau, G. Rippen, U. Blotenberg, H. Wesp, S. Sievers, P. Friesel, B. Gras, T. Reich, U. Schacht, y R. Schwörer (1995): Dioxin-Bilanz für Hamburg. *Hamburger Umweltberichte* **51/95**. Freie und Hansestadt Hamburg, Umweltbehörde (eds.), Hamburg September 1995, ISSN 0179-8510
- Ifeu (1998): Ermittlung von Emissionen und Minderungsmaßnahmen für persistente organische Schadstoffe in der Bundesrepublik Deutschland. Stoffband A: Polychlorierte Dibenzodioxine und -furane (PCDD/F) und polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH). Ifeu-Institut, Heidelberg, März 1998. Forschungsvorhaben Nr. 104 02 365. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin
- Ikeguchi T. y M. Tanaka (1999): Experimental Study of Dioxin Emission from Open Burning Simulation de Selected Wastes. *Organohalogen Compd.* **41**, 507-510
- Kutz F.W., D.G. Barnes, E.W. Bretthauer, D.P. Bottimore, H. Greim (1990): The International Toxicity Equivalency Factor (I-TEF) Method for Estimating Risks Associated with Exposures to Complex Mixtures of Dioxins and Related Compounds. *Toxicol. Environ. Chem.* **26**, 99-110
- LUA (1997): Identification of Relevant Industrial Sources of Dioxins and Furans in Europe. *Materialien No. 43*. Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen, 1997
- Mahnke K. y P. Krauss (1996): Burning of Biomass – An Important Source for Global PCDD/F Imission? *Organoholgen Compd.* **27**, 167-170
- Merk M., K.-W. Schramm, D. Lenoir, B. Henkelmann, y A. Kettrup (1995): Determination of the PCDD/F Concentration in the Fumes from a PVC Fire. *Organoholgen Compd.* **23**, 491-494
- Musdalslien U.I., P.H. Nokleby, y O. Wallevik (1998): Formation of dioxins from carbonaceous materials in production of anhydrous magnesium chloride. *Organoholgen Compd.* **36**, 81-84
- Napier C.E. y Co, CC Doiron Associates (1998): PCDD and PCDF Emission Inventory, Prevention and Control Technologies in the Iron and Steel Sector, Environment Canada
- NZ (2000): New Zealand Inventory of Dioxin Emissions to Air, Land and Water, and Reservoir Sources. S.J. Buckland, H.K. Ellis, and P.H. Dyke. *Organochlorines Programme*, Ministry for the Environment, Wellington, NZ, March 2000
- Oehme M., S. Mano, y B. Bjerke (1989): Formation of PCDF and PCDD by Production Processes for Magnesium and Refined Nickel. *Chemosphere* **18**, 1379
- OTAN/DCSM (1988): International Toxicity Equivalency Factor (I-TEF) Method of Risk Assessment for Complex Mixtures of Dioxins and Related Compounds. Pilot Study on International Information Exchange on Dioxins and Related Compounds, Report Number **176**, agosto de 1988, Organización del Tratado del Atlántico Norte, Comité sobre Desafíos que Plantean los Cambios en la Sociedad Moderna

PNUMA (2001): Training Module for Reducing Releases of Dioxins and Furans. Informe por Productos Químicos, PNUMA (*en preparación*)

PNUMA (1999): Inventarios de Dioxinas y Furanos, Emisiones Nacionales y Regionales de PCDD/PCDF, Productos Químicos, PNUMA, Ginebra, Suiza

Rappe C., R. Andersson, M. Bonner, K. Cooper, H. Fiedler, F. Howell, y C. Lau (1996): PCDDs and PCDFs in Samples of Sewage Sludge and Effluent from the State of Mississippi. *Organohalogen Compd.* **28**, 105-110

SCEP (1994): Determination of Requirements to Limit Emissions of Dioxins and Furans - Report of the Working Group of the Subcommittee Air/Technology of the State Committee for Emission Protection (SCEP) - Germany

Schatowitz B., G. Brandt, F. Gafner, E. Schlumpf, R. Buhler, P. Hasler, y T. Nussbaumer (1994): Dioxin Emissions from Wood Combustion. *Chemosphere* **29**, 2005-2013

Smit A., T.H.P. Leuweink, A.L.J. van der Panne, W. Gebert, H. Lanzerstorfer, H. Riepl, y K. Hofstadler (1999): Reduction of Dioxin Emissions from Hoogovens Sinter Plant with the AIRFINE System. *Organohalogen Compd.* **40**, 441-444

Stringer R., P. Costner, y P.A. Johnston (1995): PVC Manufacture as a Source of PCDD/Fs. *Organohalogen Compd.* **24**, 119-123

UBA (1997): The European Atmospheric Emission Inventory of Heavy Metals and Persistent Organic Pollutants for 1990. TNO Institute of Environmental Sciences, Energy and Process Innovation. Forschungsbericht 104 02 672/03 im Auftrag des Umweltbundesamtes Berlin, Alemania, junio de 1997

UBAVIE (2000): Stage of the Art in the Production of Secondary Aluminium with Regard to the IPPC-Directive. Zusammenfassung Monographien, Band 120, Umweltbundesamt Wien, Austria

Ullmann (1996): Chlorine - Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Vol. A 6, 399-481. VCH Verlagsgesellschaft mbH, D-6940 Weinheim, Germany

US-EPA (2000): Exposure and Human Health Reassessment of 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxin (TCDD) and Related Compounds. Part I: Estimating Exposure to Dioxin-Like Compounds - Volume 2: Sources of Dioxin-Like Compounds in the United States. EPA/600/P-00/001Bb, September 2000. Draft Final Report. www.epa.gov/ncea, Washington, D.C., USA

US-EPA (1998a): The Inventory of Sources of Dioxin in the United States - REVIEW DRAFT - EPA/600/P-98/002Aa, Washington, D.C., USA

US-EPA (1998b): EPA Office of Compliance Sector Notebook Project: Profile of the Metal Casting Industry. October 1998. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA

US-EPA (1997): Evaluation of Emissions from the Open Burning of Household Waste in Barrels - EPA/600/P-97/134a, Research Triangle Park, NC, USA

van Leeuwen F.X.R. and M. Younes (1998): WHO Revises the Tolerable Daily Intake (TDI)

for Dioxins. *Organohalogen Compd.* **38**, 295-298

Vikelseo J y E. Johansen (2000): Estimation of Dioxin Emissions from Fires in Chemicals. *Chemosphere* **40**, 165-175

Wichmann, H., Lorenz, W y Bahadir, M (1995): Release of PCDD/F and PAH During Vehicle Fires in Traffic Tunnels. *Chemosphere* **31**, 2755

Wunderli S., M. Zennegg, I.S. Dolezal, D. Noger, y P. Hasler (1996): Levels and Congener Pattern of PCDD/PCDF in Fly and Bottom Ash from Waste Wood and Natural Wood Burned in Small to Medium Sized Wood Firing Facilities in Switzerland. *Organohalogen Compd.* **27**, 231-236

8 ANEXOS

Este anexo, en su primera subsección 8.1, presenta una compilación de todos los factores de emisión de las diez categorías principales de fuentes y sus subcategorías. Las correspondientes hojas están asimismo disponibles en archivos EXCEL que pueden utilizarse directamente para el cálculo de las liberaciones anuales por todos los vectores.

En los siguientes cuadros la mayoría de los factores de emisión se dan en μg de EQT por tonelada de materia de entrada o producto, respectivamente. En un pequeño número de excepciones, por ejemplo los residuos de las estufas de carbón para la calefacción doméstica (sección 3e) así como para el agua y los residuos (aguas residuales y lodos) de la industria de la pasta y el papel (sección 7^a), la emisión anual se estimará sobre la base de los residuos producidos.

Habrà que tener cuidado para evitar que no se cuenten dos veces las liberaciones anuales, ya que, por ejemplo, los residuos de un proceso pueden ser el material de entrada de otro proceso o actividad. Por ejemplo, las cenizas resultantes de la industria de metales ferrosos y no ferrosos pueden utilizarse en procesos secundarios. Además, las aguas residuales de procesos industriales normalmente se incluirán en el sector industrial en el que hayan sido producidas. Pero a veces las estadísticas pueden dar datos correspondientes al lugar de evacuación, por ejemplo se puede conocer la cantidad de aguas residuales descargadas en un lugar determinado, que puede ser un vertido en agua abierta o descargas a plantas de alcantarillado. Por consiguiente, deberá tenerse mucho cuidado en el momento de inscribir los números, particularmente los correspondientes al sector 9.

En los cuadros que siguen

“NA” indica que el vector no es aplicable

“ND” indica que por ahora no se dispone de un factor de emisión adecuado. Quiere decir que este vector tal vez tenga importancia pero que por el momento no se pueden calcular liberaciones a través de él.

El capítulo 8.2 es una compilación de cuestionarios de muestra con los que se trata de facilitar la compilación y evaluación de informaciones técnicas/tecnológicas para agrupar diversos procesos y actividades según la clasificación del Instrumental. Además, estos cuestionarios servirán de ayuda para resumir las estadísticas de actividades y los desarrollos futuros, por ejemplo perfeccionamientos de plantas.

Por último, el capítulo 8.3 expone algunos ejemplos de cómo notificar las liberaciones anuales.

8.1 Compilación de todos los factores de emisión por defecto

| Sector | Subcat. | Clase | Categoría de fuente | Vía posible de liberación (µg EQT/t) | | | | | | |
|--------|---------|---|---|--|--------|--------|-----------|-------------------------------------|-------|-----|
| | | | | Atm. | Agua | Tierra | Productos | Residuos Cen. vol. Cen. depos. | | |
| 1 | a | Incineración de desechos sól. municip. | | | | | | | | |
| | | 1 | Tecn. simple, combustión, sin sistema CCA | 3.500 | | NA | NA | 0 | 75 | |
| | | 2 | Control, mínimo CCA | 350 | | NA | NA | 500 | 15 | |
| | | 3 | Comb. controlada, buen CCA | 30 | | NA | NA | 200 | 7 | |
| | | 4 | Alta tecn. combustión, CCA perfeccionado | 0,5 | | NA | NA | 15 | 1.5 | |
| | | b | Incineración de desechos peligrosos | | | | | | | |
| | | | 1 | Tecnología simple, comb., sin sist. de CCA | 35.000 | | NA | NA | 9.000 | |
| | | | 2 | Controlada, mínimo CCA | 350 | | NA | NA | 900 | |
| | | | 3 | Comb. controlada, buen CCA | 10 | | NA | NA | 450 | |
| | | c | Incineración de desechos médicos/hosp. | | | | | | | |
| | | | 1 | Combustión por lotes sin control, sin CCA | 40.000 | | NA | NA | | 200 |
| | | | 2 | Comb. controlada por lotes, sin CCA o mín. | 3.000 | | NA | NA | | 20 |
| | 3 | | Comb. controlada por lotes, buen CCA | 525 | | NA | NA | 920 | | |
| | d | Incineración de desechos de desguace/fracción ligera | | | | | | | | |
| | | 1 | Combustión por lotes sin control, sin CCA | 1.000 | | NA | NA | | | |
| | | 2 | Combustión controlada por lotes, sin CCA o mín. | 50 | | NA | NA | | | |
| | e | Incineración de lodos de alcantarilla | | | | | | | | |
| | | 1 | Homos antiguos, por lotes, sin CCA o mín. | 50 | | NA | NA | 23 | | |
| | | 2 | Operación continua y moderna, algún CCA | 4 | | NA | NA | 0,5 | | |
| | f | Incineración de desechos de madera y de biomasa | | | | | | | | |
| | | 1 | Homos antiguos, por lotes, sin CCA o mín. | 100 | | NA | NA | 1.000 | | |
| | | 2 | Operación continua y moderna, algún CCA | 10 | | NA | NA | 10 | | |
| | g | Quema cadáveres de animales | | | | | | | | |
| | | 1 | Homos antiguos, por lotes, sin CCA o mín. | 500 | | NA | NA | | | |
| | | 2 | Operación continua y moderna, algún CCA | 50 | | NA | NA | | | |
| | 3 | Operación moderna, CCA completo | 5 | | NA | NA | | | | |
| | 1 | Incineración de desechos | | | | | | | | |

| Sector | Subcat | Clase | Categoría de fuente | Vía posible de liberación (µg EQT/t) | | | | |
|--------|----------|-------|---|--------------------------------------|-------|--------|-----------|----------|
| | | | | Atm | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| 2 | | | Produc. de metales ferrosos y no ferrosos | | | | | |
| | a | | Sint. metal de hierro | | | | | |
| | | 1 | Alto reciclado de desechos, incl. mat. cont. por aceite | 20 | ND | ND | ND | 0,003 |
| | | 2 | Esc. uso de resid., planta bien controlada | 4 | ND | ND | ND | 0,003 |
| | | 3 | Alta tecn.reducción de emisiones | 0,3 | ND | ND | ND | 0,003 |
| | b | | Produce. de cok | | | | | |
| | | 1 | Sin dep. de gases | 3 | 0,06 | ND | ND | ND |
| | | 2 | Postcombu./reten. de polvo | 0,3 | 0,06 | ND | ND | ND |
| | c | | Plant. de produc. de hierro y acero y plant. de fundic. de hierro y acero | | | | | |
| | | 1 | Chat. sucia, precalent. de chat., control. limitados | 10 | ND | ND | NA | 15 |
| | | 2 | Chat. limpia/hierro virgen, postcomb., filtro de tela | 3 | ND | ND | NA | 15 |
| | | 3 | Chat. limpia/hierro virgen, hornos AOB | 0,1 | ND | ND | NA | 1,5 |
| | | 4 | Altos hornos con CCA | 0,01 | ND | ND | NA | ND |
| | | | Fundiciones | | | | | |
| | | 1 | Cub. de aire frío o tambor rotatorio, sin CCA | 10 | ND | ND | ND | ND |
| | | 2 | Tambor rot., filtro de tela | 4,3 | ND | ND | ND | 0,2 |
| | | 3 | Cub. de aire frío, filtro de tela | 1 | ND | ND | ND | 8 |
| | | 4 | Cub. de aire caliente u horno de inducción, filtro de tela | 0,03 | ND | ND | ND | 0,5 |
| | d | | Produc. de cobre | | | | | |
| | | 1 | Cu sec. – Tecnol. básica | 800 | ND | ND | ND | 630 |
| | | 2 | Cu sec.- Bien controlado | 50 | ND | ND | ND | 630 |
| | | 3 | Cu sec. – Control de PCDD/PCDF óptimo | 5 | ND | ND | ND | 300 |
| | | 4 | Fund. y vac. de Cu/Aleaciones de Cu | 0,03 | ND | NA | NA | ND |
| | | 5 | Cu prim. – Tds. tip. | 0,01 | ND | ND | ND | ND |
| | e | | Prod. de alum. (todos secund.) | | | | | |
| | | 1 | Proces. de chat. DAL, trat. mínimo de salida simp. reten. del polvo | 150 | ND | ND | ND | 400 |
| | | 2 | Trat. de la chatarra, bien control., buen CCA | 35 | ND | ND | ND | 400 |
| | | 3 | Dis. de recor./virutas | 10 | ND | ND | ND | NA |
| | | 4 | Proceso optimizado, óptimo CCA | 1 | ND | ND | ND | 400 |
| | f | | Prod. de plomo | | | | | |
| | | 1 | Plomo sec. de chat., separ. de bat. de PVC | 80 | ND | ND | ND | ND |
| | | 2 | Sec. de chatarra libre PVC/Cl2, altos horn. con FL | 8 | ND | ND | ND | ND |
| | | 3 | Plomo sec., chat. libre PVC/Cl2 en hornos dist. de los altos hornos con depurador | 0,5 | ND | ND | ND | ND |
| | g | | Prod. de zinc | | | | | |
| | | 1 | Hornos zinc control de polvo | 1.000 | ND | ND | ND | ND |
| | | 2 | Hornos de ladrillado caliente/rotatorios control bás. | 100 | ND | ND | ND | ND |
| | | 3 | Control generalizado | 5 | ND | ND | ND | ND |
| | | 4 | Fusión (solamente) | 0,3 | ND | ND | ND | ND |
| | h | | Producción de bronce | | | | | |
| | | 1 | Hornos simples de fusión | 1 | ND | ND | ND | ND |
| | | 2 | Equipo perfeccionado, como hornos de inducción | 0,1 | ND | ND | ND | ND |
| | I | | Prod. de magnesio | | | | | |
| | | 1 | Utiliz. trat. térm. de MgO/C en Cl2, sin trat. de efls., escaso CCA | 250 | 9.000 | NA | ND | 0 |
| | | 2 | Utiliz. trat. term. del MgO/C en Cl2, control de contaminación general | 50 | 24 | NA | ND | 9.000 |
| | j | | Prod. térmica de metales no ferrosos (p.ej. Ni) | | | | | |
| | | 1 | Chatarra contamin., control de polvos simple o nulo | 100 | ND | ND | ND | ND |
| | | 2 | Chatarra limpia, buen CCA | 2 | ND | ND | ND | ND |
| | l | | Desguazadoras | | | | | |
| | | 1 | Plantas de desguace de metales | 0,2 | NA | NA | ND | ND |
| | m | | Recuperación térmica de cable | | | | | |
| | | 1 | Quema de cables al aire libre | 5.000 | ND | ND | ND | ND |
| | | 2 | Hornos bás. con postcombustión, depurador húmedo | 40 | ND | NA | ND | ND |
| | | 3 | Quema mot. eléct., zapatas de frenos, etc., postcomb. | 3,3 | ND | NA | ND | ND |
| 2 | | | Producción de metales ferrosos y no ferrosos | | | | | |

| Sector | Subcat. | Clase | Categoría de fuente | Vía posible de liberación (µg EQT/TJ) | | | | |
|----------|----------|-------|---|---------------------------------------|------|--------|-----------|------------------|
| | | | | Atmós. | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| 3 | | | Generación de energía y calefacción | | | | | |
| | a | | Plantas de energía por combustibles fósiles | | | | | |
| | | 1 | Calderas de energía mixtas de combustibles fósil/desechos | 35 | NA | NA | NA | ND |
| | | 2 | Caldera de energía de carbón | 10 | NA | NA | NA | 14 |
| | | 3 | Calderas de energía de aceite pesado | 2,5 | NA | NA | NA | ND |
| | | 4 | Calderas de energía de aceite ligero/gas natural | 0,5 | NA | NA | NA | ND |
| | b | | Plantas de energía por biomasa | | | | | |
| | | 1 | 1. Calderas de energía que queman otras biomazas | 500 | NA | NA | NA | ND |
| | | 2 | 2. Calderas de energías que queman madera | 50 | NA | NA | NA | 15 |
| | c | | Combustión de terraplenes y biogás | | | | | |
| | | 1 | Calderas de biogás- motores/turbinas y fulguración | 8 | NA | NA | NA | NA |
| | d | | Calefacción doméstica y cocina - Biomasa | | | | | |
| | | 1 | Estufas que queman madera contaminada/biomasa | 1.500 | NA | NA | NA | 2.000 |
| | | 2 | Estufas que queman madera virgen/biomasa | 100 | NA | NA | NA | 20 |
| | e | | Calefacción doméstica - Combustibles fósiles | | | | | ng EQT/kg ceniza |
| | | 1 | Estufas de carbón | 70 | NA | NA | NA | 5.000 |
| | | 2 | Estufas de petróleo | 10 | NA | NA | NA | ND |
| | | 3 | Estufas de gas natural | 1,5 | NA | NA | NA | ND |
| 3 | | | Generación de energía y calefacción | | | | | |

| Sector | Subcat. | Clase | Categoría de fuente | Vía posible de liberación (µg EQT/t) | | | | |
|----------|----------|-------|---|--------------------------------------|------|--------|-----------|----------|
| | | | | Atmos. | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| 4 | | | Producción de productos minerales | | | | | |
| | a | | Hornos de cemento | | | | | |
| | | 1 | Hornos húmedos, temperatura, PES > 300 °C | 5 | NA | ND | ND | 1 |
| | | 2 | Hornos húmedos, temperatura, PES/FT 200 a 300 °C | 0,6 | NA | ND | ND | 0,1 |
| | | 3 | Hornos húm., temp. PES/FT < 200 °C y todos los tipos | 0,15 | NA | ND | ND | 0,003 |
| | b | | Cal | | | | | |
| | | 1 | Ciclón/sin control de polvo | 10 | ND | ND | ND | ND |
| | | 2 | Buena retención de polvo | 0,07 | ND | ND | ND | ND |
| | c | | Ladrillos | | | | | |
| | | 1 | Ciclón/sin control de polvo | 0,2 | NA | ND | ND | ND |
| | | 2 | Buena retención de polvo | 0,02 | NA | ND | ND | ND |
| | d | | Vidrio | | | | | |
| | | 1 | Ciclón/sin control de polvo | 0,2 | NA | ND | ND | ND |
| | | 2 | Buena retención de polvo | 0,015 | NA | ND | ND | ND |
| | e | | Cerámica | | | | | |
| | | 1 | Ciclón/sin control de polvo | 0,2 | NA | ND | ND | ND |
| | | 2 | Buena retención de polvo | 0,02 | NA | ND | ND | ND |
| | f | | Mezclado de asfalto | | | | | |
| | | 1 | Planta de mezclado sin depuración de gases | 0,07 | NA | ND | ND | ND |
| | | 2 | Planta de mezclado con filtro de tela, depurador húmedo | 0,007 | NA | ND | ND | 0,06 |
| 4 | | | Producción de productos minerales | | | | | |

| Sector | Subcat. | Clase | Categoría de fuente | Vía posible de liberación (µg EQT/t) | | | | |
|----------|----------|-------|--|--------------------------------------|------|--------|-----------|----------|
| | | | | Atmós. | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| 5 | | | Transportes | | | | | |
| | a | | Motores de 4 tiempos | | | | | |
| | | 1 | Combustible con plomo | 2,2 | NA | NA | NA | ND |
| | | 2 | Combustible sin plomo, sin catalizador | 0,1 | NA | NA | NA | ND |
| | | 3 | Combustible sin plomo con catalizador | 0,00 | NA | NA | NA | NA |
| | b | | Motores de 2 tiempos | | | | | |
| | | 1 | Combustible con plomo | 3,5 | NA | NA | NA | ND |
| | | 2 | Combustible sin plomo, sin catalizador | 2,5 | NA | NA | NA | ND |
| | c | | Motores diesel | | | | | |
| | | 1 | Motores diesel | 0,1 | NA | NA | NA | ND |
| | d | | Motores de aceite pesado | | | | | |
| | | 1 | Todos los tipos | 4 | NA | NA | NA | ND |
| 5 | | | Transportes | | | | | |

| Subcat. | Clase | Categoría de fuente | Vía posible de liberación (µg EQT/t) | | | | | |
|----------|-------|--|--|------|-------------|-----------|----------|--|
| | | | Atm. | Agua | Tierra | Productos | Residuos | |
| 6 | | | Procesos de combustión incontrolados | | | | | |
| a | | | Incendios, quemas – biomasa | | | | | |
| | 1 | 1. Incendios forestales | 5 | ND | 4 | NA | ND | |
| | 2 | 2. Incendios de praderas y matorral | 5 | ND | 4 | NA | ND | |
| | 3 | 3. Quema de residuos agrícolas (en el campo) | 30 | ND | 10 | NA | ND | |
| b | | | Incendios, quemas de desechos, incendios en terraplenes, incendios industriales, incendios accid. | | | | | |
| | 1 | Incendios en terraplenes | 1.000 | ND | NA | NA | ND | |
| | 2 | Incendios acc. en vivienda, fábricas (por incidente) | 400 | ND | V. residuos | NA | 400 | |
| | 3 | Quemas incontroladas de desechos domésticos | 300 | ND | V. residuos | NA | 600 | |
| | 4 | Incendios acc. de vehículos (por incidente) | 94 | ND | V. residuos | NA | 18 | |
| | 5 | Quemas abiertas de madera (construcción/derribo) | 60 | ND | ND | NA | 10 | |
| 6 | | | Proceso de combustión incontrolados | | | | | |

| Sector | Subcat. | Clase | Categoría de fuente | Vía posible de liberación (µg EQT/t) | | | | | |
|--------|--|---|--|--------------------------------------|----------|------------|-----------|------------------|----------|
| | | | | Atm. | Agua | Tierra | Productos | Residuos | |
| 7 | a | Prod. de sustancias químicas, bienes de consumo | | | | | | | |
| | | Fábricas de pasta y papel <i>Calderas (por tonelada de pasta)</i> | | | | | | | |
| | | 1 | 1. Calderas de licor negro, quema de lodo, madera | 0,07 | | | | 1.000 | |
| | | 2 | 2. Cal. de cortezas sólo | 0,4 | | | | 1.000 | |
| | | | Lodos | | | | | | |
| | | | | | Agua | | | Residuos | |
| | | | | µg EQT/tSA | pg EQT/L | µg EQT/tSA | | µg EQT/t de lodo | |
| | | 1 | Proceso kraft, antigua tecnología (Cl2) | 4,5 | 70 | 4,5 | | 100 | |
| | | 2 | Proceso kraft, moderna tecnología (ClO2) | 0,06 | 2 | 0,2 | | 10 | |
| | | 3 | Pasta PPM | | | | | | |
| | | 4 | Pasta reciclada | | | | | | |
| | | | Pasta y papel | | Aire | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| | | 1 | Pasta/papel kraft de fibras primarias, Cl2 | | | | | 8 | |
| | | 2 | Papel de sulfito, antigua tecnología (Cl2) | | | | | 1 | |
| | | 3 | Papel kraft, nueva tecnología (ClO2, TCF), no blanqueado | | | | | 0,5 | |
| | | 4 | Papel sulfito, nueva tecnología (ClO2, TCF) | | | | | 0,1 | |
| | | 5 | Papel reciclado | | | | | 10 | |
| | | | b | | Aire | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| | | | Industria química <i>PCP</i> | | | | | | |
| | | 1 | Producción europea, americana (cloración de fenol con Cl2) | | | | | 2.000.000 | |
| | | 2 | Producción china (termólisis de HCH) | | | | | 800.000 | |
| | | 3 | PCP-Na | | | | | 500 | |
| | | | PCB | | Aire | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| | | 1 | Poco clorado, como Clophen A30, Aroclor 1242 | | | | | 15.000 | |
| | | 2 | Clorado medio, como Clophen A40, Aroclor 1248 | | | | | 70.000 | |
| | | 3 | Clorado medio, como Clophen A50, Aroclor 1254 | | | | | 300.000 | |
| | | 4 | Muy clorado, como Clophen A60, Aroclor 1260 | | | | | 1.500.000 | |
| | Plaguicidas clorados | | Aire | Agua | Tierra | Productos | Residuos | | |
| 1 | Acido ,4,5-triclorofenoxiacético (2,4,5-T) puro | | | | | 7.000 | | | |
| 2 | 2,4,6-triclorofenol (2,4,6-PCPh) | | | | | 700 | | | |
| 3 | Dichlorprop | | | | | 1.000 | | | |
| 4 | Acido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) | | | | | 700 | | | |
| 5 | Eter 2,4,6-triclorofenil-4'-nitrofenilo (CNP = cloronitrofen) | | | | | 300.000 | | | |
| | Antigua tecnología | | | | | 400 | | | |
| 6 | Clorobenceno | | | | | ND | | | |
| 7 | Producción de cloro con ánodos de grafito | | | | | NA | | | |
| | Cloranilo | | Aire | Agua | Tierra | Productos | Residuos | | |
| 1 | p-cloranilo por cloración de fenol | | | | | 400.000 | | | |
| 2 | p-cloranilo por hidroquinona | | | | | 100 | | | |
| 3 | Colorantes con base de cloranilo (antiguo proceso, clase 1) | | | | | 1.200 | | | |
| 4 | u-cloranilo por cloración de fenol | | | | | 60.000 | | | |
| | EDC/VCM/PVC | | Aire | Agua | Tierra | Productos | Residuos | | |
| 1 | Antigua tecnología, EDC/VCM, PVC | | | 1 | | | | | |
| 2 | Plantas modernas EDC/VCM y/o EDC/VCM/PVC | | 0,95 | 0,015 | | 0,03 | | | |
| | PVC solam. | | 0,0003 | 0,03 | | 0,1 | | | |
| | c | | Aire | Agua | Tierra | Productos | Residuos | | |
| | Refinería de petróleo | | | | | | | | |
| 1 | Todos tipos | | ND | NA | NA | NA | ND | | |
| | d | | Aire | Agua | Tierra | Productos | Residuos | | |
| | Plantas textiles | | | | | | | | |
| 1 | Lim. superior | | NA | ND | NA | 100 | ND | | |
| 2 | Lim. inferior | | NA | ND | NA | 0,1 | ND | | |
| | e | | Aire | Agua | Tierra | Productos | Residuos | | |
| | Trabajos de cuero | | | | | | | | |
| 1 | Lim. superior | | NA | ND | NA | 1.000 | ND | | |
| 2 | Lim. inferior | | NA | ND | NA | 10 | ND | | |
| 7 | Todos los sectores principales | | | | | | | | |

| Sector | Subcat. | Clase | Categoría de fuente | Vía posible de liberación (µg EQT/t) | | | | |
|----------|----------|-------|--|--------------------------------------|------|--------|-----------|-------------------------------|
| | | | | Atmós. | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| 8 | | | Varios | | | | | |
| | a | | Disecado de biomasa | | | | | |
| | | 1 | Madera limpia | 0,007 | NA | ND | 0,1 | ND |
| | | 2 | Forraje verde | 0,1 | NA | ND | 0,1 | ND |
| | | 3 | PCP- o biomasa tratada de otra manera | 10 | NA | ND | 0,5 | ND |
| | b | | Crematorios | | | | | |
| | | 1 | Sin control | 90 | NA | ND | ND | 2,5 |
| | | 2 | Control intermedio | 10 | NA | ND | ND | 2,5 |
| | | 3 | Control óptimo | 0,4 | NA | ND | ND | 2,5 |
| | c | | Ahumaderos | | | | | |
| | | 1 | Comb. de madera trat., comb. de des. | 50 | NA | ND | ND | V. combustión de madera |
| | | 2 | Combustible limpio, sin postcombustión | 6 | NA | ND | ND | |
| | | 3 | Combustible limpio, con postcombustión | 0,6 | NA | ND | ND | |
| | d | | Residuos de limpieza en seco | | | | | |
| | | 1 | Textiles pesados, tratados con PCP, etc. | NA | NA | NA | NA | 3.000 |
| | | 2 | Textiles normales | NA | NA | NA | NA | 50 |
| | e | | Consumo de tabaco | | | | | |
| | | 1 | Cigarros puros (por unidad) | 0,3 | NA | NA | NA | NA |
| | | 2 | Cigarrillos (por unidad) | 0,1 | Na | NA | NA | NA |
| 8 | | | Varios | | | | | |

| Sector | Subcat. | Clase | Categoría de fuente | Vía posible de liberación (µg EQT/t) | | | | |
|----------|----------|-------|---|--------------------------------------|------|--------|-----------|----------|
| | | | | Atm | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| 9 | | | Vertederos/terraplenes | | | | | |
| | a | | Lixiviado de terraplén | | | | | |
| | | 1 | Desechos peligrosos | NA | 200 | NA | NA | |
| | | 2 | Desechos no peligrosos | NA | 30 | NA | NA | |
| | b | | Aguas negras/tratamiento de aguas negras | | | | | |
| | | 1 | Industriales, domésticas mezcladas con posibilidad de cloro | | | | | |
| | | | Sin evacuación de lodo | | 5 | NA | NA | 1.000 |
| | | | Con evacuación de lodo | | 0,5 | NA | NA | 1.000 |
| | | 2 | Ambiente urbano | | | | | |
| | | | Sin evacuación de lodo | | 2 | NA | NA | 100 |
| | | | Con evacuación de lodo | | 0,5 | NA | NA | 100 |
| | | 3 | Plantas de tratamiento remotas y residenciales o modernas | | 0,5 | NA | NA | 10 |
| | c | | Vertidos a aguas abiertas | | | | | |
| | | | Aguas de desecho contaminadas | NA | 50 | NA | NA | NA |
| | | | Aguas de desecho no contaminadas | NA | 5 | NA | NA | NA |
| | d | | Compostado | | | | | |
| | | 1 | Todos las fracciones orgánicas | NA | ND | NA | 100 | NA |
| | | 2 | Desecho de jardín, cocina | NA | ND | NA | 15 | NA |
| | | 3 | Materiales verdes, ambientes no impactados | NA | ND | NA | 5 | NA |
| | e | | Evacuación de aceites de desecho | | | | | |
| | | 1 | Todas las fracciones | 4 | ND | ND | ND | ND |
| 9 | | | Vertederos/terraplenes | | | | | |

| Sector | Subcat. | Clase | Categoría de fuente | Vía posible de liberación (µg EQT/t) | | | | |
|-----------|----------|------------------------------|---|--|------|--------|-----------|----------|
| | | | | Atm. | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| 10 | | | Identificación de puntos calientes | x señala la nec. de evaluación espec. de lugar | | | | |
| | a | 1 | Lugares de producción de sustancias orgánicas cloradas Clorofenoles y derivados o PCB | | x | x | | |
| | | 2 | Otras sustancias orgánicas cloradas | | | x | | |
| | b | 1 | Lugares de producción de cloro Con electrodos de grafito | | x | x | | |
| | | 2 | Sin electrodos de grafito | | x | x | | |
| | c | | Preparación de fenoles/plaguicidas clorados | | x | x | | |
| | d | | Lugares de aplicación de plaguicidas contam. por dioxina | | | x | | |
| | e | | Trabajos de madera | | | | | |
| | | 1 | Con uso de pentaclorofenol, otros conservadores que contienen dioxina | | x | x | | |
| | | 2 | Sin uso de PCP, no abiertos al medio ambiente | | x | x | | |
| | f | 1 | Equipos que contienen PCB Con derrames | | x | x | | |
| | | 2 | Sin derrames | | x | x | | |
| | g | | Vertidos de desechos/residuos de categorías 1-9 | | x | x | | |
| | h | | Lugares de accidentes importantes | | x | x | | |
| g | | Dragado de sedimentos | | x | x | | | |

8.2 Cuestionarios

Esta sección presenta los cuestionarios normalizados que se pueden utilizar para compilar datos específicos de planta o proceso. Los cuestionarios se distribuirán también como hojas EXCEL para facilitar su uso. En los capítulos 4.3 y 4.4 se explica el objetivo de los cuestionarios y cómo utilizarlos.

Se han diseñado cuestionarios para cada una de las categorías (para algunas categorías puede utilizarse el mismo cuestionario). Los cuestionarios se muestran en los cuadros 71 a 77.

Cuadro 71: Cuestionario estándar para la incineración de desechos

| Cuestionario sobre fuentes de PCDD/PCDF | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|----------------|--|--------------------------------------|---|--------------------------------------|------------------------|--------------------|--------------------------|-----------------------------|--|
| Incineración de desechos – liberaciones a la atmósfera | Lugar | Núm. de hornos | CF | Capacidad unitaria (t de desechos/h) | Horas de funcionamiento p.a. | Tipo de hor./SRC | Hor. Temp. (°C) | Tipo CCA | Entrada(s) CCA Temp (°C) | Salida CCA Temp (°C) | Gas de salida CCA Flujo (Nm ³ /h) |
| Incineración de desechos sólidos municipales (IDSM) | | | | | | | | | | | |
| Incineración de desechos peligrosos (IDP) | | | | | | | | | | | |
| Incineración de lodos de alcantarilla | | | | | | | | | | | |
| Agregado de peso ligero | | | | | | | | | | | |
| Incineración de desechos médicos/hospitalarios | | | | | | | | | | | |
| Combustión de desechos de madera y biomasa | | | | | | | | | | | |
| Incineración de cadáveres de animales | | | | | | | | | | | |
| abreviaturas: | | | | | | | | | | | |
| Tipo de horno | Hor. | | Sistema de control de la cont. atmó(s). | | | | (S) CCA | | | | |
| Quema de masa/agua (Reja) | Reja | | precipitadores electrostáticos | | | | PES | | | | |
| Lecho fluidizado | LF | | cyclón | | | | Ciclón | | | | |
| Cargador | CARG. | | filtro de tela | | | | FT | | | | |
| Horno rotatorio | HR | | depurador húmedo | | | | Húm. | | | | |
| Otros (especifíquese) | | | depurador seco | | | | Seco | | | | |
| | | | Inyección de cal | | | | Cal | | | | |
| Condiciones de funcionamiento | CF | | Inyección de NaOH | | | | NaOH | | | | |
| Tipo de lotes (p.ej. 100 kg por quema) | Lotes | | Carbón activo/inyección de cok | | | | Cok/carbón | | | | |
| Discontinuos (p. ej. 8 horas al día) | dis | | Filtro de lecho de carbón | | | | FLC | | | | |
| Continuo (24 horas por día) | con | | Convertidor catalítico/sistema SCR | | | | Cat | | | | |
| | | | Ventilador de tiro forzado o inducido | | | | Vent | | | | |
| Sistema recuperación de calor sí/no | SRC | | Ninguno | | | | Ninguno | | | | |
| Tipo de horno | CCA sí/no | Núm. de líneas | CF | grado de certeza | evacuación de cenizas depositadas (t/h) | Evacuación de cenizas volantes (t/h) | descarga de agua/(t/h) | filtración de agua | descarga de lodos (t/h) | capacidad de desechos (t/a) | clasificación de fuentes finales |
| Salida | | | | | | | | | | | |

Cuadro 72: Cuestionario estándar para la industria de metales ferrosos y no ferrosos

| | Tecnología básica y datos de la planta | | | | | | | Condiciones de funcionamiento | | Sistemas de depuración de gas de salida | | |
|---|--|---------------------------------|---------------|--------------------------|---|---------------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------|---|--|---|
| Producción de hierro y acero | Ubicación | Tipo (fundería, refusión, etc.) | Hornos/líneas | Tipo de horno/fabricante | Capacidad total (mat. bruta/producto final) | Unidades (t/h, t/a), etc. | Horas de funcionamiento p.a. | TH | TH Temp. (°C) | CCA | ¿Sistema de post-combustión? (a qué temperatura) | Sistema de depuración usado (cal/carbón activo) |
| | | | | | | | | | | | | |
| Tipo de horno | TH | | | | | | | | | | | |
| Alto horno (cubilote) | AH | | | | | | | | | | | |
| Horno de inducción eléctrica | HIE | | | | | | | | | | | |
| Horno de arco eléctrico | HAE | | | | | | | | | | | |
| Cowper | Cowper | | | | | | | | | | | |
| Horno rotatorio | HR | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| Sinterizado (longitud, anchura, m ²) | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| Sistema de control de la contaminación atmosférica | | (s) CCA | | | | | Material de entrada | Capacidad | | | | |
| Precipitador electrostático | | PES | | | | | Lingote de hierro | LH | | | | |
| Ciclón | | Ciclón | | | | | Chatarra de hierro y acero | CHA | | | | |
| Filtro de bolsa | | FB | | | | | Chatarra de la fundición | CF | | | | |
| Depurador húmedo | | Húm. | | | | | Recortes de metal | RM | | | | |
| Depurador seco | | Seco | | | | | Mineral (especifíquese) | Min. | | | | |
| Inyección de cal | | Cal | | | | | | | | | | |
| Carbón activo/inyección de cok | | Cok/car. | | | | | | | | | | |
| Filtro de carbón | | FC | | | | | | | | | | |
| Convertidor catalítico | | Cat | | | | | | | | | | |
| Ninguno | | Ninguno | | | | | | | | | | |
| Otros (especifíquese) | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

Cuadro 73: Cuestionario estándar para el sector de generación de energía

| Producción de energía | Ubicación | # de hornos | Tipo (lotes, continuo) | Capacidad (mat./producto final) | Unidad (t/h, t/a, PJ/a), etc. | Horas de funcionamiento p.a. | TH | Temp. TH (°C) | (s)CCA | (s)CCA Temp. (°C) |
|---|-----------|-------------|---|---------------------------------|-------------------------------|------------------------------|----|-----------------------|----------------|-------------------|
| Centrales de energía | | | | | | | | | | |
| Lignito | | | | | | | | | | |
| Gas | | | | | | | | | | |
| Madera | | | | | | | | | | |
| Gas de terraplén | | | | | | | | | | |
| Gas de alcantarilla | | | | | | | | | | |
| Unidades industriales de combustión (pequeñas) | | | | | | | | | | |
| Combustión del lignito (para energía, generación de electricidad) | | | | | | | | | | |
| Combustión de madera | | | | | | | | | | |
| Madera limpia | | | | | | | | | | |
| Madera de desecho (tratada) | | | | | | | | | | |
| Combustión de lodos de alcantarilla | | | | | | | | | | |
| Combustión de otra biomasa (muebles, agricultura, etc.) | | | | | | | | | | |
| Caña de azúcar | | | | | | | | | | |
| Tapioca | | | | | | | | | | |
| Algodón (residuos) | | | | | | | | | | |
| Bambú | | | | | | | | | | |
| Banana | | | | | | | | | | |
| Residuos de cosecha (maíz, paja, etc.) | | | | | | | | | | |
| | | | Sistema de control de la contaminación atmosférica | | | (s) CCA | | | (s) CCA | |
| | | | Precipitador electrostático | | | PES | | Ninguno | Ninguno | |
| Tipo de horno | TH | | Ciclón | | | Ciclón | | Otros (especifíquese) | | |
| Especifíquese | | | Filtro de bolsa | | | FB | | | | |
| Para gases de terraplén | | | Depurador húmedo | | | Húm. | | | | |
| Llamarada | Llam. | | Depurador seco | | | Seco | | | | |

| | | | | | | | | | |
|-------------------------------|---------|--|--------------------------------|--|---------|--|--|--|--|
| Turbina (gas interno) | Turb. | | Inyección de cal | | Cal | | | | |
| Motor de combustión (interna) | MCI | | Carbón activo/inyección de cok | | Cok/car | | | | |
| Caldera | Caldera | | Filtro de carbón | | FC | | | | |
| | | | Convertidor catalítico | | Cat. | | | | |
| | | | | | | | | | |

Cuadro 74: Cuestionario estándar para la industria de minerales

| Producción de productos minerales | Tecnología básica y datos de la planta | | | | | | | Condiciones de funcionamiento | Sistemas de depuración de gas de salida | | Materiales de entrada | |
|-----------------------------------|--|------------------|-------------------------|------------|---|---------------------------------|---------------------|-------------------------------|---|--------|-----------------------|---|
| | Ubicación | Número de hornos | Tipo (lotes, continuos) | Fabricante | Capacidad (Materia prima/productos finales) | Unidades (t/h, t/a, PJ/a), etc. | Horas de func. p.a. | TH | Temp. TH (°C) | (s)CCA | Temp. (s)CCA (°C) | Combustible, materias primas y desechos, descripción y cantidades |
| Producción de cemento | | | | | | | | | | | | |
| Producción de cal | | | | | | | | | | | | |
| Producción de ladrillos | | | | | | | | | | | | |
| Producción de vidrio | | | | | | | | | | | | |

Cuadro 75: Cuestionario estándar para los transportes

| Transporte/tráfico | # Vehículos | Total km p.a. | Consumo de combustible | Unidades (L/km, L/a) | (s)CCA | (s)CCA Temp. (°C) | Observaciones |
|--------------------------------|-------------|---------------|------------------------|----------------------|--------|-------------------|---------------|
| Transporte por carreta | | | | | | | |
| Automóviles de turismo | | | | | | | |
| Gasolina sin plomo | | | | | | | |
| Gasolina con plomo | | | | | | | |
| Diesel | | | | | | | |
| Autobuses | | | | | | | |
| Gasolina (con plomo/sin plomo) | | | | | | | |
| Diesel | | | | | | | |
| Camiones | | | | | | | |
| Diesel | | | | | | | |
| Triciclos motorizados | | | | | | | |
| Motocicletas | | | | | | | |
| Barcos (diesel) | | | | | | | |
| Trenes (diesel/carbón) | | | | | | | |

Por (s)CCA se entiende catalizador ¿Sí/No? Retención de partículas en diesel

Cuadro 76: Cuestionario estándar para la quema no controlada

| Quemas abiertas/incendios | Incidentes p.a. | Material quemado (t) | Lugares del país (costa/interior) | Tipos de vegetación incendiados | Observaciones |
|--|-----------------|----------------------|-----------------------------------|---------------------------------|--|
| Incendios forestales/de matorral | | | | | Señalar los métodos utilizados para calcular la cantidad de material |
| Incendios de brezos/praderas | | | | | |
| Quemas de productos agrícolas (residuos de la cosecha) | | | | | Señalar los tipos de materiales implicados, tipos de cosecha, toda información relacionada (por ejemplo, composición) |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Quema no controlada de desechos domésticos | | | | | Estimar frecuencia y cantidad, señalar condiciones típicas y toda información sobre composición de desecho y naturaleza del incendio |
| Incendios de terraplén | | | | | Anotar detalles sobre cómo se hace la estimación |
| Incendios accidentales en edificios/fábricas, etc. | | | | | |
| Incendios accidentales en vehículos | | | | | |
| Quema de madera al aire libre (por ejemplo desechos de construcción/derribo) | | | | | |

Cuadro 77: Cuestionario estándar para liberaciones al agua

| Industria química (información general sobre el proceso industrial) | Ubicación | Tipo de proceso | Tipo (lotes, continua) | Capacidad (materia prima/producto final) | Unidad (t/h, t/a), etc. | Horas de funcionamiento p.a. | Tipo (lecho fijo, lecho fluidizado) | T Temp. (°C) | (s)CCA | (s)(CCA (°C) | | |
|---|------------------|----------------------------|--------------------------------------|---|------------------------------------|---|--|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|--|--|
| Producción de organoclorados | | | | | | | | | | | | |
| Dicloruro de etileno | | | | | | | | | | | | |
| PVC | | | | | | | | | | | | |
| Plaguicidas (PCP(-Na), 2, 4, 5-T, 2, 4-D) | | | | | | | | | | | | |
| Productos inorgánicos de cloro (electrodos de grafitos) | | | | | | | | | | | | |
| Industria del petróleo (refinerías) | | | | | | | | | | | | |
| Industria (información importante para la generación de agua/efluente y liberaciones a aguas de desecho) | Ubicación | Núm. de plantas | Capacidad (t/a) | Cl-B | Descargas al agua | Unidades (L/h, m³/a) | TA | Generación de lodo (t/a) | Evacuación de lodo | | | |
| Producción de organoclorados | | | | | | | | | | | | |
| Dicloruro de etileno | | | | | | | | | | | | |
| PVC | | | | | | | | | | | | |
| Plaguicidas (pentaclorofenol, 2,4,5-T, 2,4-D) | | | | | | | | | | | | |
| Producción de cloro inorgánico (electrodos de grafito) | | | | | | | | | | | | |
| Industria del petróleo (refinerías) | | | | | | | | | | | | |
| Industria de la pasta y el papel | | | | | | | | | | | | |
| Pasta | | | | | | | | | | | | |
| Papel (primario o reciclado) | | | | | | | | | | | | |
| Tratamiento de agua | TA | | Evacuación de lodos | | | EL | | | | | | |
| Estanque de sedimentación | ES | | Terraplenes | | | Ter | | | | | | |
| Estanque de aireación | EA | | Agricultura | | | Agra | | | | | | |
| Tratamiento secundario | T2areo | | <i>In situ</i> | | | <i>In situ</i> | | | | | | |
| Tratamiento terciario | T3areo | | Combustión (recuperación de energía) | | | Comb. | | | | | | |
| Otros (especifíquese) | | | Otros (especifíquese) | | | | | | | | | |

8.3 Ejemplos de cuadros para la presentación de los inventarios

En el cuadro 78 se da un ejemplo con números expuesto en hoja EXCEL y con los datos sobre liberaciones anuales recogidos en el impreso principal. Se trata de un país hipotético donde hay instalaciones para la quema de desechos municipales, peligrosos y médicos, pero no para los desechos de la fracción ligera del desguace, los lodos de alcantarilla, los desechos de madera o los cadáveres de animales. Obsérvese que el cuadro señala que no hay ninguna actividad en este sector, es decir que en el país se sabe que esas actividades son fuentes potenciales de dioxinas y furanos, que se han estudiado esas fuentes y se ha llegado a la conclusión de que no existen. Se trata de un país más bien adelantado en su tecnología, ya que no hay ninguna planta que funcione con las normas técnicas más bajas. Los principales vectores de liberación son la atmósfera, con un total de 150 g de EQT al año y con residuos, que aportan 552 g de EQT al año. La mayor parte de los PCDD/PCDF en los residuos proceden de la contaminación en las cenizas volantes. Los datos sobre liberaciones a la atmósfera indican claramente que la principal contribución a las liberaciones anuales es la provocada por la incineración de 250.000 toneladas de desechos municipales quemados en una, tal vez única, instalación de DSM que no tiene la más moderna tecnología. Este incinerador emitió 87,5 g de EQT en el año de referencia mientras que un incinerador totalmente moderno, que aplique BAT y queme el doble de la masa (500.000 t/a) sólo habría liberado 0,25 g de EQT en el mismo año de referencia.

El producto final después de haberse recorrido todas las etapas del Instrumental consistirá en un cuadro resumido con todos los datos sobre liberaciones compilados en el año y en el país de referencia. En el cuadro 79 se muestra la disposición de la hoja de datos resumida.

Es lo más probable que el inventario de liberaciones a la atmósfera sea el más completo en ciertos países y también el más interesante en muchos casos. Por esta razón, puede ser útil presentar un inventario dedicado exclusivamente a la liberación a este vector. Para que sirva de ilustración, el cuadro 80 da un ejemplo de la presentación de un inventario de liberaciones a la atmósfera con la incineración de desechos como principal categoría de fuente. En este ejemplo se supone que existen determinadas subcategorías, que hay datos medidos en el lugar y que para otros datos se han aplicado los factores de emisión por defecto que da el Instrumental.

Cuadro 78: Copia de un ejemplo de cuadro generado por el programa EXCEL en el que se muestran datos de entrada y de salida para liberaciones a la atmósfera, agua, tierra, y con productos y residuos

| Categorías de fuentes | Posibles vías de liberación (µg de EQT/t) | | | | | | Producción t/a | Liberación anual g de EQT/a Atmósfera | Liberación anual g de EQT/a Agua | Liberación anual g de EQT/a Tierra | Liberación anual g de EQT/a Cenizas volantes | Liberación anual g de EQT/a Cenizas deposi- tadas |
|--|---|------|--------|----------------|----------|-----|-------------------|--|---|---|--|--|
| | Atmós- fera | Agua | Tierra | Produc- tos | Residuos | | | | | | | |
| Incineración de desechos | | | | | | | | | | | | |
| Inc. de desechos sólidos municipales | | | | | | | 2750000 | 147,75 | 0 | 0 | 532 | 18,5 |
| Comb. baja tecnología, sin sistemas CCA | 3500 | | NA | NA | 0 | 75 | | | | | 0 | |
| Combustión controlada, CCA mínimo | 350 | | NA | NA | 500 | 15 | 250000 | 87,5 | | | 125 | 3,75 |
| Combustión controlada, buen CCA | 30 | | NA | NA | 200 | 7 | 2000000 | 60 | | | 400 | 14 |
| Comb. alta tecnología, CCA perfeccionado | 0,5 | | NA | NA | 15 | 1.5 | 500000 | 0,25 | | | 7,5 | 0,75 |
| Incineración de desechos peligrosos | | | | | | | 1000 | 0,075 | 0 | 0 | 0,414 | 0 |
| Comb. baja tecnología, sin sistemas CCA | 35000 | | NA | NA | 9000 | | 0 | 0 | | | 0 | 0 |
| Combustión controlada, CCA mínimo | 350 | | NA | NA | 900 | | 200 | 0,07 | | | 0,18 | 0 |
| Combustión controlada, buen CCA | 10 | | NA | NA | 450 | | 500 | 0,005 | | | 0,225 | 0 |
| Comb. alta tecnología, CCA perfeccionado | 0,75 | | NA | NA | 30 | | 300 | 0,000225 | | | 0,009 | 0 |
| Inc. de desechos médicos/hospitalarios | | | | | | | 2000 | 2,026 | 0 | 0 | 0,995 | 0,01 |
| Comb. no controlada por lotes, sin CCA | 40000 | | NA | NA | | 200 | | 0 | | | 0 | 0 |
| Combustión controlada, por lotes, sin CCA o mínimo | 3000 | | NA | NA | | 20 | 500 | 1,5 | | | 0 | 0,01 |
| Combustión controlada por lotes, buen CCA | 525 | | NA | NA | 920 | | 1000 | 0,525 | | | 0,92 | 0 |
| Combustión de alta tecnología, continua, CCA perfeccionado | 1 | | NA | NA | 150 | | 500 | 0,0005 | | | 0,075 | 0 |
| Incineración de desechos de desguace, fracción ligera * | | | | | | | 0 | | | | | |
| Inc. de lodos de alcantarilla * | | | | | | | 0 | | | | | |
| Comb. de desechos de madera* | | | | | | | 0 | | | | | |
| Inc. de cadáveres de animales* | | | | | | | 0 | | | | | |
| | | | | | | | | | | | 534 | 18,5 |
| Incineración de desechos | | | | | | | 2753000 | 150 | 0 | 0 | 552 | |

* Se omiten subcategorías para ocupar menos espacio.

Cuadro 79: Ejemplo de cuadro para dar una panorámica general de las liberaciones nacionales de PCDD/PCDF (a partir de hojas EXCEL)

| Sector | Categorías de fuentes | Liberación anual (g de EQT/a) | | | | |
|------------|---|-------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| | | Atmósfera | Agua | Tierra | Productos | Residuos |
| 1 | Incineración de desechos | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,0 |
| 2 | Producción de metales ferrosos y no ferrosos | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,0 |
| 3 | Generación de energía y calefacción | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,0 |
| 4 | Producción de productos minerales | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,0 |
| 5 | Transportes | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,0 |
| 6 | Procesos de combustión no controlados | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,0 |
| 7 | Producción de sustancias químicas y bienes de consumo | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,0 |
| 8 | Varios | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,0 |
| 9 | Vertederos, terraplenes | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,0 |
| 10 | Identificación de posibles puntos calientes | | | | | |
| 1-9 | Total | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

Cuadro 80: Presentación de muestra de un inventario de liberaciones a la atmósfera cuando existen datos propios medidos

| No. | Categorías y subcategorías | Liberación anual (g de EQT/a) | | Observaciones |
|-----|---|-------------------------------|-----------------------|---------------|
| | | Instrumental | Datos medidos propios | |
| | Incineración de desechos | Atmósfera | | |
| | | Instrumental | Datos medidos propios | |
| 1a | Incineración de desechos sólidos municipales | | | |
| 1b | Incineración de desechos peligrosos | | | |
| 1c | Incineración de desechos médicos | | | |
| 1d | Incineración de desechos de desguace, fracción ligera | | | |
| 1e | Incineración de lodos de alcantarilla | | | |
| 1f | Combustión de desechos de madera | | | |
| 1g | Incineración de cadáveres de animales | | | |
| | TOTAL | | | |

9 ANEXOS TÉCNICOS

9.1 Factores de Equivalencia de Toxicidad (FET)

Diversos organismos reglamentarios han establecido los llamados Factores de Equivalencia de Toxicidad (FET) para evaluar el riesgo de mezclas complejas de PCDD/PCDF. Los FET se basan en valores de toxicidad aguda determinados en estudios *in vivo* e *in vitro*. Esta idea se basa en la observación de que estos compuestos tienen un mecanismo de acción común, mediado por receptores. Pero la idea de los FET tiene limitaciones que se explican por cierto número de simplificaciones. Aunque la base científica no puede considerarse sólida, la idea de los FET se ha desarrollado como instrumento administrativo y permite convertir datos analíticos cuantitativos de congéneres individuales de PCDD/PCDF en un solo Equivalente de toxicidad (EQT). Los FET son particularmente útiles para expresar la toxicidad acumulativa de mezclas complejas de PCDD/PCDF con un solo valor de EQT. Debe advertirse que los FET son valores provisionales e instrumentos administrativos para hacer estimaciones de orden de magnitud. Se basan en el estado actual de los conocimientos y deberán ser revisados a medida que vayan obteniéndose nuevos datos.

En la actualidad están en uso dos planes: el más antiguo es el de los FET establecidos por un Grupo de Trabajo OTAN/DCSM sobre dioxinas y compuestos relacionados como factores internacionales de equivalencia de toxicidad (FET-I) (OTAN/DCSM 1988, CUT et al. 1990) y el plan más reciente establecido por un grupo de trabajo OMS/PCS que ha reevaluado los FET-I y ha establecido un nuevo plan. Los dos planes se muestran en el cuadro 81. Aquí se muestran solamente los FET para la evaluación del riesgo de seres humanos y mamíferos, pese a que el grupo OMS/IPCS también ha incluido entre los FET a los bifenilos policlorados *non-ortho* y *mono-ortho* sustituidos (PCB) y ha establecido unos FET independientes para peces y aves (van Leeuwen y Younes 1998).

Cuadro 81: Factores de Equivalencia de Toxicidad (FET) – comparación entre los dos planes más frecuentemente utilizados

| Congénere | FET-I | OMS-FET |
|----------------------------------|-------|---------------|
| 2,3,7,8-Cl ₄ DD | 1 | 1 |
| 1,2,3,7,8-Cl ₅ DD | 0,5 | 1 |
| 1,2,3,4,7,8-Cl ₆ DD | 0,1 | 0,1 |
| 1,2,3,7,8,9-Cl ₆ DD | 0,1 | 0,1 |
| 1,2,3,6,7,8-Cl ₆ DD | 0,1 | 0,1 |
| 1,2,3,4,6,7,8-Cl ₇ DD | 0,01 | 0,01 |
| Cl ₈ DD | 0,001 | 0,0001 |
| 2,3,7,8-Cl ₄ DF | 0,1 | 0,1 |
| 1,2,3,7,8-Cl ₅ DF | 0,05 | 0,05 |
| 2,3,4,7,8-Cl ₅ DF | 0,5 | 0,5 |
| 1,2,3,4,7,8-Cl ₆ DF | 0,1 | 0,1 |
| 1,2,3,7,8,9-Cl ₆ DF | 0,1 | 0,1 |
| 1,2,3,6,7,8-Cl ₆ DF | 0,1 | 0,1 |
| 2,3,4,6,7,8-Cl ₆ DF | 0,1 | 0,1 |
| 1,2,3,4,6,7,8-Cl ₇ DF | 0,01 | 0,01 |
| 1,2,3,4,7,8,9-Cl ₇ DF | 0,01 | 0,01 |
| Cl ₈ DF | 0,001 | 0,0001 |

A ninguno de los congéneres no 2,3,7,8-sustituídos se les ha asignado un FET.

Los números en negrita corresponden a los FET que la OMS ha cambiado con respecto a los FET-I.

9.2 Valores calóricos– para la categoría principal 3

En la categoría principal 3, la base para comunicar factores de emisión por defecto está en la producción de energía. Para ello el Instrumental hace referencia a los TJ (Terajulios) y no a la masa de 1 tonelada de material de entrada. En ciertos casos sólo se dispondrá de datos de consumo por masa y por ello se han preparado las siguientes tablas que dan una lista indicativa de masas (en kg) en relación con su producción calórica (en MJ).

Cuadro 82: Valores calóricos del carbón

| Tipo de carbón | Valor calórico |
|-------------------------------|------------------------------|
| Antracita, Alemania | 27–35 MJ/kg según la mina |
| Carbón bituminoso, Francia | 32–34 MJ/kg |
| Carbón bituminoso, EE.UU. | 31–32 MJ/kg |
| Antracita, Rusia | 30 MJ/kg (Donez Bay) |
| Carbón bituminoso, Alemania | 29–32 MJ/kg |
| Carbón bituminoso, China | 25–27 MJ/kg |
| Carbón subbituminoso, España | 16–17 MJ/kg |
| Carbón subbituminoso, Croacia | 13–15 MJ/kg |
| Carbón subbituminoso, Turquía | 12–14 MJ/kg |
| Lignito, Alemania Central | 10–12 MJ/kg |
| Lignito, República Checa | 9–11 MJ/kg |
| Lignito, Alemania Occidental | 8–10 MJ/kg |
| Lignito, Australia | 8–9 MJ/kg |
| Lignito, Alemania Oriental | 7–9 MJ/kg |
| Lignito, Grecia | 4–6 MJ/kg |

Cuadro 83: Valores calóricos del cok

| Tipo de cok | Valor calórico |
|----------------------------|----------------|
| Cok de la República Checa | 31–32 MJ/kg |
| Cok de antracita, Alemania | 28–30 MJ/kg |
| Cok de lignito, Alemania | 27–28 MJ/kg |
| Cok esponjoso, Alemania | 23–25 MJ/kg |

Cuadro 84: Valores calóricos del petróleo

| Tipo de petróleo | Valor calórico |
|----------------------------------|----------------|
| Gasolina | 44–47 MJ/kg |
| Aceite ligero/aceite diesel | 43–46 MJ/kg |
| Aceite pesado | 40–43 MJ/kg |
| Aceite de alquitrán de lignito | 38–40 MJ/kg |
| Aceite de alquitrán de antracita | 37–39 MJ/kg |
| Alcohol metílico | 20–23 MJ/kg |

Cuadro 85: Valores calóricos del gas

| Tipo de gas | Valor calórico |
|--|----------------|
| Metano | 50–55 MJ/kg |
| Gas natural, Mar del Norte – Gran Bretaña | 48–53 MJ/kg |
| Gas natural, Mar del Norte – Alemania | 47–52 MJ/kg |
| Propano | 46–50 MJ/kg |
| Gas natural clase H | 44–49 MJ/kg |
| Gas natural clase L | 40–45 MJ/kg |
| Gas natural, Países Bajos | 38–44 MJ/kg |
| Metanol | 20–23 MJ/kg |
| Monóxido de carbono | 10–11 MJ/kg |
| En una primera estimación se aplicarán los siguientes valores medios | |
| Gas natural | 48 MJ/kg |
| GLP (valor calórico medio) | 46 MJ/kg |

Cuadro 86: Valores calóricos de la madera

| Tipo de madera | Valor calórico |
|-----------------------|----------------|
| Abeto, secado al aire | 14–17 MJ/kg |
| Alamo, secado al aire | 15–16 MJ/kg |
| Haya, secado al aire | 13–15 MJ/kg |
| Haya, verde | 12–13 MJ/kg |
| Corteza de haya | 11–13 MJ/kg |
| Corteza de abeto | 10–12 MJ/kg |

Cuadro 87: Valores calóricos de la biomasa

| Tipo de biomasa | Valor calórico |
|----------------------------------|----------------|
| Nueces de coco | 17–19 MJ/kg |
| Nueces de almendra | 17–19 MJ/kg |
| Pellas de turba | 15–18 MJ/kg |
| Turba, Alemania | 15–17 MJ/kg |
| Paja (de trigo) | 15–17 MJ/kg |
| Fibra de coco | 14–16 MJ/kg |
| Cascarilla de arroz | 14–15 MJ/kg |
| Residuos de torrefactado de café | 9–11 MJ/kg |
| Turba, Finlandia | 9–11 MJ/kg |
| Bagazo | 8–10 MJ/kg |
| Turba, España | 1–3 MJ/kg |

9.3 Factores de conversión de combustibles líquidos y gaseosos – para las categorías principales 3 y 5

Con frecuencia los números sobre consumo de gasolina y diesel en los transportes o de petróleo bruto en el sector de la energía se pueden dar en litros (L). Los números sobre consumo de combustibles gaseosos, como el gas natural, se pueden dar en metros cúbicos (m³). A efectos del Instrumental, esos volúmenes se han de transformar en toneladas o

valores calóricos; estos últimos pueden verse en la sección 9.2. Para facilitar el uso del Instrumental, en esta sección se dan también los valores calóricos medios. A efectos del Instrumental:

1 L de gasolina tiene una masa de unos 0,74 kg; por consiguiente, para convertir litros de gasolina en toneladas se utilizará un factor de conversión de 0,00074;

1 L de aceite diesel (normal, para automóviles, camiones, etc.) y/o de aceite ligero (incluido el destinado a la calefacción) tienen una masa de unos 0,85 kg; por consiguiente, para convertir litros de diesel y/o aceite ligero en toneladas se utilizará un factor de conversión de 0,00085;

1 L de combustible pesado tiene una masa de unos 0,970 kg; por consiguiente, para convertir litros de combustible pesado en toneladas se utilizará un factor de conversión de 0,00097;

1 m³ de gas natural tiene una masa de 0,77 a 0,85 kg; con un promedio de 0,8 kg; por consiguiente, para convertir m³ de gas natural en toneladas se utilizará un factor de conversión de 0,0008; para convertir litros de gas natural en toneladas se utilizará un factor de conversión de 0,0000008;

1 m³ de GLP (mezcla de propano y butano) tiene una masa de unos 2 kg; por consiguiente, para convertir m³ de GLP en toneladas se utilizará un factor de 0,002 y para convertir litros de GLP en toneladas se utilizará un factor de 0,000002.

9.4 Secuencias de blanqueo— para la categoría principal 7

Las letras de código y las fórmulas químicas correspondientes a las distintas etapas del blanqueo se designarán como puede verse en el cuadro 88.

Cuadro 88: Símbolos utilizados en las etapas de blanqueo

| (Blanqueo) químico | Fórmula química | Letra de código |
|---|-----------------------------------|----------------------|
| Hidróxido sódico | NaOH | E |
| Etapas de extracción con hidróxido sódico y adición ulterior de oxígeno gaseoso o peróxido de hidrógeno como agente de refuerzo | | Eo, Ep o E/O, E/P |
| Cloro elemento | Cl ₂ | C |
| Dióxido de cloro | ClO ₂ | D |
| Hipoclorito | HClO, NaOCl, Ca(OCl) ₂ | H |
| Oxígeno | O ₂ | O |
| Peróxido de hidrógeno | H ₂ O ₂ | P |
| Dióxido de azufre | SO ₂ | S |
| Acido sulfúrico | H ₂ SO ₄ | A |
| Acido etildiaminotetra-acético (fase ácida para retirar metales) | EDTA | Q |
| Etapas de lavado | | W |
| Ozono | O ₃ | Z |

En Europa las secuencias de blanqueo con sulfito son:

EOP-Q-EP-EP (HC)

EOP-EP (HC)

EOP-Q-EP-EP

Las secuencias de blanqueo Kraft más utilizadas en los EE.UU. en 1991 (= antigua tecnología) se basaban en el cloro elemento y se sucedían de la siguiente manera (EPA 1995):

C-E-D-E-D

C-E-H-D-E-D

C-E-H-E-D

C-E-H, C-E-H-P

El blanqueo con CLE es distinto para la madera blanda que para la dura. Normalmente la madera dura requiere menos sustancias químicas que la blanda para alcanzar una cierta claridad, lo que normalmente significa un menor número de etapas de blanqueo. Ejemplos de secuencias de blanqueo con CLE es (DZ)(EOP)D, (DQ)(PO), D(EOP)D(PO), que se puede aplicar tanto a la madera dura como a la blanda según sea el objetivo de claridad.

En la actualidad se ha ido haciendo cada vez más frecuente la deslignificación por oxígeno, generalmente seguida de secuencias de blanqueo como las siguientes (plantas de CLE):

D-E-D-E-D

D-EOP-D-E-D

D-E-D-D

QP-DQ-PO

Según sean las demandas del mercado, algunas fábricas que utilizan el CLE tienen la posibilidad de producir pasta totalmente libre de cloro (TLC). Las fábricas TLC han sistematizado tecnologías como:

Q-E/P-E-P

OP-ZQ-PO

Q-Z-P-E-P

OP-Q-PO.