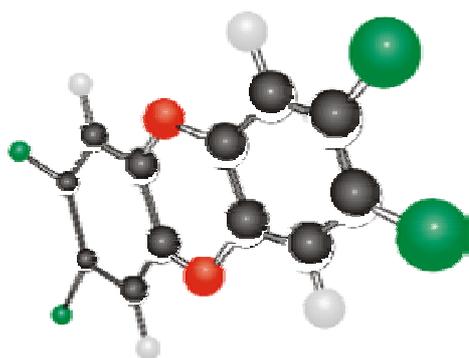




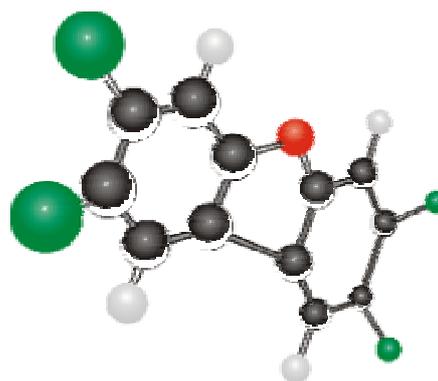
Programa de las Naciones Unidas
para el Medio Ambiente



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



Aire
Agua
Tierra
Productos
Residuos



1^{era} edición
Mayo de 2003

Preparado por Productos Químicos
Ginebra, Suiza

IOMC

PROGRAMA INTERINSTITUCIONAL PARA EL MANEJO ADECUADO DE LOS PRODUCTOS QUÍMICOS
Acuerdo de cooperación entre PNUMA, OIT, FAO, OMS, ONUDI, UNITAR y OCDE



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



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

**1^{era} edición
Mayo de 2003**

**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 actualizado por PNUMA Productos Químicos en la base del borrador del presente publicación de la fecha del enero de 2001 y de comentarios originados de gobiernos y organizaciones no-gubernamentales según decisión 6/4 del la sexta sesión del comité intergubernamental de negociación del Convenio de Estocolmo.

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

Mayo de 2003

Prefacio

El Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP) requiere de las partes la reducción de las liberaciones totales de COP tales como dibenzo-*p*-dioxinas policloradas y dibenzofuranos policlorados (PCDD/PCDF) con el objetivo de su minimización continua y, donde sea posible, su eliminación definitiva. De acuerdo con esto, los países Partes necesitarán identificar sus fuentes de PCDD/PCDF y cuantificar sus liberaciones. La metodología utilizada para evaluar dichas fuentes deberá ser consistente para poder evaluar las liberaciones de PCDD/PCDF a lo largo del tiempo y entre distintos países.

La primer edición del “Instrumental Normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberación de Dioxinas y Furanos” (Instrumental) presenta una actualización de la versión borrador, editado por el PNUMA Productos Químicos en Enero de 2001. Esta actualización fue desarrollada en respuesta a la decisión CNI-6/4 tomada por el Comité de Negociación Intergubernamental de COP (CNI) en su Sexta Sección de Junio de 2002, y está basada en comentarios de las organizaciones gubernamentales y no gubernamentales. En su decisión, el CNI también señaló “...que el Instrumental Normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos suministra una base para el desarrollo de una guía provisoria en la evaluación de liberaciones de sustancias químicas en curso o previstas, en la lista del Anexo C del Convenio de Estocolmo sobre Compuestos Orgánicos Persistentes”.

El Instrumental ha sido introducido a los países en una serie de talleres de capacitación y está siendo probado, en la práctica, por un número de ellos que recibieron asistencia del PNUMA. El Instrumental será usado para la producción de inventarios de dioxinas y furanos dentro de los planes nacionales de implementación del Convenio de Estocolmo.

El Instrumental es flexible y puede ser aplicado en todos los países: Los países sin ningún dato de PCDD/PCDF, lo encontrarán útil para examinar las actividades industriales y otras actividades, para realizar las primeras estimaciones de la escala de fuentes potenciales de PCDD/PCDF y las liberaciones. Los países con datos medidos pueden usar el Instrumental para revisar y actualizar el alcance de su inventario, como también para buscar el acuerdo entre sus propios datos y los suministrados por la herramienta.

Al igual que con cualquier otra metodología, el Instrumental necesita ensayos y validaciones. Los usuarios de esta herramienta podrán consultar a PNUMA Productos Químicos, en los casos en que se presenten problemas de aplicación, interpretación e implementación, o cuando el sistema no parezca ser de aplicación a la situación encontrada en el país.

Los países están invitados a usar el Instrumental, para la remisión al PNUMA de sus propios inventarios, que actualizarán el Inventario de Liberaciones Dioxinas y Furanos (Informe PNUMA de mayo de 1999). Los Inventarios recibidos serán publicados y se pondrán a disposición en la Central de Información de COP (<http://www.chem.unep.ch/pops>). El PNUMA invita, además, a todos los usuarios del Instrumental a retroalimentar este producto en todos los aspectos.

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

Indice

	Página
Prefacio	1
Indice.....	i
Indice de cuadros	v
Indice de figuras.....	viii
Abreviaturas y acrónimos	ix
Resumen Ejecutivo	1
1 Introducción.....	5
2 Objetivos y Limitaciones	7
2.1 Objetivos.....	7
2.2 Limitaciones.....	8
2.3 Lectura adicional.....	10
3 Formación y liberación de PCDD y PCDF	13
3.1 Formación de PCDD/PCDF.....	13
3.2 Liberaciones directas de PCDD/PCDF	15
3.2.1 Liberaciones al Aire	15
3.2.2 Liberaciones al Agua	16
3.2.3 Liberaciones a la Tierra.....	17
3.2.4 Liberaciones con Productos	18
3.2.5 Liberaciones con Residuos.....	18
3.2.6 Puntos calientes Potenciales.....	20
4 Protocolo para la Preparación del Inventario	21
4.1 Etapa 1: Matriz de selección: Principales Categorías de Fuentes.....	22
4.2 Etapa 2: Identificación de Subcategorías.....	23
4.2.1 Subcategorías de la Incineración de Desechos	24
4.2.2 Subcategorías de la Producción de Metales Ferrosos y No Ferrosos.....	25
4.2.3 Subcategorías de Generación de Energía y Calefacción/Cocina	26
4.2.4 Subcategorías de la Producción de Minerales	26
4.2.5 Subcategorías de Transporte	27
4.2.6 Subcategorías de Procesos de Combustión Incontrolados	28
4.2.7 Subcategorías de Producción y Uso de Sustancias Químicas y Bienes de Consumo	28
4.2.8 Subcategorías de Varios.....	29
4.2.9 Subcategorías de Evacuación	29
4.2.10 Subcategorías de Puntos Calientes.....	30
4.3 Etapa 3: Acopio de Información	31
4.4 Etapa 4: Clasificación de Procesos y Cuantificación de Fuentes	32
4.4.1 Clasificación de Procesos.....	33
4.4.2 Cuantificación de Fuentes.....	34
4.4.3 Determinación del Flujo o Tasa de Actividad.....	36

	Página	
4.4.4	Utilización de los Factores de Emisión por Defecto del Instrumental.....	37
4.4.5	Uso de Datos de Emisión Propios	37
4.5	Etapa 5: Compilación del Inventario.....	38
5	Presentación del Inventario	39
5.1	Establecimiento de un Inventario Provisional.....	39
5.2	Informe Final	40
6	Factores de Emisión por Defecto	43
6.1	Categoría principal 1 – Incineración de Desechos.....	43
	Pertinente al Artículo 5, Anexo C.....	44
6.1.1	Desechos Sólidos Municipales.....	44
6.1.2	Incineración de Desechos Peligrosos.....	48
6.1.3	Incineración de Desechos Médicos.....	52
6.1.4	Incineración de Desechos de Fragmentación, Fracción Ligera	55
6.1.5	Incineración de Lodos de Alcantarilla.....	57
6.1.6	Incineración de Desechos de Madera y de Biomasa.....	60
6.1.7	Combustión de Cadáveres de Animales	62
6.2	Categoría principal 2 – Producción de Metales Ferrosos y No Ferrosos.....	65
	Pertinente al Artículo 5, Anexo C.....	67
6.2.1	Sinterización del Mineral de Hierro	67
6.2.2	Producción de Cok.....	71
6.2.3	Plantas de Producción de Hierro y Acero	72
6.2.4	Producción de Cobre.....	79
6.2.5	Producción de Aluminio	83
6.2.6	Producción de Plomo	86
6.2.7	Producción de Zinc.....	88
6.2.8	Producción de Latón y Bronce.....	90
6.2.9	Producción de Magnesio	92
6.2.10	Producción de Otros Metales No Ferrosos	94
6.2.11	Fragmentadoras.....	96
6.2.12	Recuperación Térmica de Cables.....	97
6.3	Categoría principal 3 – Generación de Energía, Calefacción y Cocina	100
	Pertinente al Artículo 5, Anexo C.....	101
6.3.1	Centrales de Energía de Combustibles Fósiles.....	101
6.3.2	Centrales de Energía de Biomasa.....	104
6.3.3	Combustión de vertedero/biogás	106
6.3.4	Calefacción y Cocina Doméstica con Biomasa.....	107
6.3.5	Calefacción Doméstica y Cocina Con Combustibles Fósiles	109
6.4	Categoría principal 4 – Productos Minerales	112
	Pertinente al Artículo 5, Anexo C.....	112
6.4.1	Producción de Cemento	112
6.4.2	Producción de Cal.....	117
6.4.3	Producción de Ladrillos	119
6.4.4	Producción de Vidrio	120
6.4.5	Producción de Cerámica	122
6.4.6	Mezclado del Asfalto	122

	Página
6.5 Categoría principal 5 – Transportes	124
Pertinente al Artículo 5, Anexo C	124
6.5.1 Motores de 4 Tiempos	124
6.5.2 Motores de 2 Tiempos	125
6.5.3 Motores Diesel	126
6.5.4 Motores de Aceite Pesado	128
6.6 Categoría principal 6 – Procesos de Combustión Incontrolados	130
Pertinente al Artículo 5, Anexo C	130
6.6.1 Quema de Biomasa	130
6.6.2 Quema de Desechos e Incendios Accidentales	134
6.7 Categoría Principal 7 - Producción y Uso de Sustancias Químicas y Bienes de Consumo	138
Pertinente al Artículo 5, Anexo C	138
6.7.1 Producción de Pasta/Pulpa y Papel	139
6.7.2 Industria Química	147
6.7.3 Industria del Petróleo	164
6.7.4 Producción Textil	165
6.7.5 Refinado del Cuero	168
6.8 Categoría principal 8 - Varios	170
Pertinente al Artículo 5, Anexo C	170
6.8.1 Desechado de Biomasa	170
6.8.2 Crematorios	171
6.8.3 Ahumaderos	173
6.8.4 Limpieza a Seco	175
6.8.5 Consumo de Tabaco	176
6.9 Categoría principal 9 – Evacuación/Vertedero	177
Pertinente al Artículo 5, Anexo C	178
6.9.1 Vertederos Controlados y Botaderos/Basurales	178
6.9.2 Aguas de Alcantarilla y su Tratamiento	180
6.9.3 Vertidos al Agua Abierta	183
6.9.4 Compostado	184
6.9.5 Tratamiento de Aceites de Desecho (No Térmicos)	185
6.10 Categoría Principal 10 – Puntos Calientes	187
6.10.1 Lugares de Producción de Sustancias Orgánicas Cloradas	187
6.10.2 Lugares de Producción de Cloro	187
6.10.3 Lugares de Formulación de Fenoles Clorados	188
6.10.4 Lugares de Aplicación de Fenoles Clorados	188
6.10.5 Fabricación de Madera y Lugares de Tratamiento	188
6.10.6 Transformadores y Capacitores conteniendo PCB	188
6.10.7 Botaderos de Desechos/Residuos de Categorías 1-9	189
6.10.8 Lugares Donde se Hayan Producido Accidentes Importantes	190
6.10.9 Dragado de Sedimentos	190
6.10.10 Sitios donde hay Caolin o Arcilla Plástica	190
7 Referencias	193
8 Anexo 1: Compilación de Todos los Factores de Emisión	201
9 Anexo 2: Cuestionarios	209

	Página
10 Anexo 3: Presentación de los Inventarios	221
10.1 Ejemplos de Cuadros para el Inventario	221
11 Inventarios Nacionales de PCDD/PCDF realizados con el Instrumental	223
12 Anexos Técnicos	231
12.1 Factores de Equivalencia de Toxicidad (FET).....	231
12.2 Uso de Unidades en las Emisiones al Aire	233
12.3 Valores Calóricos– para la Categoría Principal 3	234
12.4 Factores de Conversión de Combustibles Líquidos y Gaseosos – para las Categorías Principales 3 y 5.....	236
12.5 Secuencias de Blanqueo– para la Categoría Principal 7.....	237

Índice de cuadros

	Página
Cuadro 1: Matriz de selección – Principales categorías de fuentes.....	23
Cuadro 2: Subcategorías de la matriz del inventario – Categoría Principal 1	24
Cuadro 3: Subcategorías de la matriz del inventario – Categoría Principal 2.....	25
Cuadro 4: Subcategorías de la matriz del inventario – Categoría Principal 3	26
Cuadro 5: Subcategorías de la matriz del inventario – Categoría Principal 4	27
Cuadro 6: Subcategorías de la matriz del inventario – Categoría Principal 5	27
Cuadro 7: Subcategorías de la matriz del inventario – Categoría Principal 6	28
Cuadro 8: Subcategorías de la matriz del inventario – Categoría Principal 7	28
Cuadro 9: Subcategorías de la matriz del inventario – Categoría Principal 8	29
Cuadro 10: Subcategorías de la matriz del inventario – Categoría Principal 9	30
Cuadro 11: Subcategorías de la matriz del inventario – Categoría Principal 10	31
Cuadro 12: Ejemplo de clasificación – aplicada a la producción térmica de aluminio	34
Cuadro 13: Subcategorías de la Categoría Principal 1 – Incineración de desechos	44
Cuadro 14: Factores de emisión resultantes de la incineración de desechos sólidos municipales	46
Cuadro 15: Factores de emisión para la incineración de desechos peligrosos	50
Cuadro 16: Factores de emisión para la incineración de desechos médicos	53
Cuadro 17: Factores de emisión en la incineración de DFFL.....	56
Cuadro 18: Factores de emisión para la incineración de lodos de alcantarilla	58
Cuadro 19: Factores de emisión para la incineración de desechos de madera/biomasa.....	61
Cuadro 20: Factores de emisión para la combustión de cadáveres de animales.....	63
Cuadro 21: Subcategorías de la Categoría Principal 2 – Producción de metales ferrosos y no-ferrosos	67
Cuadro 22: Factores de emisión para plantas de sinterización de mineral de hierro.....	69
Cuadro 23: Factores de emisión para la producción de cok	71
Cuadro 24: Factores de emisión de la industria del acero y de las fundiciones/funderías de hierro	76
Cuadro 25: Factores de emisión para la industria del cobre	81
Cuadro 26: Factores de emisión de la industria del aluminio.....	84
Cuadro 27: Factores de emisión para la industria del plomo.....	86
Cuadro 28: Factores de emisión para la industria del zinc	89

	Página
Cuadro 29:	Factores de emisión para la industria del latón y del bronce. 91
Cuadro 30:	Factores de emisión en la industria del magnesio..... 93
Cuadro 31:	Factores de emisión de procesos de metales no ferrosos..... 95
Cuadro 32:	Factores de emisión para fragmentadoras..... 96
Cuadro 33:	Factores de emisión para la recuperación térmica de cables 98
Cuadro 34:	Subcategorías de la categoría principal de fuentes 3 – Generación de Energía y Calefacción/Cocina..... 100
Cuadro 35:	Factores de emisión para la generación de energía y la producción de calor/energía en la industria, basada en combustibles fósiles..... 102
Cuadro 36:	Factores de emisión para la generación de energía basada en la biomasa..... 105
Cuadro 37:	Factores de emisión para la generación de energía por biogás/gas de vertederos, y para combustión con llama..... 106
Cuadro 38:	Factores de emisión de la calefacción doméstica y la cocina basadas en la biomasa 108
Cuadro 39:	Factores de emisión de la calefacción doméstica basada en combustibles fósiles 110
Cuadro 40:	Subcategorías de la Categoría Principal 4 – Producción de Productos Minerales..... 112
Cuadro 41:	Factores de emisión de la producción de cemento..... 114
Cuadro 42:	Factores de emisión en la producción de cal 118
Cuadro 43:	Factores de emisión en la producción de ladrillos 119
Cuadro 44:	Factores de emisión de la producción de vidrio..... 121
Cuadro 45:	Factores de emisión en el mezclado del asfalto 122
Cuadro 46:	Subcategorías de la categoría principal 5 – Transporte 124
Cuadro 47:	Factores de emisión de motores de 4 tiempos 125
Cuadro 48:	Factores de emisión para los motores de 2 tiempos (por ejemplo, pequeños velomotores) 126
Cuadro 49:	Factores de emisión para los motores diesel (por ejemplo, camiones)..... 127
Cuadro 50:	Factores de emisión para motores de aceite pesado (por ejemplo, barcos) ... 128
Cuadro 51:	Subcategorías de la Categoría Principal 6 – Procesos de combustión incontrolada..... 130
Cuadro 52:	Factores de emisión para la quema de biomasa 131
Cuadro 53:	Factores de emisión de la quema de desechos e incendios accidentales 134
Cuadro 54:	Subcategorías de la Categoría Principal 7- Producción y uso de sustancias químicas y bienes de consumo..... 138
Cuadro 55:	Factores de emisión de la industria de la pasta y el papel: calderas 142
Cuadro 56:	Factores de emisión para efluentes y lodos de pasta y papel..... 143

	Página
Cuadro 57:	Factores de emisión de productos de pasta y papel 143
Cuadro 58:	Concentraciones de PCDF en productos con PCB 154
Cuadro 59:	Estadísticas de pérdidas a partir de equipos con PCB 154
Cuadro 60:	Factores de emisión para la industria del EDC/VCM/PVC..... 161
Cuadro 61:	Factores de emisión para la industria textil..... 167
Cuadro 62:	Factores de emisión de la industria del cuero 169
Cuadro 63:	Subcategorías de la Categoría Principal 8- Varios 170
Cuadro 64:	Factores de emisión del desecado de biomasa * tras el desecado..... 171
Cuadro 65:	Factores de emisión de crematorios..... 172
Cuadro 66:	Factores de emisión para ahumaderos 174
Cuadro 67:	Factores de emisión en residuos de limpieza en seco 175
Cuadro 68:	Factores de emisión del consumo de tabaco 176
Cuadro 69:	Subcategorías de la Categoría Principal 9- Evacuación 178
Cuadro 70:	Factores de emisión de vertederos controlados y botaderos/basurales..... 179
Cuadro 71:	Factores de emisión de los lodos de alcantarilla 182
Cuadro 72:	Factores de emisión de vertidos a agua abierta..... 184
Cuadro 73:	Factores de emisión del composte 185
Cuadro 74:	Factores de emisión de PCB 189
Cuadro 75:	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 aire, agua, tierra, y con productos y residuos..... 222
Cuadro 76:	Inventario de liberación de PCDD/PCDF de Uruguay (DINAMA 2002)..... 223
Cuadro 77:	Inventario de liberaciones de PCDD/PCDF de Jordania, año de referencia 2000 (MoE Jordan 2003) 223
Cuadro 78:	Inventario de liberaciones de PCDD/PCDF de Filipinas, año de referencia 1999 (ITDI 2003)..... 224
Cuadro 79:	Inventario de liberaciones de PCDD/PCDF para Brunei Darussalam; año de referencia 2001 (DEPR 2003) 224
Cuadro 80:	Inventario de liberaciones de PCDD/PCDF Líbano; año de referencia 1999/2001 (MoE Libano 2003) 225
Cuadro 81:	Inventario de liberaciones preliminar de PCDD/PCDF de Tailandia año de referencia 1999 (PCD 2002) 225
Cuadro 82:	Inventario de liberaciones de PCDD/PCDF de Polonia, año de referencia 2000 (Lassen <i>et al.</i> 2003)..... 226
Cuadro 83:	Inventario de liberaciones de PCDD/PCDF de Estonia, año de referencia 2000 (Lassen <i>et al.</i> 2003)..... 227

	Página
Cuadro 84: Inventario de liberaciones de PCDD/PCDF de Latvia, año de referencia 2000 (Lassen <i>et al</i> 2003)	228
Cuadro 85: Inventario de liberaciones de PCDD/PCDF de Lituania, año de referencia 2000 (Lassen <i>et al</i> 2003)	229
Cuadro 86: Factores de Equivalencia de Toxicidad (FET) – comparación entre los dos esquemas más frecuentemente utilizados	232
Cuadro 87: Valores calóricos del carbón	234
Cuadro 88: Valores calóricos del cok	234
Cuadro 89: Valores calóricos del petróleo.....	234
Cuadro 90: Valores calóricos del gas	235
Cuadro 91: Valores calóricos de la madera	235
Cuadro 92: Valores calóricos de la biomasa.....	235
Cuadro 93: Símbolos utilizados en las etapas de blanqueo	237

Índice de figuras

	Página
Figura 1: El “ciclo de vida” de PCDD/PCDF.	14
Figura 2: El método en cinco etapas recomendado para preparar un inventario nacional de liberación de PCDD/PCDF utilizando el Instrumental.....	22

Abreviaturas y acrónimos

a	Año, 365 días
AH/ABO	Alto horno/acero básico al oxígeno
AL	Acero líquido
C	Etapas de blanqueado por cloración con cloro molecular disperso o disuelto en agua (producción de pasta y papel)
°C	Grados Celsius
ca.	Del latín: aproximadamente
CDD	Combustible derivado de desechos
CDSM	Comité para los Desafíos de la Sociedad Moderna (de la OTAN). En inglés "CCMS"
CEC	Comisión para la Cooperación Económica
CEFV	Consejo Europeo de Fabricantes de Vinilo
CEL	Cloro elemento libre (blanqueo)
CEC	Comisión para la Cooperación Económica
CNP	Eter de 2,4,6-triclorofenil-4'-nitrofenilo
COP	Contaminantes orgánicos persistentes
CORINAIR	Inventario Central de Emisiones Atmosféricas (Corine: coordination of information on the environment in Europe (Community programme))
D	Etapas de blanqueado con dióxido de cloro utilizando una solución acuosa de dióxido de cloro (ClO ₂) (producción de pasta y de papel)
DFFL	Desechos de fragmentadoras fracción liviana
DP	Desechos peligrosos
E	Etapas de blanqueado por extracción utilizando hidróxido sódico (NaOH)
EC/CE	European Community/Comisión Europea
EDC	1,2-dicloroetano
EMEP	Programa Concertado para la Vigilancia Continua (Monitoreo) y Evaluación de la Transmisión a Larga Distancia de Contaminantes Atmosféricos en Europa. (The cooperative programme for monitoring and evaluation of the long-range transmission of air pollutants in Europe)
EPA	Agencia de Protección Ambiental (Estados Unidos de América)
EPER	Registro de Emisión de Contaminantes en Europa (European Pollutant Emission Register)
EQT	Equivalente de Toxicidad

EQT-I	Equivalentes de Toxicidad-Internacional
EQT-N	Equivalentes de toxicidad-nórdicos (se usa comúnmente en los países escandinavos) ¹
<i>et al.</i>	Del Latín: “y otros”
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
HARP-HAZ	Procedimientos de Información y Cuantificación armonizados para Sustancias Peligrosas. (Harmonized Quantification and Reporting Procedures for Hazardous Substances)
HELCOM	Convenio Helsinki (cuerpo administrativo del “Convenio sobre Protección del Ambiente Marino del Mar Báltico”)
HBO	Horno básico al oxígeno
IPPC	Prevención y Control Integrados de la Contaminación. (Integrated Pollution Prevention and Control)
ISO	Organización Internacional de Normalización
i.e.	Del Latín: “en otras palabras”, “esto es”
K	(Grados) Kelvin
kPa	Kilopascales (= mil pascales)
L	Litro
LD	Límite de detección
LRTAP	Contaminantes de Aire Transfronterizos de Largo Alcance (Long Range Transboundary Air Pollutant)
m	Metro
m ³	Metro cúbico (normalmente bajo condiciones operativas sin normalización a, por ejemplo, temperatura, presión y humedad)
MTD	Mejores Técnicas Disponibles (BAT: Best Available Techniques)
m.s.	Materia seca
Mg	Magnesio
MSW	Desechos sólidos municipales (en inglés: municipal solid waste)
NA	No aplicable (no es un vector de liberación)
Na ₂ S	Sulfuro de sodio

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

NaOH	Hidróxido sódico
NCASI	National Council (of the Paper Industry) for Air and Stream Improvement, Inc.
ND	No determinado/no hay datos (en otras palabras, hasta ahora no se han hecho mediciones)
OSPAR	Comision for the Protection of the Marine Environment (Comisión para la Protección del Ambiente Marino del Atlántico Norte)
NPI	Nomenclatura Para Informar (NFR: Nomenclature For Report)
NPI/Australia	Inventario Nacional de Contaminantes de Australia (National Pollutant Inventory)
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
OTAN	Organización del Tratado del Atlántico Norte
PARCOM	Comisión París-Oslo
PCB	Bifenilos policlorados
PCD	Departamento de Control de la Contaminación (en el texto, de Tailandia)
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
PNA	Plan Nacional de Aplicación (según el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes) (NIP: National Implementation Plan)
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PQTM	Pasta químico-termo-mecánica
PRTR	Registro de Liberaciones y Transferencia de Contaminantes. (Pollutant Release and Transfer Register)
PVC	Cloruro de polivinilo
rpm	Revoluciones por minuto
(S)CCA	(Sistema) de control de la contaminación atmosférica
SNAP/CORINAIR	Selected Nomenclature for Air Pollution/ CORINAIR
NSCA	Nomenclatura Seleccionada para la Contaminación Atmosférica. En inglés SNAP

SFT	Autoridad Noruega del Control de la Contaminación
STP	Sustancias tóxicas persistentes
t	Tonelada (métrica)
TLC	Totalmente libre de cloro (blanqueo)
tSA	Tonelada secada al aire (de pulpa)
UNCED	Conferencia de Naciones Unidas sobre el Ambiente y el Desarrollo (acrónimo del inglés United Nations Conference on Environment and Development)
UE	Unión Europea (hasta el 30 de abril de 2004: 15 Estados Miembros: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, Suecia)
UNECE	Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (acrónimo del inglés United Nations Economic Commission for Europe)
UV	Ultravioleta
VCM	Monómero de cloruro de vinilo

Unidades SI

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	100 g
mg	miligramo	10^{-3} g
μ g	microgramo	10^{-6} g
ng	nanogramo	10^{-9} g
pg	picogramo	10^{-12} g
kJ	Kilojulio	10^3 julios
MJ	Megajulio	10^6 julios
GJ	Gigajulio	10^9 julios
TJ	Terajulio	10^{12} julios
MW	Megavatio	
MWh	Megavatio hora	
Pa	Pascal	
kPa	kiloPascal	103 Pascal

Unidades no métricas

Galón	1 gal	= 0,1337 ft ³	= 0,0038 m ³
Libra	1 lb	= 0,4536 kg	
Pulgada	1 in	= 2,54 cm	= 0,0254 m

Resumen Ejecutivo

Este Instrumental es una metodología para ayudar a los países, que están comenzando a desarrollar sus inventarios, a estimar las liberaciones de PCDD/PCDF y también para guiarlos en el proceso de mejora y refinamiento de estos inventarios. El objetivo del Instrumental es conducir a los realizadores del Inventario dentro del país, en las técnicas y etapas del mismo, dando ejemplos y parámetros de chequeo para la clasificación. El Instrumental también señala las vías por las cuales los PCDD/PCDF ingresan al ambiente o en otras matrices. Por último, el instrumental es suficientemente robusto como para caracterizar liberaciones en órdenes de magnitud y por sectores, como un todo.

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, sólo unos pocos más han sido concluidos y publicados.

La Convención de Estocolmo sobre Compuestos Orgánicos Persistentes, un tratado global legalmente vinculante, requiere que las partes minimicen, o donde sea posible, se eliminen las liberaciones de PCDD/PCDF. Por consiguiente es preciso cuantificar las fuentes de COP generados en forma no intencional y utilizar para la evaluación de esas fuentes una metodología que sea consistente 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 para esos propósitos. 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 ocupa 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 creación/desarrollo de capacidades 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 los utilizadores finales de los países que desean obtener asistencia para la compilación de sus inventarios. Ha sido diseñado como una metodología sencilla y normalizada y acompañada con una base de datos que permita reunir inventarios nacionales y regionales de PCDD/PCDF consistentes. Este Instrumental se ha desarrollado para ser usado por países que no tienen datos de PCDD/PCDF medidos en sus propias fuentes; ellos utilizarán los factores de emisión por defecto suministrados en este Instrumental. Sin embargo, este Instrumental también es aplicable a países que tienen sus propios datos medidos y que desearían aplicar sus propios factores de emisión.

La compilación de inventarios debe ser consistente, eficiente en tiempo y recursos, y suficientemente precisa como para permitir identificar de forma fidedigna las principales fuentes y las deficiencias de los datos fundamentales. Para aplicar el Instrumental y compilar un inventario no es necesario realizar pruebas. Además, el proceso está diseñado para que sea adaptable. El factor de emisión y la base de datos para la descripción del proceso pueden revisarse y mejorarse a medida que surjan nuevos datos medidos, y las nuevas cifras puedan 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 al aire, agua, tierra y con productos y residuos en un determinado país y proceder a un examen sistemático de éstos, para identificar cuáles son los más importantes.
- **Una Guía sobre el acopio de información** acerca de los procesos importantes, con lo que podrá procederse a la clasificación de esos procesos en clases con liberaciones 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 liberaciones se irá actualizando esta base de datos.
- **Guía para el montaje y presentación de un inventario** utilizando tanto factores de emisión por defecto como cualquier dato específico del país, de manera que los inventarios resultantes sean comparables.

La información sobre liberación de PCDD/PCDF se relaciona con los cinco compartimentos generales y/o medios en los cuales se liberan o transfieren los PCDD/PCDF: aire, agua, tierra, residuos y productos. Para una aproximación amplia deben considerarse todas las liberaciones de PCDD/PCDF de una dada fuente o actividad (pero no debe concluirse que las liberaciones a todos los compartimentos tienen igual impacto).

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/t). Multiplicando ambos factores se obtienen las liberaciones anuales. Se aplica el sistema y se elabora el inventario siguiendo las cinco etapas que se muestran en la Figura 2 (página 22). La matriz de selección (Cuadro 1, página 23) indica cuáles son las diez principales categorías de fuentes e incluye las fuentes industriales y no industriales, así como también reservorios y lugares contaminados. Para cada una de las categorías principales, un listado 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 liberaciones a todos los medios sobre los que se dispone de datos. Una información relativamente accesible sobre plantas y procesos o una información más detallada por la aplicación de cuestionarios puede utilizarse para seleccionar adecuada y simplemente un factor de emisión de la base de datos.

La operación de reunir información detallada sobre los procesos que se realizan dentro del país se amoldará a la situación. En muchos casos bastará con los datos estadísticos

centralizados. Otros pueden requerir la realización de cuestionarios planta por planta y se dan ejemplos al respecto. Una vez que se disponga de estadísticas de actividades, se podrían estimar los rangos 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, consistentes y comparables se dan guías 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. El instrumental está diseñado para poder incluir datos medidos o estimaciones nacionales -cuando se disponga de los mismos-, junto a las estimaciones derivadas de los factores de emisión por defecto. Así pueden apreciarse la carencia 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 los países 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 acciones futuras.

1 INTRODUCCION

Dioxinas y furanos, más exactamente dibenzo-*p*-dioxinas policloradas (PCDD) y dibenzofuranos policlorados (PCDF) son dos de los doce Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP) comprendidos en el Convenio de Estocolmo para Compuestos Orgánicos Persistentes (COP). Los PCDD/PCDF, junto con los bifenilos policlorados (PCB) y el hexaclorobenceno (HCB) están listados en el anexo C de los COP del Convenio de Estocolmo; son generados en forma no intencional y son comúnmente denominados “productos secundarios”. Todos los COP listados en el Anexo C requieren “minimización continua y, en los casos que sea viable eliminación definitiva” (SC 2001). El párrafo (a) del Artículo 5 del Convenio tiene como requisito el desarrollo y la implementación de un plan de acción para “identificar, caracterizar y ocuparse de las liberaciones de los productos químicos incluidos en el anexo C”, y el sub-párrafo (i) especifica que el plan de acción deberá incluir “la preparación y el mantenimiento de inventarios de fuentes y estimaciones de liberaciones”.

La decisión 18/32 del Consejo de Administración del PNUMA 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, del 7 de febrero de 1997, el Consejo de Administración 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, el PNUMA, convocó varios talleres regionales y subregionales de concientización con los que se pretendía informar a los países acerca de los COP y del Convenio de Estocolmo. Una demanda frecuente de los participantes en esos talleres era la de que se les ayudase a evaluar las 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.

Productos Químicos, PNUMA, ha revisado unos pocos inventarios nacionales de PCDD/PCDF (PNUMA 1999). Desafortunadamente, estos inventarios no fueron compilados en forma comparable. No existía ninguna lista de fuentes establecida internacionalmente (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 ocuparon 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 del año 2000, Productos Químicos, PNUMA, puso en práctica un programa de creación de capacidades y de reunión de talleres de formación con el fin de ayudar a los países a preparar la convención relativa a los COP. En Enero de 2001 el PNUMA, Productos Químicos dentro del marco de la IOMC (Programa Interorganizacional para la gestión adecuada de Sustancias Químicas) puso en circulación un “Instrumental normalizado para la identificación y cuantificación de liberaciones de dioxinas y furanos” como borrador. El mismo fue traducido al Español, al Francés, y al Ruso. Con posterioridad, el PNUMA y otros han iniciado proyectos para llevar a la práctica el Instrumental y varios inventarios de liberaciones de dioxinas y furanos se han recopilado utilizando el Instrumental. Hay otros inventarios más en desarrollo.

En junio de 2002, la Sexta Sesión del Comité Intergubernamental de Negociación (CIN) del Convenio de Estocolmo en la decisión 6/4

- 1.- “Toma nota de que “El Instrumental Normalizado para la Identificación y Cuantificación de liberaciones de Dioxinas y Furanos” (Instrumental) del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente suministra la base para el desarrollo de una guía provisoria en la evaluación de liberaciones actuales y proyectadas de sustancias químicas listadas en el anexo C del Convenio de Estocolmo de Compuestos Orgánicos Persistentes.
- 2.-Toma nota además, de que puede ser conveniente actualizar el Instrumental e incluir sustancias químicas adicionales, factores de emisión, niveles de detalle y otros elementos para aumentar su utilidad;
- 3.-Invita a los Gobiernos y a otros a enviar a la secretaría comentarios en cuanto a la forma de actualizar y ampliar el Instrumental antes del 31 de diciembre de 2002;
- 4.-Pide a la secretaría, el desarrollo de una versión actualizada y ampliada del Instrumental, teniendo en consideración los comentarios recibidos así como la experiencia de aplicación del Instrumental en los países, para la consideración del Comité Intergubernamental de Negociación en su próxima sesión.”

En esta primera edición se han combinado los comentarios de las organizaciones gubernamentales y no gubernamentales recibidas en mayo de 2003, las experiencias de aplicación del Instrumental especialmente en Asia y Latinoamérica y los resultados de un programa de muestreo y análisis en Tailandia.

Debe destacarse que esta primera edición del Instrumental sólo se ocupa de las liberaciones de dibenzo-*para*-dioxinas policloradas y dibenzofuranos policlorados. Se necesitan esfuerzos adicionales para desarrollar Instrumentales para bifenilos policlorados (PCB) y para hexaclorobenceno (HCB) como productos secundarios.

El Instrumental esta diseñado para cubrir como mínimo todas las categorías de fuente y procesos que están listados en el Anexo C, Partes II y III del Convenio de Estocolmo y que se saben que liberan PCDD/PCDF. El Instrumental puede ser usado donde no haya datos medidos disponibles o donde se hayan generado localmente datos a partir de mediciones, y factores de emisión.

Los principales objetivos del Instrumental son:

- Ser amplio y fácil de leer, seguir, y aplicar;
- Aproximarse al tema de una manera lógica y pragmática;
- Agrupar y presentar las clases y factores de emisión sobre una base práctica y razonable;
- Posibilitar el establecimiento de inventarios comparables internacionalmente.

2 OBJETIVOS Y LIMITACIONES

2.1 Objetivos

Este Instrumental es una metodología para ayudar a los países que están comenzando a desarrollar sus inventarios, a estimar las liberaciones de PCDD/PCDF, y también para guiarlos en el proceso de mejora y refinamiento de estos inventarios. El objetivo del Instrumental es conducir a los realizadores de los inventarios dentro del país, en las técnicas y etapas del mismo, dando ejemplos y parámetros de chequeo para la clasificación. El instrumental también señala las vías por las cuales los PCDD/PCDF ingresan al ambiente o en otras matrices. Por último, el Instrumental es suficientemente robusto como para caracterizar liberaciones en órdenes de magnitud y por sectores, como un todo.

Mientras otras metodologías internacionales que se encuentran disponibles, han sido creadas para la evaluación de los impactos sobre medios ambientales individuales, el Instrumental esta destinado a suministrar una metodología y factores de emisión asociados para la liberación de PCDD/PCDF en todos los medios (aire, agua, tierra, productos y residuos). El “Instrumental” está diseñado con el propósito de presentar una metodología sencilla y normalizada y una base de datos adjunta que facilite la reunión de inventarios nacionales y regionales de PCDD/PCDF consistentes. 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 liberaciones de PCDD/PCDF de las fuentes pueden 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 deficiencias de los 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 aparición de, nuevos datos sobre emisiones o a procesos perfeccionados. Se trata de un barrido, 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 que sean importantes liberadores de PCDD y PCDF y entre ellos poder identificar a los más importantes.

- Guía 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.
- Guía para la preparación de un inventario y la presentación de los hallazgos utilizando tanto factores de emisión por defecto como datos específicos del país, de manera que los inventarios resultantes sean comparables. La presentación de los datos prevé la existencia de vacíos e indicará rangos 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 del país que complementen los 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 y/o recursos, convenga realizar un trabajo adicional sobre fuentes particulares. 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 revisión (PNUMA, 1999) identificó 15 inventarios de este tipo; no obstante, no fueron acopiados uniformemente ni informados para el mismo año de referencia. Desde entonces, se han publicado, en otros países algunos pocos Inventarios más. (Fiedler 2003 y sus referencias).

En ciertos casos las estimaciones de liberaciones sólo se hicieron para un conjunto parcial de procesos (por ejemplo, sólo procesos industriales). Algunos obtenían sus factores de emisión a partir de otras publicaciones, con lo que suplían las mediciones locales de emisiones, pero en casi todos los casos reflejaban procesos y factores de emisión deducidos de países desarrollados. Comparativamente es poco lo que se sabe sobre procesos y tecnologías utilizados en países menos desarrollados, acerca de las emisiones y liberaciones de los equipos de fabricación local tales como combustores; y también poco se sabe sobre piensos o materias primas para procesos específicos de la región.

Un inventario puede suministrar una valiosa información sobre la magnitud de las liberaciones a cada medio ambiental y sobre productos y residuos. El inventario solo puede destacar las fuentes de posibles impactos, pero no puede dar una orientación precisa acerca del impacto relativo de esas liberaciones sobre la exposición del ser humano o del ecosistema, ya que el destino de los PCDD y PCDF varía considerablemente entre una fuente de liberación y otra. Los inventarios de liberaciones o emisiones han sido compilados por los países como requerimientos de regulaciones nacionales u otros convenios. Sin embargo, debe destacarse que estos inventarios pueden agregar información basada en necesidades distintas de las del Convenio de Estocolmo. Como ejemplo se mencionan agrupaciones de acuerdo a códigos industriales como "SNAP/CORINAIR" en el Protocolo Aarhus de UNECE sobre COP o los códigos "NFR". El Instrumental no sigue estas agrupaciones ya que el propósito de las mismas es diferente de los objetivos del Convenio de Estocolmo y el de los inventarios

de liberaciones del Convenio. El Convenio de Estocolmo se ocupa de las emisiones de compuestos orgánicos secundarios de fuentes antropogénicas y es de alcance global.

El proceso de reunir los inventarios es complejo y requiere que se involucren muchos actores. Para facilitar el uso del Instrumental y posibilitar a los países identificar las fuentes de PCDD/PCDF y establecer sus primeros inventarios de liberaciones de dioxinas y furanos, el PNUMA ha organizado talleres de capacitación a nivel sub-regional. El PNUMA también suministra información relevante adicional y coopera con las otras agencias de implementación (PNUD, ONUDI y Banco Mundial) cuando los países implementan sus Planes Nacionales de Aplicación (PNA) bajo el Convenio de Estocolmo de COP. El Instrumental trata de identificar rápidamente las principales fuentes de PCDD/PCDF y, por consiguiente, dar una imagen general de la escala de las liberaciones y de los procesos o actividades que causan estas liberaciones. Por consiguiente, los inventarios de PCDD/PCDF que se deriven, podrán ayudar a los países a dirigir sus esfuerzos a priorizar sus fuentes de liberaciones de PCDD/PCDF, para implementar acciones a fin de minimizar las liberaciones de PCDD/PCDF. Contribuirá asimismo a señalar la importancia relativa que las dioxinas y furanos han de tener en un plan nacional de acción de un país.

Aunque la mayoría de las concentraciones medidas han sido generadas en países desarrollados y aunque los datos más recientes se refieren a procesos y tecnologías modernas, los factores de emisión presentados en este Instrumental toman en consideración las circunstancias de procesos menos sofisticados y menos controlados, más antiguos, de tecnología más simple, *etc.* Se han tenido en cuenta las experiencias de los países OCDE en cuanto a las mediciones de PCDD/PCDF, realizadas en los primeros tiempos, a la hora de extrapolar resultados para “crear” factores de emisión para plantas, procesos y actividades con poco o ningún control. Estas clases de factores de emisión – típicamente clase 1 ó clase 2 dentro de cada sub-categoría – pueden ser los apropiados cuando se estiman liberaciones de plantas simples y pequeñas en países en desarrollo. Los resultados de un muestreo conjunto PNUMA/GTZ/PCD (Departamento de Control de la Contaminación) y un proyecto de análisis en Tailandia, han mostrado que existe tecnología avanzada en los países en desarrollo y por lo tanto, se pueden aplicar los factores de emisión más bajos (PNUMA 2001).

Aunque se han incluido en el Instrumental abundantes categorías de fuentes de PCDD/PCDF, podrían existir otros procesos y/o actividades que se sospechen de generar y liberar PCDD/PCDF o donde en casos particulares se detectara PCDD/PCDF. Con frecuencia tales actividades pueden ser encuadradas dentro de una de las sub-categorías listadas. Por ejemplo, la quema de neumáticos, en una primera aproximación, puede ser incluida en la categoría de quema de residuos a cielo abierto o ser clasificada como un incendio de una vivienda. Dada la frecuencia con que se producen tales incendios accidentales comparado con la masa de desecho quemado a cielo abierto, el total de liberaciones dentro de la categoría de quema a cielo abierto puede no cambiar.

2.3 Lectura adicional

Este Instrumental está destinado a la preparación de un inventario de liberaciones para dibenzo-*p*-dioxinas policloradas (PCDD) y dibenzofuranos policlorados (PCDF) como se requiere en el subpárrafo (a) del Artículo 5 en el Convenio de Estocolmo sobre Compuestos Orgánicos Persistentes. Está proyectado para incluir a todos los vectores de liberación (aire, agua, tierra, productos, residuos) de actividades domésticas e industriales, mediante la identificación de las fuentes y cuantificación de liberaciones para dos clases de COP generados no intencionalmente. Otros convenios relacionados con sustancias químicas, típicamente incluyen más sustancias químicas pero están limitados en el ámbito de aplicación, consideran sólo a un vector de liberación, están dirigidos a sectores industriales especiales o sólo cubren problemas potenciales dentro de un país. Aunque sea distinta en alcance y cobertura, se puede encontrar mucha información y experiencia en la documentación relacionada con la metodología aplicada en otros lugares. La misma puede consultarse para lectura complementaria y para su aplicación dentro del Instrumental. A continuación se dan algunos ejemplos conjuntamente con la Página Web correspondiente:

El Protocolo UNECE Aarhus de Compuestos Orgánicos Persistentes (1998) bajo el Convenio de UNECE de 1979 sobre Contaminación de Aire Transfronteriza de Largo Alcance (LRTAP). Este Convenio está destinado a disminuir la contaminación de aire. El Libro Guía de Inventario de Emisiones EMEP/CORINAIR ha sido preparado como orientación para las metodologías de inventarios atmosféricos;

URL para el Protocolo: http://www.unece.org/env/lrtap/pops_hl.htm

URL para EMEP: <http://www.EMEP.int>

URL para la Guía: <http://reports.eea.eu.int/EMEPCORINAIR3/en>

Los Procedimientos para Información y Cuantificación Armonizados para Sustancias Peligrosas (HARP-HAZ): Este proyecto, llevado a cabo por la Autoridad de Control de la Contaminación Noruega (SFT), es específico para el informe de las emisiones en ambiente marino (y más específicamente para países de Europa del norte)

URL: <http://www.sft.no/english/harphaz/>

Registros de Liberación y Transferencia de Contaminantes (PRTR): Serán establecidos siguiendo las recomendaciones contenidas en la Agenda 21 de UNCED, Capítulo 19. Los Gobiernos y las organizaciones internacionales relevantes, con la cooperación de la industria deberían [entre otros requerimientos] “Mejorar las bases de datos y los sistemas de información sobre sustancias químicas tóxicas, tales como programas de inventarios de emisiones..”

URL de “clearinghouse”: <http://www.chem.unep.ch/prtr/Default.htm>

La Prevención y Control Integrados de la Contaminación de la Unión Europea (Directiva IPPC). Esta Directiva está destinada a la minimización de la contaminación de varias fuentes puntuales a lo largo de la Unión Europea. Se requiere que todas las instalaciones comprendidas en el Anexo de la Directiva obtengan una autorización (permiso) de las autoridades en los países de la Unión Europea. Los permisos deben estar basados en el concepto de las Mejores Técnicas Disponibles (MTD). También se decidió que nuestros hacedores de políticas, como también el público en general necesitan mejor información acerca de ellas. La Directiva estipula el establecimiento de un Registro de Emisiones de Contaminantes en Europa (EPER) para informar acerca de la cantidad de contaminación bajo responsabilidad de las diferentes instalaciones.

URL para la Directiva IPPC: <http://europa.eu.int/comm/environment/ippc/>

URL para documentos MTD: <http://eippcb.jrc.es/>

URL para EPER: <http://europa.eu.int/comm/environment/ippc/eper/index.htm>

OSPAR Comisión para la Protección del Ambiente Marino: La Comisión desarrollará programas y medidas para identificar, priorizar, monitorear y controlar (o sea, prevenir y/o reducir y/o eliminar) las emisiones, descargas y pérdidas de sustancias peligrosas que alcanzan, o podrían alcanzar, el ambiente marino del Atlántico Norte.

URL: <http://www.ospar.org/eng/htmk/welcome.html>

La Comisión de Protección del Ambiente Marino del Báltico (Comisión de Helsinki – HELCOM): El trabajo de esta comisión tiene por objeto la protección del ambiente marino del Mar Báltico de todas las fuentes de contaminación, a través de la cooperación intergubernamental de los estados miembros.

URL: <http://www.helcom.fi/helcom.html>

El Inventario Nacional de Contaminantes de Australia (NPI): Australia ha desarrollado una base de datos donde las emisiones son estimadas para las instalaciones industriales del país, y para fuentes difusas.

URL: <http://www.npi.gov.au/>

Para una consulta posterior acerca de inventarios de PCDD/PCDF, se puede encontrar información en la literatura internacional (tal como Fiedler 2003), la publicación de PNUMA Productos Químicos (1999), y Páginas Web de organizaciones regionales tales como la Comisión Europea (EC – <http://europa.eu.int/comm/environment/dioxin/>), la Comisión para la Cooperación Económica (CEC – <http://www.cec.org/home/>) y varios gobiernos nacionales y agencias.

3 FORMACIÓN Y LIBERACIÓN DE PCDD Y PCDF

3.1 Formación de PCDD/PCDF

Los PCDD/PCDF se forman como productos secundarios no intencionales en ciertos procesos y actividades; el Anexo C del Convenio de Estocolmo proporciona dos listas para varios de éstos. Además de formarse como productos secundarios no intencionales en los procesos de fabricación o de evacuación, los PCDD/PCDF pueden también introducirse en los procesos como contaminantes en las materias primas. Por consiguiente, los PCDD/PCDF pueden aparecer aún, donde no se formen los PCDD/PCDF en los procesos que están bajo consideración. Las rutas de formación de PCDD/PCDF se pueden dividir en dos grandes categorías: (a) formación en procesos térmicos y (b) formación en procesos químicos-húmedos (para mayor detalle, ver PNUMA 2003a).

(a) Los PCDD/PCDF se forman en cantidades traza en procesos de combustión vía dos mecanismos primarios:

1. La llamada síntesis *de novo* en la cual los PCDD/PCDF se forman a partir de estructuras de carbón no-extractables que son básicamente disimiles al producto final (PCDD/PCDF); y
2. Formación de precursores/reacciones vía estructuras arilo derivadas de las oxidaciones incompletas de aromáticos o ciclización de fragmentos de hidrocarburos.

Las cuatro condiciones, que se presentan, ya sea individualmente o en combinación, favorecen la generación de PCDD/PCDF en los procesos térmicos:

- Procesos a alta temperatura (durante enfriamiento de gases de combustión en un rango de temperatura de ca. 200 °C - 450 °C) y/o combustión incompleta;
- Carbón orgánico
- Cloro;
- Productos que contienen PCDD/PCDF.

(b) En relación con los procesos de síntesis químicos, la formación de PCDD/PCDF se favorece si una o algunas condiciones apliquen:

- Altas temperaturas (> 150 °C)
- Condiciones alcalinas (especialmente durante la purificación)
- Radiación UV u otros iniciadores de radicales.

Los datos de Gullett *et al.* acerca de experimentos de quema de desechos bajo condiciones controladas, han mostrado que la probabilidad de generación de PCDD/PCDF no depende de un único parámetro. Se han detectado altas concentraciones de PCDD/PCDF en la quema de residuo doméstico “normal”. Las concentraciones aumentaban un poco, ya sea porque el contenido de cloro aumentaba (independientemente de su origen, orgánico o inorgánico), o aumentaba la humedad, o aumentaba la carga, o estaban presentes metales catalíticos, o en general: las condiciones de combustión eran malas.

Los PCDD/PCDF persisten en el medio ambiente y pueden transferirse entre unos medios y otros (por ejemplo, la escorrentía del suelo al agua). Tales transferencias pueden contribuir en una medida importante a la exposición humana a los PCDD/PCDF. Sin embargo, las exposiciones del ambiente o de los humanos no están cuantificadas en este Instrumental. Este Instrumental se centra en aquellas actividades que se encuentran bajo el control humano más directo, y se ocupa sólo de PCDD/PCDF.

El Instrumental se ocupa de las liberaciones directas de PCDD/PCDF a los siguientes cinco vectores de liberación a los siguientes compartimentos y/o medios (Figura 1):

- Aire
- Agua (dulce, océanos, y estuarios; después subsecuentemente en sedimentos)
- Tierra
- Residuos (incluidos ciertos desechos líquidos, lodos y residuos sólidos, que se manejan y eliminan como desechos o pueden ser reciclados)

Productos (como formulaciones químicas o bienes de consumo como papel, textiles, *etc.*).

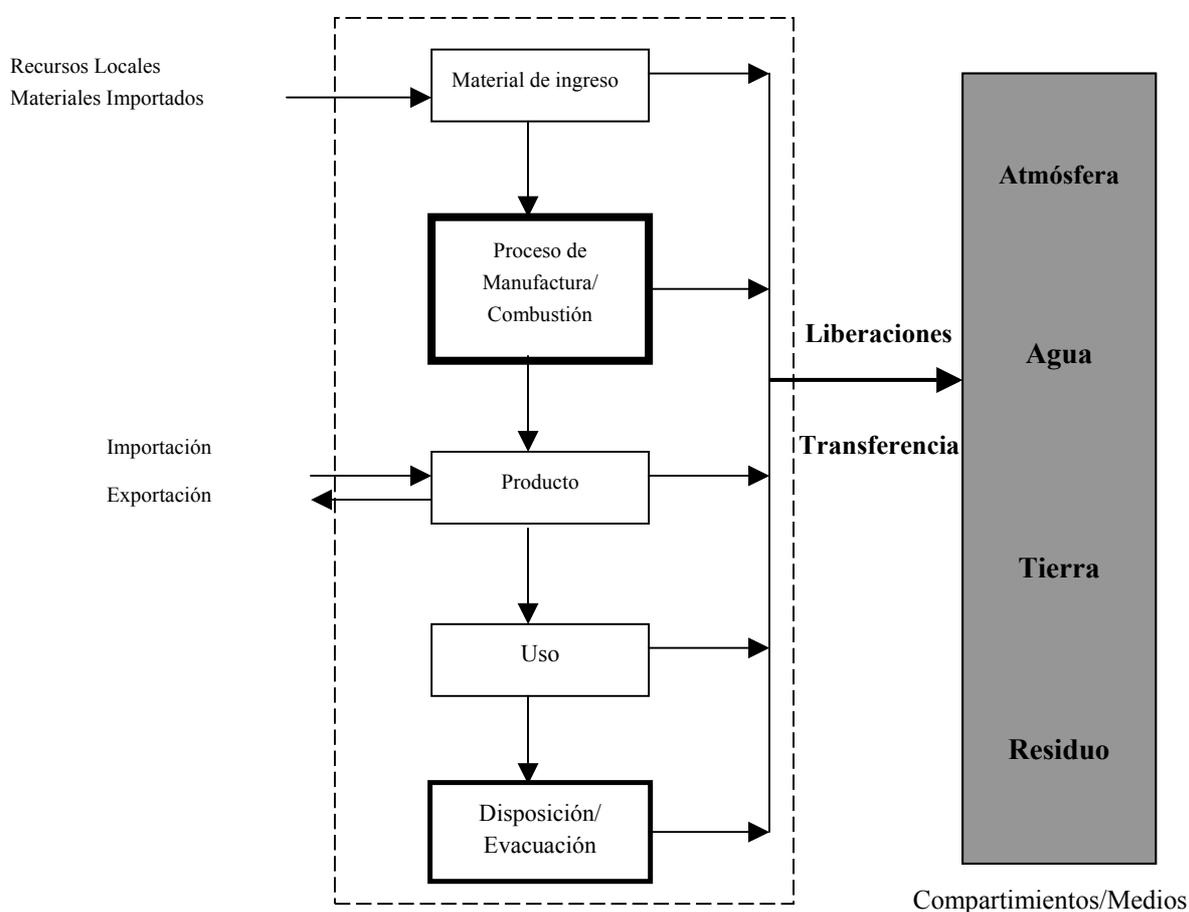


Figura 1: El “ciclo de vida” de PCDD/ PCDF

Los cuadros en gris representan compartimentos/medios que pueden contener PCDD/PCDF y que deberían ser cuantificados dentro del inventario de PCDD/PCDF; Los cuadros en formato de texto en negrita, representan los pasos donde pueden ser generados los PCDD/PCDF. Las líneas punteadas indican los límites del inventario donde la recolección de datos tendrá lugar. Nota: en esta figura no se incluyen los reservorios pero éstos pueden estar presentes en el compartimento “tierra”.)

Principalmente, las liberaciones de las fuentes dadas a cualquiera de los compartimentos o medios receptores pueden dar como resultado de la creación de un reservorio de PCDD/PCDF. Los sitios reservorios altamente contaminados tienen el potencial para actuar como fuente “reservorio”, los mismos se tratan como una categoría separada (Categoría 10 – Puntos Calientes).

El instrumental se ocupa como mínimo de todas las fuentes y actividades listadas en la Parte II del Anexo C, que requiere la aplicación de las mejores técnicas disponibles (MTD) para la reducción de la liberación de nuevas fuentes y de todas las fuentes listadas en la Parte III del mismo Anexo. El Instrumental, además, va más allá de estas fuentes nombradas en la Parte III del Anexo C.

Las liberaciones de PCDD y PCDF proceden de cuatro tipos distintos de fuentes. Tres están relacionadas a procesos:

- Procesos de producción química – por ejemplo, la producción de fenoles clorados y la oxiclорación de mezclas para fabricar ciertos solventes clorados, o la producción de pasta y papel usando cloro elemental para el blanqueo químico;
- Procesos térmicos y de combustión – incluida la incineración de desechos, la combustión de combustibles sólidos y líquidos, y el procesamiento térmico de metales;
- Procesos biogénicos, que pueden formar PCDD/PCDF a partir de precursores tales como el pentaclorofenol.

La cuarta se relaciona con una formación previa:

- Fuentes reservorio tales como antiguos botaderos o basurales de desechos contaminados y suelos y sedimentos, que pueden haber acumulado PCDD/PCDF durante largos períodos de tiempo.

La minimización o eliminación de la formación y liberaciones de PCDD/PCDF son requerimientos adicionales bajo el Convenio de Estocolmo sobre COP. Para alcanzar este objetivo se requiere que se emprenda y promueva la implementación de las mejores técnicas disponibles (MTD) y de las mejores prácticas ambientales (MPA). Un grupo de expertos sobre MTD y MPA suministrarán directrices y orientaciones para éstos. Las directrices y las guías u orientaciones finales serán adoptadas por la Conferencia de las Partes.

3.2 Liberaciones directas de PCDD/PCDF

3.2.1 Liberaciones al aire

Las liberaciones de PCDD/PCDF al aire se producen o bien a partir de fuentes fijas o a partir de fuentes difusas/dispersas. Las fuentes fijas están mayoritariamente asociadas a actividades industriales tales como la producción y fabricación, y las difusas o dispersas, 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 el aire en lugares muy distantes de donde fueron originalmente liberados.

Entre los procesos que liberan PCDD/PCDF al aire 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.

Las posibilidades reales de formación de dioxina y la liberación que verdaderamente se produzca dependerán de las condiciones del proceso y de los controles que se apliquen contra la contaminación atmosférica. Ya se han desarrollado, para muchos procesos, tecnologías que permiten, reducir la formación de PCDD/PCDF y para controlar las emisiones hasta niveles muy bajos.

3.2.2 Liberaciones al agua

Las liberaciones de PCDD/PCDF al agua pueden producirse mediante la descarga de efluentes, la escorrentía desde lugares contaminados, lixiviados de botaderos o basurales de desechos, vertido de desechos, la aplicación de sustancias químicas contaminadas con dioxina, (por ejemplo, la aplicación de plaguicidas), *etc.* Los PCDD/PCDF pueden hallarse en una descarga siempre que se hayan formado en procesos de producción industrial, o hayan ingresado en procesos industriales junto con los materiales de entrada o hayan sido lixiviados a partir de un depósito. Por ejemplo:

- Descarga de efluentes líquidos o aguas residuales, a partir de la producción de pasta y papel especialmente cuando se usa cloro elemental ;
- Descarga de efluentes líquidos a partir de procesos de producción química, especialmente cuando se usa cloro elemental;
- Descarga de efluentes líquidos procedentes de la utilización de preservantes o productos de teñido de textiles, cuero, madera, etc. contaminados por dioxina;
- Otras descargas de efluentes líquidos procedentes de procesos que se han identificado asociados con PCDD/PCDF en al menos uno de los otros cuatro compartimentos y/o medios ambientales, o
- Descarga de aguas servidas a partir de operaciones domésticas normales (máquinas de lavar, lavavajillas, etc.), cuando estén presentes, tejidos u otros textiles y/o detergentes que contengan PCDD/PCDF.

La liberación de efluentes líquidos en forma de lixiviados a aguas de superficie y/o aguas subterráneas puede ser deliberada o no intencional. Se produce el lixiviado cuando se permite que el agua pluvial migre a través de repositorios de almacenamiento inadecuados, de productos, residuos y/o desechos que contienen PCDD/PCDF. También pueden movilizarse cuando se ha llevado a cabo una co-disposición simultánea de solventes orgánicos. Se ha demostrado que las estructuras fenólicas en los lixiviados normales de los vertederos controlados son capaces de movilizar PCDD/PCDF de los residuos. Por ejemplo:

- Sectores contaminados por PCDD/PCDF, como lugares de producción o manejo de herbicidas de clorofenol;
- Sitios de la industria maderera donde el pentaclorofenol u otros pesticidas aromáticos clorados fueron usados como conservadores de la madera;
- Botaderos o basurales de residuos y cementerios de chatarra, en particular cuando se disponen aceites de desecho y/o residuos de producción contaminados con PCDD/PCDF.

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

- Descarga de efluentes líquidos 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 salida;
- 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);
- 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 tres clases: productos contaminados por PCDD/PCDF “aplicados” directamente a la tierra, residuos de un proceso abandonado o aplicado 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 las plantas y/o animales.

Los ejemplos incluyen:

- Utilización de productos o desechos contaminados por PCDD/PCDF, por ejemplo, plaguicidas, preservantes de la madera;
- Aplicación de lodos de alcantarilla en la agricultura o compostado en jardines;
- Evacuación directa a la tierra de desechos que contienen PCDD/PCDF; un ejemplo serían las cenizas remanentes de la combustión por ejemplo: de la quema a cielo abierto sobre el terreno.

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

Debe destacarse que en el Instrumental, los residuos sólidos de las actividades industriales o domésticas tales como cenizas depositadas, cenizas volantes, o barros, están clasificados como residuos en la medida que los mismos son generados como tales dentro del proceso. Tales residuos pueden ser abandonados en el sitio y posteriormente contaminar la tierra, aguas, *etc.* pero también pueden ser dispuestos en un vertedero (simple botadero o vertedero sanitario) o ser usados para otras aplicaciones, por ejemplo, el uso de las cenizas depositadas en la construcción de caminos o como materia prima en procesos, por ejemplo, de recuperación de metales. Siempre que los residuos sólidos estén siendo generados en un

proceso, un país podría estar interesado en conocer más del destino de dichos residuos, ya que podría ser necesario considerarlos bajo el Artículo 6 del Convenio de Estocolmo o necesitar una consideración especial debido a su posibilidad de convertirse en una fuente en una etapa posterior.

3.2.4 Liberaciones con productos

En el pasado, 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 elemental en la industria de la pasta y el papel.

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 la producción de éstas y otras sustancias químicas cloradas también están contaminadas con PCDD/PCDF (ver el vector de liberación “Residuo”).

La eliminación o reducción de las PCDD/PCDF se consigue a través de:

Sustitución de productos a través de prohibiciones de producción y de uso de un producto conocido por estar altamente contaminado con PCDD/PCDF, de forma tal que el proceso que genera los PCDD/PCDF no se realiza más en un país.

Modificaciones de una etapa problemática de un proceso, cambiando las condiciones de proceso, o cambiando a otros materiales de entrada/insumos de modo que los PCDD/PCDF no se generen más o al menos se minimicen.

Los controles en la fuente tales como los arriba mencionados afectan 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 liberación de PCDD/PCDF al producto reporta al mismo tiempo beneficios para otros compartimentos 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 (mayoritariamente sólidos). 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 procesos térmicos (cenizas volantes de equipos de depuración de gases de salida, cenizas o de depositadas fondo, 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.).

Los PCDD/PCDF se concentran en las corrientes de desechos sólidos procedentes de la combustión y de los procesos térmicos industriales, como cenizas volantes, cenizas depositadas y polvo de otros tipos. Las partículas procedentes de la combustión y de los procesos térmicos industriales contienen carbón no quemado en el cual se adsorben los PCDD/PCDF. Las cenizas volantes y los polvos finos colectados provenientes de procesos térmicos industriales contienen como subproducto PCDD/PCDF en forma concentrada, por lo cual no se emiten al aire.

En general, los controles deficientes de los procesos de combustión y la elevada eficiencia de retención de partículas del sistema de control de la contaminación atmosférica (SCCA) hacen que las concentraciones de PCDD/PCDF sean muy altas en los residuos sólidos. La sinterización de mineral de hierro sirve como ejemplo perfecto. 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 volantes. 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, especialmente en la que interviene cloro elemental produce desechos con contenido de PCDD/PCDF. Tanto si se trata de la producción de plaguicidas que contienen cloro como el blanqueado con cloro en la producción de papel, los procesos de producción química que se basan en el cloro elemental 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.

Los efluentes procedentes de la fabricación de pasta y papel, así como las aguas de alcantarillas municipales generan corrientes de desechos contaminados por PCDD/PCDF. Los residuos remanentes tras el tratamiento de las aguas de desechos - ya sea mecánico, biológico o químico - constituyen los lodos. En muchos casos, estos lodos están contaminados con PCDD/PCDF. En general, los niveles de vida más elevados producen lodos de alcantarilla con contaminaciones más altas de PCDD/PCDF, con productos de consumo como fuente principal.

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 salida (cenizas volantes) mientras que las cenizas de rejilla presentan bajas concentraciones de PCDD/PCDF (en los procesos de combustión eficiente); sin embargo como las cenizas depositadas se generan en cantidades mucho mayores, éstas cenizas pueden constituir el mayor vector de liberación de PCDD/PCDF.

La posibilidad que tienen los residuos de causar contaminación ambiental o la exposición a los PCDD/PCDF depende en gran medida de cómo se traten y se evacuen o dispongan. Por ejemplo, mientras que los desechos contaminados procedentes de la industria química pueden ser incinerados, y destruidos efectivamente todos los PCDD/PCDF presentes, el vertido de tales residuos puede dar como resultado la creación de 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 al aire, al agua o con

los productos. Aunque la movilidad de los PCDD/PCDF dentro de los residuos es generalmente bastante baja, la exposición a las partículas respirables de PCDD/PCDF, típicamente da como resultado altos impactos sobre el hombre y el ambiente, y el Convenio de Estocolmo requiere la evaluación de todos los medios ambientales/compartimentos.

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 proceden de anteriores operaciones que se sabe estaban relacionadas a PCDD/PCDF. Los puntos calientes tienen la posibilidad 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, disposición 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 presentes pueden ser despreciables o pequeñas. No obstante, es preciso identificar y registrar los puntos calientes. En muchos casos, una vez catalogados, podría no requerirse tomar otras acciones, si no hay 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 tomará nota del estado de urgencia y se prepararán las medidas de remediación. En cualquier caso, es necesario realizar una valoración y una evaluación específica del lugar y del punto caliente.

Los sitios contaminados están abarcados en el Artículo 6 del Convenio de Estocolmo sobre COP y aunque el Convenio no demanda la remediación de estos sitios, procura “el desarrollo de estrategias apropiadas para la identificación de sitios contaminados por sustancias químicas de la lista del Anexo A, B, ó C; si se emprende la remediación de estos sitios, ésta deberá realizarse de manera ambientalmente racional”.

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 (aire, agua, tierra, productos, residuos) para cada uno de los procesos identificados. La estimación puede calcularse por la siguiente ecuación básica:

$$\text{Intensidad de la fuente (Liberaciones de PCDD/PCDF por año)} = \text{Factor de emisión} \times \text{“Tasa de actividad”} \quad (1)$$

Las liberaciones de PCDD/PCDF al año se calcularán y presentarán 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) por unidad de material de entrada procesado o de producto producido (por ejemplo, toneladas o litros) – lo que se denomina factor de emisión - para cada vector de liberación (aire, agua, tierra, producto, residuo) por la cantidad de material de entrada procesado o producto producido (toneladas o litros al año) – lo que se denomina tasa de actividad. La suma de todos estos cálculos da la liberación total para una dada fuente (= intensidad de la fuente) por año (ver también el Capítulo 4.4.2).

El Instrumental está previsto para reunir los datos de actividad necesarios y suministrar un medio de clasificar procesos y actividades en clases, para las cuales se provee el factor de emisión promedio apropiado.

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

En la tercera etapa se utiliza una información específica del proceso para caracterizar, cuantificar y, en último término, clasificar las fuentes de liberación de PCDD/PCDF identificadas en un determinado país o región. Se suministran en el Anexo, (Capítulo 8.2) Cuestionarios Normalizados que pueden ser útiles para obtener la información necesaria.

En una cuarta etapa, se calculan las liberaciones 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 suministra también un formato de presentación normalizado con el fin de, asegurarse de que se consideran todas las fuentes (aunque no puedan ser cuantificadas), que pueden detectarse vacíos 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 medidos o los factores por defecto**
- 5. Utilizar la escala nacional para establecer el inventario completo y notificar los resultados utilizando las guías que se dan en el formato normalizado**

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. La lista de fuentes del Instrumental y los factores de emisión se irán actualizando, mejorando o modificando a medida que se vaya disponiendo de 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 gruesa de selección (Cuadro 1) facilita una evaluación preliminar de actividades (industrias, usos de productos, actividades domésticas, *etc.*) que pueden liberar PCDD/PCDF a uno o más de los cinco compartimentos y/o medios tal como antes se definieron.

Cuadro 1: Matriz de selección – Principales categorías de fuentes

No.	Principales categorías de fuentes	Aire	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	Producción de minerales	X				X
5	Transporte	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, sobre una base relativa aún cuando algunas de estas liberaciones pueden no estar bien caracterizadas. Las “x” indican rutas de liberación adicional que han sido identificadas hasta el presente.

La matriz de selección gruesa puede utilizarse para dar algunas guías con respecto a sectores en los que se requerirá información y puede influir sobre la conformación del equipo de trabajo necesario para coleccionar la información inicial, acerca de posibles fuentes de PCDD/PCDF existentes en un país. La matriz de selección será el punto de partida para una estrategia para la búsqueda de asesoramiento y pericia que serán necesarios durante el acopio de información más detallado y el trabajo de evaluación de datos.

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 diez categorías principales de fuentes se han 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 Dioxinas, 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. Cualquier subcategoría, que se sabe con seguridad que no está

presente, puede ser eliminada de las investigaciones ulteriores. 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 clasificación adicionales 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 compartimentos o medios hacia los cuales se pueden liberar cantidades significativas de PCDD/PCDF. Las “X” mayúsculas señalan la vía de liberación que se espera que sea predominante, mientras que las “x” minúsculas muestran otras vías adicionales de liberación que deben considerarse.

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 de desechos en cualquier tipo de horno técnico; la incineración al aire libre y la incineración doméstica en barriles o en cajas no pertenecen a estas subcategorías; se incluyen en la sección 4.2.6 – Combustión incontrolada.

Cuadro 2: Subcategorías de la Matriz del Inventario – Categoría Principal 1

No.	Subcategorías de las Categoría Principal	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 fragmentación, 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	Destrucción de cadáveres de animales	X				X

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

Las liberaciones principalmente se producen en los residuos, que comúnmente pueden contener las más elevadas concentraciones de PCDD/PCDF. Las emisiones al aire pueden ser una fracción mucho menor dependiendo de las condiciones operativas del incinerador y del equipo de depuración de gases de salida presente. Sin embargo, las emisiones al aire son de la mayor importancia, ya que estas pueden ser objeto de transporte a larga distancia y subsecuentemente contaminar la cadena alimentaria. Las liberaciones al agua juegan un rol

menor y sólo en los casos en los que se utilizan depuradores húmedos para el tratamiento de los gases de salida y en los que se enfrían con agua las cenizas descargadas y estas aguas se liberan. 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 se ha reconocido 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 (Cuadro 3). Los importantes procesos de producción de metales son en su mayoría térmicos y la mayor parte de las liberaciones se producen en el aire 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 mediante el quemado de cables es también bien conocida la contaminación de la tierra y del agua por PCDD/PCDF.

Cuadro 3: Subcategoría de la Matriz del Inventario – Categoría Principal 2

No.	Subcategorías de la Categoría Principal	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 latón y bronce	X				X
i	Producción de magnesio	x	x			X
j	Producción de otros metales no ferrosos	x	x			X
k	Fragmentadoras	X				X
l	Recuperación térmica de cables	X	(x)	x		X

4.2.3 Subcategorías de Generación de Energía y Calefacción/Cocina

La generación de energía y calefacción, que se hace referencia aquí, están limitadas a los procesos de combustión que usan combustibles fósiles y otros materiales combustibles. No se incluyen las celdas de combustible o la generación solar, eólica, hidroeléctrica, geotérmica o nuclear, pues en ninguno de estos casos se ha podido identificar una liberación de dioxinas/furanos asociada a ellos. En el Cuadro 4 se citan las correspondientes subcategorías.

Cuadro 4: Subcategorías de la Matriz del Inventario – Categoría Principal 3

No.	Subcategorías de la Categoría Principal	Posibles vías de liberación				
		Atmós-fera	Agua	Tierra	Produc-tos	Resi-duos
3	Generación de Energía y Calefacción/ Cocina	x		(x)		X
a	Plantas de generación de energía por combustibles fósiles	x				x
b	Plantas de generación de energía por biomasa	x				x
c	Vertederos, combustión de biogás	x				x
d	Cocinas y calefacción doméstica (biomasa)	x		(x)		X
e	Calefacción doméstica (combustibles fósiles)	x		(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, comúnmente usan combustible que contiene más azufre que cloro y esto inhibe la formación de PCDD/PCDF, 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 en masa de estos productos sea considerable. Cuando se utilizan plantas de menor tamaño o se utiliza biomasa, el combustible puede ser menos homogéneo y quemarse a temperaturas más bajas o con una eficiencia de combustión reducida. De estas condiciones puede resultar una mayor formación de PCDD/PCDF. Lo mismo puede ocurrir cuando como combustible se utilicen gas de vertederos y/o biogás, debido a 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 deficiente y la eficiencia de combustión muy baja, de lo que resulta una mayor formación de PCDD/PCDF. Los principales vectores de liberación son al aire (emisiones de gases de salida) y con los residuos, cenizas volantes y cenizas depositadas.

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, la formación de PCDD/PCDF puede estar vinculada a las materias primas utilizadas en el

proceso. Los hornos de cemento y cal son procesos de gran volumen que, 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 han encontrado bajas emisiones. El Cuadro 5 resume los procesos de producción mineral potencialmente importantes.

Cuadro 5: Subcategorías de la Matriz del Inventario – Categoría Principal 4

No.	Subcategorías de la Categoría Principal	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

El transporte depende sustancialmente de la combustión de gasolina (con o sin plomo), keroseno, mezcla para motores de dos tiempos (normalmente una mezcla de 1:25-1:50 de aceite de motor y gasolina), combustible diesel (conocido también como fuel oil liviano), 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 deficiente mantenimiento, un combustible de baja calidad y una eficiencia de combustión baja 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 al aire. Sólo en algunos casos, cuando se utiliza aceite diesel o aceite pesado en motores de baja eficiencia, se produce el hollín y los residuos de cok, conteniendo elevadas concentraciones de PCDD/PCDF.

Cuadro 6: Subcategorías de la Matriz del Inventario – Categoría Principal 5

No.	Subcategorías de la Categoría Principal	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 deficientes 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 desechos mezclados de materiales hechos por el hombre. Los desechos mezclados producen liberaciones más elevadas debido a, su mala combustión, a la presencia de materiales combustibles no homogéneos y deficientemente mezclados, a la presencia de precursores clorados, de humedad y de metales catalíticamente activos. En todos los casos, los vectores primarios de liberación son al aire y en los residuos; pero en ciertas circunstancias también son posibles las liberaciones al agua y a la tierra.

Cuadro 7: Subcategorías de la Matriz del Inventario – Categoría Principal 6

No.	Subcategorías de la Categoría Principal	Posibles vías de liberación				
		Atmós-fera	Agua	Tierra	Produc-tos	Resi-duos
6	Procesos de Combustión Incontrolados	X				X
	a Quema de biomasa	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 pueden 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 mezcla de reacción/proceso químico” (véase la sección 3.1).

Cuadro 8: Subcategorías de la Matriz del Inventario – Categoría Principal 7

No.	Subcategorías de la Categoría Principal	Posibles vías de liberación				
		Atmós-fera	Agua	Tierra	Produc-tos	Resi-duos
7	Producción y Uso de Sustancias Químicas y Bienes de Consumo	X	X		X	X
	a Producción de pasta/pulpa y papel	x	X		x	X
	b Industria química	x	x	(x)	X	X
	c Industria del petróleo	x				x
	d Producción textil		x		x	
	e Refinado de cuero		x		x	

Durante los procesos de producción las liberaciones de PCDD/PCDF pueden pasar con todos los vectores a los medios/compartimentos ambientales y a los productos. La utilización de cloro elemental para el blanqueo y el uso de ciertos biocidas como los PCP y ciertos tintes (basados en el cloranilo) han contribuido a las liberaciones directas de PCDD/PCDF al agua. Por consiguiente, un fuerte énfasis debería ponerse en la investigación detallada de este pequeño número de posibles fuentes, que son de gran significancia por su contribución al problema general de PCDD/PCDF.

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 cuando se usan combustibles contaminados y debido también a la reacción de los gases calientes con la materia orgánica de los materiales a secar. En el caso de la desecación de biomasa y de los ahumaderos, los desechos tales como madera, textiles, cuero usados/tratados u otros materiales contaminados han sido usados como combustibles.

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. Las fuentes de PCDD/PCDF están constituidas 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 – Categoría Principal 8

No.	Subcategorías de la Categoría Principal	Posibles vías de liberación				
		Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos
8	Varios	X	X	X	X	X
	a Desecado de biomasa	x			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 las prácticas más significativas de evacuación de desechos, estas son no térmicas/no combustivas, las mismas pueden dar lugar a liberaciones de PCDD/PCDF sobre todo al agua y a la tierra. Estas prácticas incluyen las evacuaciones a vertederos

controlados de cualquier tipo de desechos, incluidos los lodos de alcantarilla, el vertido de los aceites de desecho y el vertido en aguas abiertas de los desechos y de los lodos.

Para determinar las tasas de liberación de PCDD/PCDF será preciso determinar la cantidad de desechos evacuados y la concentración de PCDD/PCDF disponible en ellos. Especialmente, la codisposición 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 y evacuación de desechos.

Cuadro 10: Subcategorías de la Matriz del Inventario – Categoría Principal 9

No.	Subcategorías de la Categoría Principal	Posibles vías de liberación				
		Atmós-fera	Agua	Tierra	Produc-tos	Resi-duos
9	Evacuación		X	X		X
	a Vertederos controlados y botaderos de desechos		x			
	b Aguas negras y tratamiento de aguas negras	(x)	x	x	x	x
	c Vertidos a aguas de superficie		x			
	d Compostado			x	x	
	e Tratamiento de aceite de desecho (no térmico)	x	x	x	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 sitios pueden ser actuales o puede esperarse que comiencen si no se toman acciones de remediación. El Cuadro 11 da una lista indicativa de los lugares donde potencialmente 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 estar produciéndose a partir de procesos in situ o venir 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 estarse ya produciendo, puede ser inminente o puede solamente representar una amenaza potencial para el futuro. La identificación de estos lugares puede ser difícil.

Cuadro 11: Subcategorías de la Matriz del Inventario – Categoría Principal 10

No.	Subcategorías de la Categoría Principal	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 conteniendo 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 uno u otro 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) como también la información del proceso. Dentro de una determinada subcategoría de fabricación de un mismo producto, las emisiones de PCDD/PCDF pueden variar considerablemente dependiendo de la tecnología, el desempeño, *etc.*, y en muchos casos sólo se puede hacer una estimación. El método de estimación que se elija variará y deberá reflejar 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. Como buenas fuentes para obtener esa información, y como punto de partida se pueden incluir:

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

Las subcategorías constituidas principalmente de grandes plantas podrían caracterizarse por su ubicación individual. Las subcategorías constituidas por fuentes difusas deberían caracterizarse agregando datos centralmente disponibles. Si no se dispone de información sobre una determinada actividad, pueden ser calculados los rangos de liberaciones potenciales aplicando los más bajos y más elevados factores de emisión.

En los cuestionarios de ejemplo (véase la sección 9) se incluye la información más importante necesaria para clasificar procesos y subcategorías. Están diseñados para facilitar la selección de los factores de emisión apropiados.

Deberían 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 completos. 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 de garantía de la calidad. Idealmente, se establecerá para cada uno de los sitios y para cada fuente una base de datos completa y muy detallada en la que figurarán todas las actividades potencialmente relacionadas con la liberación de PCDD/PCDF.

Una información incompleta – vacíos 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 suposición deberá ser transparente para facilitar la estimación de datos en años futuros y la reevaluación a la luz de una mejor información. Se presentan dos tipos distintos de criterios.

Un criterio “intermedio” de aproximación supone que los datos faltantes se distribuyen de la misma forma que los disponibles (por ejemplo, altos frente a bajos emisores o en cumplimiento de los requerimientos 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 estar basadas en el mejor juicio que haga uso de todos los datos disponibles, presentados claramente y revisados externamente. 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 liberaciones 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 de los 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 realizar cierta agrupación (o clasificación) de los procesos de un país o región, ya que no es nada frecuente el que se hallen datos medidos para todos los procesos individuales 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 reunida en la etapa 3 mediante la utilización del cuestionario normalizado o mediante otros medios, debería ser suficiente para agrupar los procesos, dadas las descripciones de la tecnología y de los procesos que se exponen en la sección 6. Cada clase está diseñada para que represente cierto nivel de tecnología y de desempeño o performance, que producirán liberaciones 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, el aire) pero ser similares para otro (por ejemplo, residuos o tierra). Para la clasificación definitiva de las plantas será menester el uso de criterios y las suposiciones.

Para asegurarse de que se toman en consideración todas las actividades, la suma de tasas de actividad de las clasificaciones individuales debería 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 incinerada en plantas bien controladas más la masa incinerada en 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 listan tres clases de procesos (véase la sección 6.2.5) relacionados 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 proceden 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, esto se confirmó por los reguladores. 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 térmica de aluminio

Producción de aluminio a partir de chatarra– 2e	Tasa de actividad (t/a)			
	Clasificación	Resultados de encuestas	Producción total del país	Estimación final
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
Tratamiento de la chatarra, bien controlado, filtros de tela con inyección de cal	300.000		600.000	
Proceso optimizado para control de PCDD/PCDF– postcombustión, inyección de cal, filtros de tela y carbón activado			0	
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 (ver ejemplos en Capítulo 9). Los cuestionarios normalizados prevén un espacio para asignar una clasificación a cada fuente según las características de sus procesos y de sus equipos, refiriéndose a las descripciones de las clases de la sección 6.

4.4.2 Cuantificación de Fuentes

Para cuantificar la intensidad de la fuente, las tasas de liberación se determinarán como tasas anuales de flujo de masa de PCDD/PCDF expresadas en gramos de EQT de PCDD y PCDF liberados al año. La mayoría de las concentraciones de PCDD/PCDF publicadas en la literatura y los valores límites en la legislación, tales como los de la Directiva de la Unión Europea (EU 76/2000) acerca de la incineración de desechos y los de los Estados Unidos están presentadas como EQT-I (Equivalentes de Toxicidad Internacional usando los factores de equivalencia de toxicidad de la OTAN (= FET–I) establecidos en 1988 (OTAN/DSCM 1988). El Convenio de Estocolmo, sin embargo, requiere el uso de Factores de Equivalencia de Toxicidad, según el estado actual del conocimiento, que hasta el presente son los OMS-FET, establecidos por el grupo de expertos OMS/IPCS en 1998 (van Leeuwen y Younes 1998). Como puede verse en el Capítulo 11.1, la diferencia entre los FET–I y los OMS-FET para mamíferos es ínfima e insignificante a los efectos del Instrumental para PCDD/PCDF. Como se menciona en el Capítulo 1 y en el Capítulo 2.2, los factores de emisión en este Instrumental se ocupan sólo de las liberaciones de PCDD/PCDF y no incluye los PCB tipo dioxina. Más aún, los factores de emisión representan estimaciones de liberaciones en órdenes de magnitud.

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

$$\text{Intensidad de la fuente (Liberaciones de PCDD/PCDF al año)} = \text{Factor de emisión} \times \text{“Tasa de actividad”} \quad (1)$$

En términos prácticos esto significa que por fuente se deben realizar cinco cálculos:

$$\begin{aligned} \text{Intensidad de la fuente} &= \Sigma \text{Factor de Emisión}_{\text{Aire}} \times \text{Tasa de Actividad} \\ \text{(liberaciones de PCDD/PCDF por año)} &+ \Sigma \text{Factor de Emisión}_{\text{Agua}} \times \text{Tasa de Actividad} \\ &+ \Sigma \text{Factor de Emisión}_{\text{Tierra}} \times \text{Tasa de Actividad} \\ &+ \Sigma \text{Factor de Emisión}_{\text{Producto}} \times \text{Tasa de Actividad} \\ &+ \Sigma \text{Factor de Emisión}_{\text{Residuo}} \times \text{Tasa de Actividad} \end{aligned}$$

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 **Tasa de Actividad** (= la cantidad de material de entrada procesado o producto producido en toneladas o litros por año) por cada uno de los **Factores de Emisión** (Factor de Emisión_{Aire}, Factor de Emisión_{Agua}, Factor de Emisión_{Tierra}, Factor de Emisión_{Producto}, Factor de Emisión_{Residuo}). Cada Factor de Emisión es la cantidad de PCDD/PCDF (en µg de EQT-I) que se libera a cualquiera de los cinco vectores (aire, agua, tierra, producto, o residuo) por unidad de material de entrada procesado o de producto producido (por ejemplo, toneladas o litros).

Pero en ciertos casos, por ejemplo, dentro de la Categoría Principal 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 o Liberación** por defecto que se consideran típicas de una determinada matriz. Se trata sobre todo de las liberaciones al agua (como descargas/efluentes), estas están dadas en pg EQT/L o para liberaciones en residuo, dados en ng EQT/kg de 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/liberaciones medidas o las que se mencionan en el Instrumental como base de cálculo del factor de emisión (por ejemplo, en ng de EQT-I/m³) por el **Flujo**.

Se aplica la ecuación 2:

$$\text{Intensidad de la fuente (Liberaciones de PCDD/PCDF al año)} = \text{Concentración de liberación} \times \text{Flujo} \quad (2)$$

El **Flujo** anual es la tasa de flujo volumétrico o másico del gas, del líquido o del sólido liberado por año (por ejemplo, en m³/a o t/a). Se calcula como el producto del flujo de masa o volumen por hora a plena carga (por ejemplo, m³/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 volumétrico o másico liberados por hora a las verdaderas condiciones de carga, de manera que se obtenga una tasa de flujo volumétrico o másico 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 consideraciones de consistencia.

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

El flujo anual (tasa de flujo volumétrico o másico) o tasa de actividad obtenida como:

- Producto producido (por ejemplo, acero, sinterizado, cemento, pasta/pulpa de papel, compostado, *etc.*), o
- Material de entrada procesado (por ejemplo, desechos peligrosos, carbón, diesel, cadáveres quemados, *etc.*), o

Material emitido (por ejemplo, m³ de gas de salida, litros de efluentes líquidos, kilogramos o toneladas de lodos generados, *etc.*).

El factor de emisión para las liberaciones de una determinada fuente obtenidas como:

- El correspondiente factor de emisión por defecto de este Instrumental;
- Los datos locales de la correspondiente fuente realmente medidos como concentración (por ejemplo, ng de EQT/m³, ng de EQT/litro),

El producto de (1) y (2) arriba mencionados, 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 liberación anual de PCDD/PCDF para cada subcategoría.

4.4.3 Determinación del Flujo o Tasa de Actividad

La Tasa de Actividad o Flujo de una planta individual se deducirá de los datos recolectados o 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 son creíbles y se expresan en las unidades adecuadas. El mismo principio se aplica a las estimaciones de tasas de actividad aplicadas a subcategorías 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 volumétrico o másico liberada al año (por ejemplo, m³/h liberado a 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 subcategoría, las liberaciones se calculan multiplicando la tasa de actividad correspondiente a esa clase dada por el factor de emisión facilitado por el Instrumental para todos los vectores de liberación, es decir aire, agua, tierra, productos y residuos (véase el Capítulo 6).

Los factores de emisión por defecto suministrados representan un promedio de las emisiones de PCDD/PCDF para cada clase dentro de cada subcategoría. Por lo general, se han asignado clases para describir procesos sin controles o con controles deficientes, con equipo simple, *etc.*, que presenta el escenario de peor caso (clase 1); a medida que aumenta el número de clase (desde clase 2 a clase 4), el desempeño del proceso/fuente/actividad mejora dando como resultado menores liberaciones de PCDD/PCDF. El número de clase más alto generalmente representaría las MTD y MPA. Los factores de emisión para cada clase representan las mejores estimaciones (medianas o medias) basadas en datos medidos en fuentes existentes con la misma tecnología, las mismas características del proceso y prácticas de operación. Aunque esos factores de emisión por defecto se basan en la mejor información disponible en la literatura o en otras fuentes, se pueden modificar, o las clasificaciones pueden ampliarse a medida que vaya disponiéndose de nuevos datos. La vasta mayoría de factores de emisión están basados en datos publicados encontrados en literatura examinada y revisada o en informes institucionales o gubernamentales. Para hacer que los factores de emisión sean amigables al usuario, manejables, y robustos fue necesario agregar estos datos originales dentro de las estimaciones de órdenes de magnitud (para las mayorías de las clases, dentro de las subcategorías).

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 medidos 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 plantas individuales y preferentemente del lugar. De todas formas, la extrapolación de datos medidos a plantas en las que no se han hecho mediciones sólo debería hacerse si se trata de plantas del mismo tipo que operan en condiciones similares. En todos los casos para clasificar el proceso se debería utilizar la descripción de la planta y se deberían aplicar los factores de emisión por defecto más adecuados.

El obtener datos de PCDD/PCDF es un desafío analítico. 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. Un 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. Se deberá señalar el hecho de utilizar factores de emisión distintos de aquellos suministrados en el Instrumental para estimar las liberaciones anuales. En tales casos, estos factores deberán ser introducidos en las columnas respectivas de las hojas de EXCEL, que se suministran junto con 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 subcategorías se construye un inventario detallado.

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

Por último, las liberaciones de las diez Categorías Principales de Fuentes se adicionan y así se puede calcular el inventario nacional, que representa las liberaciones estimadas totales de las fuentes identificadas y cuantificadas en un país. Este nivel usualmente representa el tercer y último nivel detallado que es objeto de notificación.

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

5 PRESENTACIÓN DEL INVENTARIO

La presentación de los datos del inventario es crítica y debe ser armonizada 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 rangos potenciales de liberaciones a partir de las principales fuentes; y
- Focalizar las necesidades para la realización de esfuerzos adicionales para el acopio de datos.

El establecimiento de un inventario provisional puede tener 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 ilustrar los posibles rangos de liberaciones a partir de procesos identificados y así, por anticipado asignar prioridades. Para cada fuente se obtendrá como resultado un rango dentro del cual se espera que entre el resultado final, obtenido después de una evaluación detallada utilizando el Instrumental. Estos rangos pueden suministrar una valiosa información comparativa.

Un inventario provisional habrá de contener la siguiente información:

- Una lista de todas las subcategorías llevadas a cabo en el país;
- Las estadísticas de actividad para cada categoría y una breve descripción de cómo se ha encontrado o estimado ese dato;
- Los rangos de los factores de emisión por subcategorías y una escala general de posibles liberaciones (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 rangos potenciales de liberaciones hallados mediante el uso de los factores por defecto del Instrumental, y acompañados de una explicación sobre cómo se ha obtenido el resultado;
- Las rangos potenciales se muestran como un gráfico de barras para cada fuente, basándose en factores de emisión por defecto;
- Las estimaciones dentro del país se muestran como puntos o rangos superpuestos a los límites potenciales.

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

5.2 Informe Final

El inventario final del país acerca de las liberaciones de PCDD/PCDF provenientes de todas las actividades listadas en el Instrumental a todos los medios, se elaborará aplicando la metodología completa del Instrumental.

El Informe Final ha de identificar los principales procesos y actividades que producen liberaciones, facilitar información sobre la naturaleza y amplitud de los procesos vinculados a las liberaciones y para identificar aquellos procesos sobre los cuales existen importantes vacíos de datos que deben ser completados en el futuro. Se ocupará asimismo de liberaciones al aire, al agua y a la tierra, en productos y en residuos, siempre en la mayor medida posible, si bien reconociendo que en ciertos sectores existen deficiencias considerables en la amplitud y calidad de datos. En los casos donde no se dispongan de datos medidos o donde no haya información disponible apropiada de la actividad (tales como estadísticas) deberán señalarse para su seguimiento futuro a medida que se dispongan de recursos financieros.

Con la orientación suministrada, se intenta asistir en la preparación de los informes que contienen los resultados esenciales de los proyectos de inventario en formatos que sean útiles en forma inmediata para las personas a las que están dirigidos.

Entre los elementos claves de este inventario final de base tecnológica incluirán:

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

El inventario completo del país: Liberaciones a todos los medios calculadas en el nivel de subcategorías de procesos. Son preferibles los valores numéricos, pero también podrán darse indicaciones sobre la magnitud relativa de las liberaciones (es decir, una graduación). Se deberán identificar aquellos casos en los cuales no existan factores de emisión y no existan datos medidos propios, para la cuantificación de la liberación. En las categorías en que no exista ninguna liberación, ésto también deberá especificarse. Si un proceso/actividad no existe en un país, se deberá introducir una frase tal como “Esta actividad no se realiza en el país”, como para mostrar que la actividad respectiva ha sido investigada pero no estaba presente.

En la sección 10.1 se muestra un ejemplo de resultados en subcategorías y en la sección 10.2, cuadros de resúmenes de inventarios nacionales realizados con el Instrumental.

Resumen proceso por proceso y análisis de los mismos: La parte principal del informe del país estará constituida por las secciones dedicadas a cada una de las categorías investigadas y detalladas en las subcategorías. Cada subsección suministrará información sobre los procesos

básicos, las aproximaciones y los medios utilizados para investigar las liberaciones potenciales a partir de los procesos, y se 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 debería estar incluido en el informe, que debe ser breve, sin embargo los datos deberían estar organizados y conservados a nivel del país. Es importante que a nivel del país se recojan y mantengan datos de base detallados de manera que pueda disponerse de ellos para revisión, ulterior evaluación y actualización posterior.

Información incompleta: Son frecuentes los vacíos de datos. Cuando la información sea incompleta, la obtenida debería usarse para hacer una estimación de la actividad. Si la información es insuficiente para realizar una clasificación completa de todos los procesos, se debería presentar un rango de liberaciones relevantes 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, sin embargo la naturaleza de los controles de contaminación no era clara. En tal caso, puede ser apropiado tomar el rango de factores de emisión de las subcategorías para plantas provistas de controles de contaminación y excluir aquellos factores de emisión correspondientes a plantas que no poseen controles. Esto sirve para limitar la incertidumbre del inventario y ayuda a mostrar 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;
- Los principales vacíos de datos y su importancia percibida;
- Las prioridades para nuevas evaluaciones, generaciones de datos, mediciones o medidas de acción.

6 FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO

Al comienzo de cada categoría de fuente dentro de este capítulo, se dará la pertinencia de la misma para el Convenio de Estocolmo. La agrupación se realizará de la siguiente manera:

- Las categorías de fuentes de la Parte II, Anexo C: son las categorías de fuente industriales que tienen posibilidad de formación y liberación comparativamente alta de PCDD/PCDF. La Parte II incluye cuatro categorías de fuentes.
- Las categorías de fuentes de la Parte III, Anexo C: son las fuentes que también son conocidas por formar y liberar PCDD/PCDF no intencionalmente. La Parte III incluye 13 categorías de fuentes.

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 secuencia de categorías principales de fuentes ni la secuencia de subcategorías dentro de cada categoría principal de fuentes implican algún orden de importancia para cada sector dentro del inventario de dioxinas de un país. Además, los parámetros para caracterizar las clases dentro de 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 más próxima clase por subcategoría y la estimación de liberaciones se hará sobre esta base. 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, como las liberaciones de PCDD/PCDF varían de unas plantas a otras (o de unas actividades a otras) y de un día a otro, los factores de emisión que aquí se utilizan están concebidos para representar liberaciones medias de las categorías que se muestran. Ciertas plantas individuales pueden producir liberaciones mayores o menores.

6.1 Categoría principal 1 – Incineración de Desechos

La incineración de desechos es la categoría de fuente 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 ciertas clases de incineradores. 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. Las subcategorías a ser evaluadas en esta categoría incluyen (Cuadro 13):

Cuadro 13: Subcategorías de la Categoría Principal 1 – Incineración de Desechos

No.	Subcategorías	Posibles Rutas de liberación				
		Atm.	Agua	Tierra	Producto	Residuo
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 fragmentación, fracción ligera	X				x
e	Incineración de lodos de alcantarillado	X	(x)			x
f	Incineración de desechos de madera y biomasa	X				x
g	Destrucción de cadáveres de animales	X				x

Pertinente al Artículo 5, Anexo C

Los incineradores de desechos están listados en el subpárrafo (a) en la Parte II del Anexo C y por lo tanto tienen que ser considerados con prioridad dentro del plan de acción ya que ellos pueden ser los primeros en justificar la implementación de MTD y MPA.

Las categorías de fuente de la Parte II, Anexo C, incluyen:

	Categoría de fuente	Sección en el Instrumental
(a)	Incineradores de desechos (tipos de desechos explícitamente mencionados)	6.1.1, 6.1.2, 6.1.3, 6.1.5
(a)	Incineradores de desechos (no explícitamente mencionados)	6.1.4, 6.1.6

Las categorías de fuentes de la Parte III, Anexo C, incluyen:

	Categoría de fuente	Sección en el Instrumental
(i)	Destrucción de cadáveres de animales	6.1.7

6.1.1 Desechos Sólidos Municipales

Se consideran como desechos sólidos municipales todos los tipos de desechos sólidos producidos por las actividades domésticas, las actividades residenciales, y/o los materiales de desecho que tira la gente durante sus actividades cotidianas normales. Se incluyen asimismo desechos tipo doméstico 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, y metales, así como polvo y piedras, y otros materiales inertes. 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

quemar por lotes hasta los sistemas más grandes de incineración y altamente sofisticados 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 tambores (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 un conducto de alimentación o bien en forma 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 sofisticados realizan una inyección secundaria de aire que mejora la eficiencia de la combustión y el quemado de los gases. Algunas cenizas remanentes caen en el extremo posterior de la reja en una tolva de recolección 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 tubos 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 quemado total 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, enfriados por inyección de agua o la temperatura se reduce por pérdida radiante de calor. En ciertos casos para los DSM se han utilizado incineradores en dos etapas o plantas con una cámara de pirólisis en la primera etapa y una cámara de post-combustión enriquecida en aire/oxígeno. Tienen dos cámaras, en la primera de las cuales se pirolizan los desechos y en la segunda se queman los gases.

En el peor de los casos los gases de salida arrastran todas las partículas de cenizas volantes que se liberan directamente al aire. 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 activado o un catalizador DeDiox/NO_x. Como regla 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 provenir de los desechos de entrada y pasar el incinerador sin destrucción, o formarse en el proceso de combustión o, más frecuentemente, formarse después del proceso de combustión durante el enfriamiento de los gases de salida. Altos niveles de formación de PCDD/PCDF esta asociado con condiciones de combustión deficientes (operación por lotes, elevado CO, *etc.*), alimentación de materiales problemáticos 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 al aire y en las cenizas volantes. Las liberaciones 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.

Un incinerador de desechos sólidos municipales fue incluido en el proyecto de muestreo y análisis de dioxinas en Tailandia (PNUMA 2001, Fiedler *et al.* 2002). La planta consistía en una unidad de 250 toneladas por día de capacidad de incineración. Tenía una rejilla reciprocante o de intercambio, una caldera de vapor para recuperación de calor, una etapa de enfriamiento rápido, un sistema seco de inyección de cal y un filtro de mangas.

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 agua no es recirculada dentro del proceso. Las liberaciones al agua ocurrirán cuando el efluente no se trata de forma adecuada, por ejemplo, cuando no se retienen en filtros las partículas a las que se han adsorbido los PCDD/PCDF o el agua que se usa para el enfriamiento de las cenizas no se retiene. 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 o de fondo presentan concentraciones más bajas pero un volumen mayor. Si se mezclan unas cenizas y otras, los residuos combinados estarán más contaminados que las cenizas depositadas o de fondo solas. En los países con planes de gestión de desechos en vigencia, las cenizas volantes son generalmente enviadas a los vertederos controlados. A menudo, las cenizas depositadas o de rejilla se usan como materiales secundarios para la construcción, como por ejemplo en la construcción de caminos. Las tecnologías posibles se dividen en cuatro grupos de factores de emisión que se muestran en el Cuadro 14.

Cuadro 14: Factores de emisión resultantes de la incineración de desechos sólidos municipales

Clasificación	Factores de emisión - µg de EQT/t de DSM quemados		
	Aire	Cenizas volantes	Cenizas depositadas/de fondo
1. Combustión de baja tecnología, sin sistema de CCA	3.500	-	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 14 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 deberán elegir los factores de emisión de clase 1 cuando se trata 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 extremo. La clase 4 sólo se utilizará para las plantas de incineración de DSM muy sofisticadas como las 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 equivalente a 0,1 ng de EQT/Nm³ (@11 % O₂)² y se supone que la instalación en cuestión está en condiciones de conseguirlo. Se puede suponer que la gran mayoría de todas las plantas de incineración de DSM entran dentro de las clases 2 y 3.

² De acuerdo a lo requerido para las plantas de incineración de desechos en los estados miembros de la UE según Directiva EU 2000/76/EC (EC 2000)

6.1.1.1 *Liberaciones al Aire*

Las emisiones al aire es el vector de mayor preocupación en la combustión de DSM. El factor de emisión por defecto de 3.500 µg EQT/t de desecho quemado como factor de emisión promedio 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 (@11 % O₂). 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 volumen 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 (@11 % O₂). Las plantas de este tipo pueden estar equipadas con 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/manga o combinaciones similares) con lo que resulta una caída de la concentración de PCDD/PCDF a unos 5 ng de EQT/Nm³ (@11 % O₂). 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 incineradores de DSM y tecnología de CCA mas avanzado (por ejemplo, unidades de adsorción por carbón activado o SCR/DeDiox). Así pues, normalmente se produce solo 5.000 Nm³/t de DSM con una concentración menor de 0,1 ng de EQT/Nm³ (@11 % O₂) (LUA 1997, IFEU 1998).

Las concentraciones del gas de salida (@11 % O₂) del incinerador de desechos sólidos municipales de Thai, se encontraban en el rango de 0,65 a 3,10 ng EQT-I/Nm³ con un promedio de 1,71 ng EQT-I/Nm³ (@11 % O₂). Las concentraciones totales de PCDD/PCDF (Cl₄-Cl₈) estuvieron entre 41,3 y 239 ng EQT-I/Nm³ con una media de 122 ng/Nm³ (@11 % O₂). La concentración promedio medida de 122 ng PCDD/PCDF/m³ esta por arriba de la norma para desechos sólidos municipales de Thai que es de 30ng/m³; la media de 1,7 ng EQT-I/Nm³ esta también por arriba de la norma Europea que es de 0,1 ng EQT-I/m³. Las emisiones medidas resultarían en un factor de emisión de 6,1 µg EQT/t de desecho quemado. El Instrumental debería haber clasificado este incinerador en la clase 3 y debería haber dado un factor de emisión de 30 µg EQT/t. Aplicando el factor de emisión por defecto del instrumental la liberación hubiera resultado sobreestimada por un factor de 5 pero hubiera caído en el orden anticipado de magnitud.

6.1.1.2 *Liberaciones al Agua*

Las liberaciones al agua pueden producirse cuando se emplean depuradores húmedos para la retención de partículas o para enfriar cenizas. En este caso, la cantidad de PCDD/PCDF liberados a través de este vector se puede estimar mejor utilizando los factores de emisión por defecto suministrados para el residuo. Normalmente, las concentraciones están en el rango de unos pocos pg de EQT-I/L, y la máxima concentración de PCDD/PCDF notificadas en el efluente de un depurador, antes de la retención de las partículas, estuvo debajo de 200 pg/L. La mayor parte de los PCDD/PCDF está asociada 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 operan sin efluentes. Actualmente, no es posible cuantificar tales liberaciones.

6.1.1.3 *Liberaciones a la Tierra*

No se esperan liberaciones a la tierra a no ser que sobre ésta se depositen directamente residuos no tratados o que estos residuos se mezclen con tierra. La concentración liberada en tales casos estará comprendida bajo el título “Liberaciones con Residuos“, Capítulo 6.1.2.5

6.1.1.4 *Liberaciones con productos*

Este proceso no da productos, entonces no habrá factor de emisión.

6.1.1.5 *Liberaciones con residuos*

Las concentraciones de PCDD/PCDF en las cenizas volantes son importantes, aún cuando la masa total generada por tonelada de DSM es normalmente de alrededor 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 %³. Las cenizas volantes y cenizas depositadas también contienen carbón orgánico no quemado en proporciones que van desde el 1 % (clase 4) hasta el 30 % (clase 1). Como el carbón orgánico no quemado de las cenizas aumenta generalmente la adsorción de PCDD/PCDF, la concentración de PCDD/PCDF es máxima en la clase 1; en ella, para las cenizas depositadas se eligió una concentración de 500 ng de EQT/kg de ceniza depositada⁴. Como estos tipos de incineradores no tienen un sistema de retención para las cenizas volantes, no habrá factor 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 las cenizas depositadas debido a una eficiencia de combustión muy mejorada de la cual resulta una PDI inferior en la ceniza. La clase 3 reduce 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 retención, 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 general no disminuye más. Así pues, el valor para las cenizas volantes se fija en 1.000 ng de EQT-I/kg y la concentración en las cenizas depositadas baja a 5 ng de EQT/kg.

6.1.2 Incineración de Desechos Peligrosos

Se consideran desechos peligrosos (DP) a 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

³ 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 %)

⁴ Valor extrapolado: se asume 10 veces arriba del promedio de las concentraciones medidas en las plantas europeas de los años 1980

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.*

El término “desecho peligroso” que se usa en el instrumental no incluye desechos hospitalarios (ver próxima sección 6.1.3) ya que la ubicación del origen del desecho y la tecnología con la que los desechos hospitalarios y los desechos peligrosos son tratados es diferente. Más aún, para la compilación de un inventario de liberaciones de PCDD/PCDF la accesibilidad de los datos primarios tales como la localización y las tasa de generación de desechos es diferente para los dos tipos. Cuando se buscan proveedores de datos sobre las cantidades y los tipos de desechos peligrosos generados e incinerados, los primeros contactos suelen ser los Ministerios de la Industria, asociaciones y/o compañías privadas que tratan tales desechos. En el caso de desechos hospitalarios, muy a menudo la información puede encontrarse en el Ministerio de Salud o en las autoridades locales de salud o en los hospitales que se sabe que operan incineradores.

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 se incluye el de tipo tambor, de muy baja tecnología, el tipo reja o los hornos tipo mufla. También otras tecnologías como la oxidación supercrítica del agua, la vitrificación por arco eléctrico, *etc.*, que tratan desechos peligrosos pueden ser incluidas en este grupo (aunque no son necesariamente clasificadas como “incineración”). 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 industriales para la incineración de desechos diseñadas para aceptar gran diversidad de desechos peligrosos.

Los desechos peligrosos sólidos se introducen en un horno rotatorio con revestimiento refractario por un conducto de alimentación. Desechos líquidos y de lodos de alto valor calorífico 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 en cenizas del horno/escoria fundida, que salen ambos del horno rotatorio por su extremidad posterior. Las cenizas vitrificadas se apagan y enfrían 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, las concentraciones de PCDD/PCDF en estas escorias son generalmente bajas comparadas a aquellas en las cenizas volantes. 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 de alto valor calorífico mantienen una temperatura superior a 1.200 °C. Además, se inyecta aire para la combustión secundaria, esto facilita una incineración adicional del gas. Tras abandonar el sistema de combustión de dos etapas, el gas de salida se trata de la misma forma que se ha descrito para la incineración de los DSM. En muchos casos los residuos sólidos del horno de incineración de desechos peligrosos se considera como desecho peligroso y es re-introducido al horno. En general, los

incineradores de desechos peligrosos funcionan a temperaturas más elevadas que los incineradores de DSM, y con una cantidad superior de exceso de aire. Esto resulta en 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 generar emisiones de PCDD/PCDF más elevadas. Los vectores de liberación son los mismos que los señalados para la incineración de DSM. En el Cuadro 15 se muestran cuatro grupos de factores de emisión.

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

	Factores de emisión - μg de EQT/t de DP quemados	
	Aire	Residuos (sólo cenizas volantes)
1. Combustión de baja tecnología, sin sistema de CCA	35.000	9.000
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 aproximadamente un 3 % de cenizas volantes y de que la liberación de PCDD/PCDF asociada a la disposición de las cenizas depositadas o de fondo 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 altamente sofisticadas como las que se encuentran en algunos países de Europa Occidental y en Norteamérica. Sólo si se impone estrictamente un valor regulatorio de $0,1 \text{ ng}$ de EQT/ Nm^3 (@11 % O_2) – tal como en la legislación europea -, 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 debería elegir sobre todo a pequeños (< 500 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 al Aire

Las liberaciones al aire 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 cae a 20 ng de EQT/ Nm^3 (@11 % O_2). 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 (@11 % O_2). Además, la tasa de flujo específica por

volumen de gas de salida se reduce a 10.000 Nm³/t de DP. La clase 4 corresponde a los más avanzados incineradores de DP y a la mejor tecnología de CCA. Así, se puede considerar como posible una cifra de sólo 7.500 Nm³/t de DP y una concentración considerablemente inferior a 0,1 ng de EQT/Nm³ (@11 % O₂) (LUA 1997, IFEU 1998, Environment Canada 1999).

6.1.2.2 *Liberaciones al Agua*

Se pueden producir liberaciones al agua cuando para la remoción 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 liberación no se considera importante para este tipo de fuente.

6.1.2.3 *Liberaciones a la Tierra*

No es de esperar ninguna liberación a la tierra a menos que residuos sin tratar se coloquen directamente sobre ella o se mezclen con tierra. La concentración liberada en tales casos será abordada en “Liberaciones con Residuos”, Capítulo 6.1.2.5

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 que se saca del horno, 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 ceniza volante. En la clase 2, la concentración baja a 30.000 ng de EQT/kg de ceniza 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 ceniza, basada en mejoras adicionales. 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 residuo. 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 a través del vector de residuo van a ser similares y aproximadamente del mismo orden de magnitud que las que van al aire. Por consiguiente, la emisión general se puede dividir en partes aproximadamente iguales entre los dos vectores, aire y residuos. De todas formas, así se obtiene una estimación mucho menos precisa de las emisiones generales de PCDD/PCDF dada la distinta naturaleza y composición de las cenizas volantes de desechos peligrosos.

6.1.3 Incineración de Desechos Médicos

Se consideran como desechos médicos todos los desechos generados de las 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 requieren una vigilancia especial y se halló que la incineración de todos los desechos generados dentro de un hospital sería la forma más eficiente de librarse de ellos. Sin embargo, también se demostró que la incineración de desechos médicos en incineradores pequeños y escasamente controlados, constituye una importante fuente de PCDD/PCDF (PNUMA 1999). En consecuencia, en los países desarrollados, estas pequeñas plantas generalmente se han clausurado, o a veces mejorado. Basándose en estas experiencias, ahora el termotratamiento de desechos médicos constituye una subcategoría independiente en el Instrumental. La información de localización, volúmenes de desecho generados e incinerados pueden obtenerse de los Ministerios de Salud, municipalidades, *etc.*, o del sector privado responsable de la evacuación de este tipo de desecho.

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 a partir de los desechos.

Están disponibles resultados, de un país en desarrollo, procedentes de un programa de medición de dioxinas/furanos en un incinerador de desechos hospitalarios de Tailandia. La planta, consistía de dos unidades idénticas, que se ponían en marcha cada mañana y se operaban hasta que se incineraba todo el desecho hospitalario entregado. El horno tenía una reja fija, estaba equipado con una cámara de combustión secundaria y dos post-quemadores. Se debería hacer notar que no estaba presente todo el equipamiento con el cual la instalación fue originalmente diseñada. Los gases de salida pasaban por un baño alcalino antes de ser descargados a través de la chimenea. En su totalidad, la planta se veía deficientemente diseñada y mantenida (UNEP 2001, Fiedler *et al.* 2002).

El Instrumental define cuatro clases de factores de emisión a partir de incineradores de desechos médicos (Cuadro 16). 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 prolongado período de tiempo. Combinándose el elevado valor calorífico con la inclusión de plásticos halogenados en los desechos, la posibilidad de formación de PCDD/PCDF es generalmente superior al de los desechos sólidos municipales. Los principales vectores de liberación son el aire 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 16: Factores de emisión para la incineración de desechos médicos

Clasificación	Factores de emisión - μg de EQT/t Desechos médicos quemados	
	Aire	Residuos
1. Combustión no controlada del tipo de lotes, sin sistema CCA	40.000	200 *
2. Combustión del tipo de lotes, controlada, sin CCA o CCA mínima	3.000	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 remoción de partículas aumenta con la calidad de la planta. Se elige la clase 1 para los incineradores pequeños y sencillos del tipo de pequeño cajón que funcionan intermitentemente (en los cuales una carga de desechos se encienden y se dejan) sin cámara de combustión secundaria, ni controles de temperatura y ni ningún tipo de equipo de control de contaminación atmosférica. 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 4 sólo se atribuirá a plantas de incineración de desechos médicos muy sofisticadas como las que se encuentran en ciertos países de Europa Occidental y, a veces, en Norteamérica, a condición de que el valor límite equivalente a $0,1 \text{ ng de EQT/Nm}^3$ (@11 % O_2) 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 si es continuo o por lotes, ya que usualmente estas instalaciones son objeto de un amplio calentamiento previo con petróleo o gas natural. Los desechos médicos sólo se introducen en el horno cuando en éste se hayan alcanzado temperaturas de operación bien por arriba de los $900 \text{ }^\circ\text{C}$. Puede suponerse que la inmensa mayoría de las plantas de incineración de desechos médicos caen dentro de las clases 1 y 2. Las plantas más grandes, centralizadas, pueden agruparse en la clase 3.

6.1.3.1 *Liberaciones al Aire*

El aire 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 Nm³/t de desechos médicos y una concentración de unos 2.000 ng de EQT/Nm³ (@11 % O₂). La clase 2 parte del supuesto de una reducción de la tasa de flujo específica por volumen de gas de salida a 15.000 Nm³/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/Nm³ (@11 % O₂). La clase 3 se basa en datos europeos en los que se ha determinado una concentración de 35 ng de EQT-I/Nm³ (@11 % O₂) con 15.000 Nm³/t. La clase 4 corresponde a la incineración de desechos médicos según las características más avanzadas y la mejor tecnología de CCA. En estos casos sólo se han generado 10.000Nm³/t de desechos médicos y se ha medido una concentración inferior a 0,1 ng de EQT/Nm³ (@11 % O₂) (LUA 1997, IFEU 1998, Environment Canada 1999).

Las concentraciones de PCDD/PCDF emitidas al aire vía chimenea del incinerador de desechos hospitalarios en Tailandia fueron- ajustadas a 11 % O₂- entre 21,8 y 43 ng EQT-I/Nm³ para la línea A y entre 10,7 y 45,0 ng EQT-I/Nm³ para la línea B; los promedios eran 33,8 y 28,6 ng EQT-I/Nm³, respectivamente. Estas emisiones daban como resultado un factor de emisión de aproximadamente 1.200 µg EQT/t de desecho quemado, que está entre los factores de emisión de la clase 2 (3.000µg EQT/t) y la clase 3 (525µg EQT/t).

6.1.3.2 *Liberaciones al Agua*

Se producen liberaciones al agua cuando para la retención de partículas se utilizan depuradores húmedos y el agua de enfriamiento de gases se usa para enfriar las cenizas. Esto no sucede casi nunca, excepto en Europa Occidental donde ocasionalmente se utilizan los depuradores húmedos para la absorción de gases ácidos. 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 y enfriamiento de cenizas, será preciso tomar nota del tipo de tratamiento de agua se utiliza.

6.1.3.3 *Liberaciones a la Tierra*

No se espera ninguna liberación a la tierra a no ser que residuos no tratados se depositen directamente sobre ella o se mezclen con tierra. La concentración liberada en tales casos será cubierta en "Liberaciones con Residuos" Capítulo 6.1.3.5

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 retención de polvo. En estos casos no quedarán otros 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 sólidos por tonelada de desechos médicos quemados con una concentración de 1.000 ng de EQT/kg de cenizas depositadas o de fondo. 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 un contenido de carbono orgánico de aproximadamente 1 % de 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 se eligen 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 total no disminuye más.

Los resultados del incinerador de desechos hospitalarios en Tailandia eran extremadamente altos debido a las deficientes condiciones de combustión en la cámara primaria y a la operación en el lugar, donde las cenizas depositadas se dejaban toda la noche en la cámara para el enfriamiento lento. Tales condiciones crean altas concentraciones de PCDD/PCDF. Se encontraron cenizas depositadas con 1.390 y 1.980 ng EQT/kg de ceniza depositada, valores aproximadamente 20 veces más altos que lo esperado para cenizas depositadas correspondientes a la clase 2. (UNEP 2001, Fiedler *et al.* 2002).

6.1.4 Incineración de Desechos de Fragmentación, Fracción Ligera

La fracción ligera de los desechos de fragmentación (DFFL), en el sentido usado aquí, también a veces denominados “borra” de fragmentador o agregado ligero, describe la fracción ligera que se obtiene en el fragmentador. En muchos países grandes objetos como viejos vehículos, electrodomésticos, contenedores de graneles, *etc.*, se fragmentan (trituran) con el fin de reducir su volumen así como para permitir la separación de 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 fraccionar los agregados que salen del fragmentador (tritador) en metales ferrosos, metales no ferrosos, vidrio, otros materiales inertes pesados, y fracciones de

agregados 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 el aire y los residuos, ya que el equipo de CCA, suponiendo que exista, está quizás totalmente libre de agua de desecho. Por consiguiente, en el Cuadro 17 se dan tres grupos de factores de emisión.

Cuadro 17: Factores de emisión en la incineración de DFFL

Clasificación	Factores de emisión - μg de EQT/t DFFL quemados	
	Aire	Residuos
1. Combustión en tipo de lotes, no controlada, sin sistema de CCA	1.000	ND
2. Combustión en tipo de lotes, controlada, sin CCA o con CCA mínimo	50	ND
3. Alta tecnología, combustión continua y controlada, sistema de CCA sofisticado	1	150

Los factores de emisión por defecto que se dan se basan en el supuesto de que los DFFL quemados producen aproximadamente un 1 % de cenizas volantes. Se considerarán de clase 1 los equipos de combustión más sencillos como barriles, tambores o simples hornos de rejilla fija sin ningún tipo de control de combustión ni de CCA agregado. También entran dentro de esta clase 1 los hornos que operan en modo de lotes y 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/manga o un depurador húmedo para la retención del polvo. También se aplica la clase 2 a los incineradores de DFFL con combustión controlada y equipo de CCA adecuado, aunque sigan funcionando según el modo de lotes. Se puede asumir que la inmensa mayoría de todas las plantas de incineración de DFFL caen dentro de las clases 1 y 2. La clase 3 sólo se aplicará a las plantas de incineración de CCD más sofisticadas como las que se encuentran en Norteamérica y, a veces, en Europa Occidental. Sólo se debería aplicar la clase 3 si se ha impuesto por regulación un valor equivalente a 0,1 ng de EQT/Nm³ (@11 % O₂) y se puede dar por supuesto que la instalación en cuestión puede cumplirlo.

6.1.4.1 Liberaciones al Aire

Las liberaciones al aire constituyen el vector de liberación más importante en la combustión de DFFL. No hay muchos datos medidos de este tipo de actividad. 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 en 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 avanzados sistemas de incineración de DFFL, y de tecnología de CCA. En estas condiciones

sólo se admiten 10.000 Nm³/t de desechos ligeros de fragmentación y una concentración inferior a 0,1 ng de EQT/Nm³ (@11 % O₂) (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 DFFL, así que no se ha podido dar ningún factor de emisión.

6.1.4.3 *Liberaciones a la Tierra*

No cabe esperar ninguna liberación a la tierra a no ser que residuos no tratados se coloquen directamente sobre ella o se mezclen con tierra. La concentración liberada en tales casos será tratada en “Liberaciones con Residuos”, Capítulo 6.1.4.5

6.1.4.4 *Liberaciones con Productos*

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

6.1.4.5 *Liberaciones con Residuos*

Se debe asumir que en las cenizas volantes existen elevadas concentraciones de PCDD/PCDF. La cantidad de cenizas volantes en los DFFL es normalmente alrededor del 1 %. 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 al aire 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 total no disminuye más (US EPA 1999, LUA 1997, IFEU 1998).

6.1.5 Incineración de Lodos de Alcantarilla

El lodo de alcantarilla es el producto de todo tipo de procesos de tratamiento de aguas de desechos, sea cual fuere su origen (como aguas residuales de actividades municipales, agrícolas o industriales). Las aguas de desecho siempre contienen sólidos, que normalmente se retiran durante el proceso de tratamiento. Como los PCDD/PCDF son prácticamente insolubles en agua, el grueso de los PCDD/PCDF se adsorben a los sólidos presentes en las

aguas de desecho. Si los sólidos no son removidos, los PCDD/PCDF se evacuarán junto con las aguas de desecho. Estos sólidos pueden ser removidos, por filtración o floculación, de forma que los PCDD/PCDF son colectados en los lodos del tratamiento de efluentes. Estos lodos, se pueden o bien incinerar o tratar de otra manera (co-combustión en plantas generadoras de energía; tratamiento por oxidación húmeda, pirólisis, gasificación, etc.), ó disponer en vertedero controlado. Esta subsección trata de las liberaciones de PCDD/PCDF procedentes de la incineración de lodos de alcantarilla en plantas dedicadas a tal fin; el otro medio de tratamiento de lodos se incluye 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 los de la industria 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 hornos de cemento (véase la categoría principal de fuentes 4 – Sección 6.4.1).

El lodo de alcantarilla se incinera en hornos de lecho fluidizado de burbujeo 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 altamente eficientes de retención de partículas, estos tienen una importancia fundamental en la operación 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 los de tipo mufla. 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, así como de metales pesados como el cobre, puede incrementar las emisiones de PCDD/PCDF.

Los vectores de la liberación más importantes son sobre todo el aire y los residuos. Las liberaciones al agua se pueden producir cuando se utilizan depuradores húmedos. En el Cuadro 18 se muestran los tres grupos de factores de emisión.

Cuadro 18: Factores de emisión para la incineración de lodos de alcantarilla

Clasificación	Factores de emisión - μg de EQT/t de lodos de alcantarilla	
	Aire	Residuos
1. Hornos antiguos, que se operan 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 avanzadas de funcionamiento continuo y controlado, con sistema de CCA completo	0,4	0,5

6.1.5.1 *Liberaciones al Aire*

Las liberaciones al aire representan el vector más importante 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 concentraciones de emisión: de un estudio Belga, 4 ng de EQT/Nm³ (@11 % O₂) y una tasa de flujo específica por volumen de gas de salida de unos 12.500 Nm³/t de lodo de alcantarilla quemado, y de un 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 el límite de emisión equivalente a 0,1 ng de EQT-I/Nm³ (@11 % O₂) (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 proveniente de los depuradores de gases de los incineradores de lodo de alcantarilla. Sin embargo, puede concluirse que de las plantas de incineración no pasan al agua las PCDD/PCDF, puesto que los efluentes procedentes de los depuradores húmedos con frecuencia se tratan y después se reintroducen en la planta de tratamiento de efluentes.

Deberán señalarse las plantas que utilizan depuradores húmedos o que simplemente enfrían con agua los gases de salida o las cenizas de rejilla, y también deberá especificarse qué tratamiento y destino se da a los efluentes. El inventario europeo (EU 1999) informa concentraciones entre 1,2 y 6,5 pg EQT-I/L en los efluentes de depuradores líquidos de incineradores de lodos de alcantarilla.

6.1.5.3 *Liberaciones a la Tierra*

No cabe esperar ninguna liberación a la tierra a no ser que sobre ella 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 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 en las 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. Las liberaciones en la clase 3 se estiman que son las mismas que las de 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 incineración de madera y biomasa que pueda haber sido tratada o mezclada con otras maderas tratadas o biomasa contaminada; en hornos bajo condiciones que van desde los que no poseen control hasta los altamente controlados. 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.

La madera contaminada y otra biomasa contaminada puede provenir de numerosas actividades antropogénicas. 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 antiincrustantes/antisuciedad y otros muchos productos. Cuando estos materiales se incineran junto con la biomasa pueden acrecentar 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 la formación y las liberaciones 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 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 19 se exponen las tres clases de factores de emisión.

Cuadro 19: Factores de emisión para la incineración de desechos de madera/biomasa

Clasificación	Factores de emisión - μg de EQT/t de biomasa quemada	
	Aire	Residuos (sólo ceniza volante)
1. Hornos antiguos, que funcionan por lotes, sin equipo de CCA	100	1.000
2. Instalaciones modernizadas de funcionamiento continuo y controladas, con algún equipo de CCA	10	10
3. Instalaciones modernas y avanzadas de funcionamiento continuo y controlado, con sistema de CCA completos	1	0,2

6.1.6.1 Liberaciones al Aire

Las liberaciones al aire es el vector predominante para 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 no controladas. 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 a la tierra a no ser que directamente sobre ella se depositen residuos no tratados o éstos se mezclen con tierra. La concentración liberada en tales casos será cubierta bajo "Liberación con Residuos", Capítulo 6.1.6.5

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, indicando un amplio rango, desde un valor tan alto como de 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 de cenizas procedentes de desechos de madera y biomasa es por término medio del 3 al 10 %, se ha elegido un valor promedio 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, 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 al aire 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 se descargan a través de la chimenea, puede esperarse que una parte de las cenizas volantes queden en el horno y en los conductos que llevan a la chimenea, así como en ésta misma. No se han podido obtener datos medidos en relación con 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 con frecuencia está escasamente controlado y la combustión suele ser incompleta, ya que el propósito principal es el de desinfectar y erradicar por completo toda actividad biológica y no el 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, para mantener bajas las emisiones de PCDD/PCDF.

Los vectores de liberación son sobre todo el aire 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 de la tierra. En el Cuadro 20 se dan tres clases de factores de emisión.

Cuadro 20: Factores de emisión para la combustión de cadáveres de animales

Clasificación	Factores de emisión - μg de EQT/t de cadáveres de animales quemados	
	Aire	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 avanzadas de funcionamiento continuo y controlado, con sistema de CCA completos	5	ND

6.1.7.1 *Liberaciones al Aire*

Las liberaciones al aire constituyen el vector predominante de las liberaciones procedentes de la quema 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 μg de EQT/100 kg de peso de cadáver (estudio del Reino Unido) a menos de 0,5 μg de EQT/100 kg de peso de cadáver (estudios austríaco y alemán). Por consiguiente, a la clase 1 se le atribuyó un factor de emisión por defecto de 500 μg de EQT/t de peso de cadáver 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 μg de EQT/100 kg (= 50 μg de EQT/t) de peso de cadáver. Por último, en la clase 3, con un factor de emisión por defecto seleccionado de 5 μg de de EQT/t de peso de cadáver, 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. Esta situación no se consideró en esta sección y correspondería a la sección 6.6.2.

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 es 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 gaseosas altas 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 más relevantes son aquellas al aire. 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 cantidades de metales distintos a los metales que son el 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 terceros, o para otras aplicaciones.

En este Instrumental, por procesos metalúrgicos primarios se entiende aquellos que tienen por objetivo la obtención de metales tales como hierro, cobre, aluminio, plomo, zinc, *etc.*, a partir de su mineral original ya sea como compuestos oxidados o en forma de sulfuros a través de procesos tales como concentración, fundición, reducción, refinación, *etc.* Los procesos metalúrgicos secundarios utilizan chatarras metálicas, a menudo recubiertas con plásticos, pinturas, baterías usadas (para la producción de plomo), aceites, *etc.* y/o escorias o cenizas volantes de procesos metalúrgicos u otros procesos. En este capítulo, el término producción “primaria” de metal solo debería ser aplicado cuando ningún material usado o desechado entra en el proceso como fuente de metal.

Los PCDD/PCDF son importantes para la producción de metales y, en particular la producción a partir de materias primas secundarias ha sido reconocida como fuente de dioxinas y furanos (LUA 1997, LUA 2000, PNUMA 1999). Además, los procesos que necesitan clorinación tales como los de producción electrolítica de magnesio a partir de agua de mar y dolomita pueden generar PCDD/PCDF (ver sección 6.2.9). Los PCDD/PCDF o sus precursores pueden estar presentes en algunas materias primas y entrar en los procesos o formarse nuevamente a partir de hidrocarburos de cadena corta via síntesis *de novo* en hornos y sistemas de remoción. Los PCDD/PCDF se adsorben fácilmente en materia sólida y pueden ser recogidos y a continuación eliminados como polvo, sólidos de depuradores, y cenizas volantes de filtros de polvo (Fiedler 1998, BREF 2001).

La industria de los metales secundarios se apoya en el suministro de materias primas secundarias a partir de rezagos industriales y de otros desechos con contenido de metal. Las impurezas presentes –aún con alta calidad de las chatarras- pueden conducir a la formación de PCDD/PCDF durante la combustión incompleta o por síntesis *de novo*. Los aceites u otros materiales orgánicos en la chatarra u otras fuentes de carbón tales como combustibles quemados en forma incompleta y reductora ej: coke, pueden generar PCDD/PCDF cuando reaccionan con cloruros (inorgánicos) o cloro ligado orgánicamente, en el rango de temperatura de 250 a 450°C (ver sección 3). Este proceso se conoce como síntesis *de novo* y es catalizado por la presencia de metales tales como el cobre, hierro, *etc.* (OTAN/DSCM 1992a, Fiedler 1998, BREF 2001).

Aunque los PCDD/PCDF se destruyen a altas temperaturas (normalmente arriba de 850 °C) en presencia de oxígeno, el proceso de síntesis *de novo* tiene lugar a medida que los gases se

enfrian a través de la “ventana de reformación”. Esta ventana de temperatura puede estar presente en los sistemas de remoción de gases y en las partes más frías del horno, por ejemplo, el área de alimentación. Por lo tanto deberá tenerse cuidado en el diseño de los sistemas de enfriamiento para minimizar el tiempo de residencia en la ventana para prevenir la síntesis *de novo*. Se necesita la presencia de suficiente oxígeno en los gases calientes y se puede usar la inyección de oxígeno para asegurar la combustión completa para minimizar la formación potencial de PCDD/PCDF (OTAN/DCSM 1992a, Fiedler 1998, BREF 2001).

Hay muchos aspectos comunes dentro del sector de metales ferrosos y no ferrosos. Algunos de los componentes u operaciones pueden conducir a la formación y liberación de PCDD/PCDF. Cuando se estiman las liberaciones de PCDD/PCDF, dentro de cada una de las subcategorías, se deben evaluar las etapas individuales para determinar su posibilidad de ser fuente de liberación de dioxinas. Además de los hornos usados para la producción de metal, las etapas de pretratamiento tienen una potencial generación de PCDD/PCDF, por ejemplo:

Eliminación del recubrimiento y desengrasado: Se aplica sobre materias primas secundarias para reducir el contenido orgánico en la alimentación a algunos procesos principales. Se usan procesos de pirólisis y de lavado. En los sistemas térmicos existe la posibilidad de generación de PCDD/PCDF. La remoción del aceite y de algunos recubrimientos se obtiene en un horno especialmente diseñado tal como el secador de virutas. En la mayoría de los casos se usa un horno rotatorio a baja temperatura para volatilizar el aceite y el agua. Se usa calentamiento directo e indirecto del material. Las plantas modernas pueden tener una cámara de postcombustión operada a altas temperaturas (más de 850°C) para destruir los productos orgánicos que se producen en el horno y luego los gases de salida podrán ser sometidos a un filtrado en filtro de tela.

Incineración y pirolisis: Se aplica para tratar películas fotográficas, materiales de barridos, catalizadores y otros materiales, y para concentrar el contenido de metales preciosos. Para la incineración o etapa de pirólisis se usan hornos simples, tipo caja y hornos rotatorios.

Planta de ácido sulfúrico: Puede estar presente en las fundiciones y sirve como sistema de tratamiento de los gases de salida. Los minerales en forma de sulfuro, que entran con la alimentación del horno de fundición, como consecuencia de la oxidación generan y emiten óxido de azufre. Este puede ser recuperado de los gases de salida del horno de fundición y convertirse a ácido sulfúrico en dicha planta, para su uso en procesos industriales (BREF 2001).

Si bien han sido detectadas emisiones comparativamente altas de PCDD/PCDF en las plantas de reciclado de metales, casi no hay información disponible para hornos de fundición de metales básicos. Environment Canada lleva a cabo un programa de ensayo de dioxinas/furanos en sus hornos de metales básicos para obtener mejor información y desarrollar un protocolo de ensayos de emisiones (Charles E. Napier 2002)

En esta sección, el Instrumental considera las siguientes sub-categorías (Cuadro 21):

Cuadro 21: Subcategorías de la Categoría Principal 2 – Producción de metales ferrosos y no-ferrosos

No.	Categorías principales y subcategorías	Posibles vías de liberación				
		Aire	Agua	Tierra	Producto	Residuo
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 latón y bronce	X				x
i	Producción de magnesio	x	x			x
j	Producción de otros metales no ferrosos	x	x			x
k	Fragmentadoras	X				x
l	Recuperación térmica de cables	X	(x)	x		x

Pertinente al Artículo 5, Anexo C

Pertinentes a las provisiones del Artículo 5, las fuentes en esta categoría pueden ser clasificadas de la forma siguiente:

Las categorías de fuentes de la Parte II, Anexo C, incluyen:

	Categoría de fuente	Sección en el Instrumental
(d) (i)	Producción de cobre secundario	6.2.4
(d) (ii)	Plantas de sinterizado en la industria del hierro y del acero	6.2.1
(d) (iii)	Producción secundaria de aluminio	6.2.5
(d) (iv)	Producción secundaria de zinc	6.2.7

Las categorías de fuentes de la Parte III, Anexo C, incluyen:

	Categoría de fuente	Sección en el Instrumental
(b)	Procesos térmicos en la industria metalúrgica no mencionados en la Parte II	6.2.2, 6.2.6, 6.2.8, 6.2.9, 6.2.10
(k)	Plantas de fragmentación para el tratamiento de los vehículos al final de su vida útil	6.2.11
(l)	Combustión sin llama de cables de cobre	6.2.12

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 del mineral/metal.

La aglomeración es necesaria para incrementar el pasaje 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 de hierro (a veces en forma de polvo) para su uso en el alto horno. Además del mineral de hierro, suele haber una fuente de carbón (frecuentemente cok) y otros aditivos, como la piedra caliza. En ciertos casos están presentes desechos procedentes de varias partes del proceso de fabricación de acero. En el proceso de sinterización, los quemadores situados por encima de la cinta de rejillas calientan el material hasta la temperatura requerida (1.100-1.200 °C), causando la ignición del combustible de la mezcla. El frente de llama pasa a través del lecho de sinterización a medida que éste avanza a lo largo de la rejilla, causando la aglomeración. El aire se succiona a través del lecho. El proceso se concluye en el momento en que el frente de llama 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 piezas que van a regresar al proceso de sinterización (0-5 mm como “finas de regreso”, 10-20 mm como “capa intermedia” o “capa del hogar”).

El flujo de gas de desecho de una planta de sinterización varía desde 350.000 a 1.600.000 Nm³/h⁵ dependiendo del tamaño de la planta y de las condiciones operativas. Habitualmente, el flujo específico de gas de desecho se sitúa entre 1.500 y 2.500 Nm³/t de sinterizado (BREF 2000c).

Los gases de desecho se suelen tratar para la retención del 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 desempeño, 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 llama, en el punto en el que los gases calientes son forzados a través del lecho. Se ha observado asimismo que la formación de-novo de los PCDD/PCDF en los colectores a partir de partículas polvo finas y reactivas es responsable aproximadamente de solo el 10 % del total de los PCDD/PCDF, y que las primeras medidas para prevenir la formación de PCDD/PCDF deberían ser tomadas en el lecho de sinterizado. Además de las medidas relativas al ingreso, las alteraciones en la propagación del frente de llamas, es decir, las operaciones en estado no estacionario, provocan emisiones de PCDD/PCDF más elevadas (Nordsieck *et al.* 2001). 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 de la correa de transmisión, 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.

De un total de 41 muestras tomadas en cuatro lugares en el Reino Unido se ha alcanzado 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 de operación no se han alcanzado valores tan bajos. En Alemania se han medido

⁵ Nota: en esta categoría, al referirse a Nm³ ó m³, no existe normalización para ningún contenido de oxígeno; de esta forma los volúmenes se refieren a concentración de oxígeno operacionales

habitualmente 2-3 ng de EQT-I/Nm³. De una determinada planta se comunicaron valores entre 5 y 6 ng de EQT-I/Nm³ (BREF 2000c).

En el Cuadro 22 se exponen tres clases de factores de emisión.

Cuadro 22: Factores de emisión para plantas de sinterización de mineral de hierro

Clasificación	Factores de emisión – µg de EQT/t de sinterizado producido				
	Aire	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 para la reducción de emisiones	0,3	ND	ND	NA	0,003

En el caso de las plantas que utilizan gran cantidad de desechos, incluidos aceites de corte u otros contaminantes clorados y con control de procesos limitados, se utilizarán los factores de la clase 1. La clase 2 se deberá aplicar 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 amplias medidas para el 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 debería apuntar para un nuevo examen en el futuro.

6.2.1.1 Liberaciones al Aire

En ciertos países se han identificado a las plantas de sinterización de mineral de hierro como una fuente importante de liberación de PCDD/PCDF al aire. Se espera que las más elevadas emisiones procedan de plantas que no han hecho amplios intentos 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. El factor de emisión para esta clase - 20 µg de EQT/t - proviene de dos estudios de inventarios en los que se utilizaba un volumen de gas de 2.000 Nm³ por tonelada de sinterizado y una concentración de 10 ng de EQT/Nm³ (HMIP 1995, SCEP 1994). Se debería mencionar que en una planta en Alemania se determinó un factor de emisión de casi 100 µg de EQT/t de sinterizado; las correspondientes emisiones en chimenea presentaban 43 ng de EQT/m³ (LUA 1997).

Para las plantas que utilizan pocos desechos, el factor de emisión de la clase 2 es 5 µg de EQT/t basado en estudios realizados en Bélgica, Suecia, Países Bajos y Alemania.

Para las plantas de la más alta tecnología, donde se ha tratado el problema de las emisiones de PCDD/PCDF y donde se ha realizado cambios importantes en la tecnología y en la operación de la planta, se debería seleccionar la emisión de la clase 3. Las mejoras implementadas pueden incluir medidas destinadas a reducir los flujos de gas y a la adopción de depuradores de etapas múltiples (multi-etapas) con tratamiento de efluentes. Un factor de emisión de

0,3 µg de EQT/t, está basado en un flujo de gas reducido de 1.500 Nm³/t y una concentración de 0,2 ng de EQT/Nm³ (Smit *et al.* 1999, HMIP 1995).

En ciertos casos se han hallado concentraciones mucho más elevadas de PCDD/PCDF, posiblemente ligadas al uso de aceites de corte clorados, en estos casos se requieren la generación de datos medidos.

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

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 espera que el residuo principal se encuentre en la forma de polvo colectado en los dispositivos de control del polvo. Este puede ser en parte reciclado hacia el proceso o se puede sacar del proceso como desecho. Datos disponibles del Reino Unido se refieren a las cantidades de PCDD/PCDF en el polvo tomado de los PES de una planta de sinterización, estos datos dan un rango desde 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 estaban en el rango 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. Se debería tener en cuenta que se han sugerido hasta 2 kg de polvo por tonelada de sinterizado (BREF 2000c).

6.2.2 Producción de Cok

El cok se produce por carbonización (calentamiento al vacío) 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 consumidor 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 extensivamente estudiada. Los factores de emisión suministrados están basados en una planta que usaba postcombustión y un control del polvo en el tratamiento de los gases de salida del proceso. Si se usa una tecnología considerablemente distinta a ésta, las emisiones pueden ser bastante diferentes. Deben señalarse las diferencias en la tecnología.

No se dispone de datos que permitan evaluar las liberaciones de la producción del carbón vegetal a partir de la madera. Este proceso puede desarrollarse en numerosas unidades pequeñas que, en su conjunto, pueden representar una producción considerable. Desafortunadamente, no hay datos medidos disponibles. Para estimaciones iniciales de emisiones, deberían aplicarse los factores de emisión dados en esta sección para plantas simples (clase 1).

En el Cuadro 23 se muestran tres clases.

Cuadro 23: Factores de emisión para la producción de cok

Clasificación	Factores de emisión– µg de EQT/t de cok producido				
	Aire	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

¹Cuando 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 al Aire

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

El factor de emisión de la clase 1 se usa como una estimación de las liberaciones en los casos en que no hay ningún tipo de depuración del gas. El factor de emisión de clase 2 se aplicará a las liberaciones de plantas que utilizan tecnologías como los equipos de postcombustión y de 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 provenientes 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 (que se supone de un 90 % de eficacia).

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 provenir 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, con materias primas como minerales, pellas, chatarra, carbón, cal, piedra caliza (en ciertos casos también aceites pesados y plásticos), aditivos y auxiliares. Además esta industria consume mucha energía. Más de la mitad de la masa de entrada se transforma en salidas, en forma de gases de salida, de desechos sólidos o productos secundarios. Las emisiones más destacadas son las que se producen al aire, con las emisiones a partir de plantas de sinterización dominan el total de las emisiones en lo que respecta a la mayor parte de los contaminantes (véase la sección 6.2.1).

Esta sección tratará acerca de todos los procesos utilizados para la fabricación de hierro y acero. Cuatro vías se utilizan corrientemente para la producción de acero: 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 (BREF 2000c). A efectos del Instrumental, se va a establecer una clasificación por categorías según el tipo de material de entrada: en este sentido los altos hornos (AH) se usan sólo para la producción de arrabio 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 usa en hornos de arco eléctrico (HAE), hornos de oxígeno básico (HBO) y fundiciones donde se encuentran hornos de cubilote (HC) y hornos de inducción (HI).

Para la fusión de metales en las fundiciones/funderías se utilizan normalmente cinco tipos de hornos: de cubilote, de arco eléctrico, de inducción, reverberatorios y de crisol. Los dos últimos tipos son más comunes 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 fundiciones trabajan con mas 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, el alto horno (AH) es la principal unidad operacional, en la que se realiza la reducción primaria de los minerales de óxido de hierro dando el hierro líquido (el “metal caliente”). Los altos hornos modernos, de alto desempeño 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. El sinter se produce generalmente en fábricas de hierro a partir de mezclas prediseñadas de finos del mineral, residuos y aditivos. Hasta hoy, el alto horno sigue siendo, por lejos, el proceso más importante para la producción de arrabio.

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 (= 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 mismo, consiste en un horno de gran altura, de tipo de columna o eje vertical, con una chimenea vertical sobre una solera en forma de crisol. El alto horno es un sistema cerrado en el que desde el extremo superior 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 en trozos, 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 arrabio utilizando la reacción del cok⁶ el del 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 a (900-1.350 °C) (“tiro de aire caliente”⁷). En el fondo del horno se recogen el hierro líquido y la escoria desde donde son colados.

Aunque recircula gran cantidad de agua de refrigeración, apenas hay efluentes acuosos abiertos; una importante ruta 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 de dos etapas que retienen las partículas finas.

La escoria del alto horno se granula, se peletiza o se vacía en pozos de escoria. Los gránulos o pellas de escoria pueden venderse 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 (arrabio) 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 del arrabio en la cuchara aguas arriba y la metalurgia del acero en cuchara aguas abajo se aplican en general para producir acero de la calidad requerida. Al salir del

⁶ de la planta de horno de cok. Esta es la razón por la cual se ubican a los hornos de cok en este sector de 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 la corriente de aire. Para cada alto horno se necesitan tres o cuatro calentadores

horno básico al oxígeno, el acero líquido se vacía y 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 arrabio producido.

El horno básico al oxígeno (HBO) se popularizó cuando en los años cincuenta la disposición de oxígeno llegó a ser costo-efectiva en escala industrial para reemplazar al aire. Siempre un HBO va seguido por un horno de cuchara y una estación de agitación con argón u otro agregado para el tratamiento secundario, ya que el acero del HBO contiene demasiado oxígeno para ser moldeado directamente (BSE 2002). Además, para introducir el oxígeno en el convertidor se desarrolló una tecnología de lanza refrigerada con agua. El proceso del HBO 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 HBO funciona de manera semicontinua. Un ciclo completo consiste de las siguientes fases: carga de chatarra y arrabio fundido, soplado de oxígeno, muestreo y registro de temperaturas, y colada. En una acería moderna se producen unas 300 toneladas de acero en un ciclo de 30-40 minutos.

Las fundiciones utilizan normalmente chatarra como fuente primaria de metal; en los casos en los que no se dispone de chatarra, se pueden utilizar lingotes de hierro. Para extraer impurezas, a la carga del horno o al metal fundido se agrega un flujo, constituido con frecuencia por cloro o sales fluoradas. Normalmente, el HBO funciona con un 20 % de chatarra (mientras que un HAE 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. Es un proceso continuo y por una apertura lateral se introducen alternativamente cok y el metal de alimentación, de manera que el cok se quema y funde el metal. En general, los gases de salida pasan a través de un sistema de postcombustión y se tratan con un depurador. Los cubilotes de aire caliente utilizan aire precalentado (500-600 °C), mientras que para los de cubilotes de aire frío no se precalienta el aire. Los datos sobre PCDD/PCDF 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 de fundición o el acero. 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 al final de su vida útil). También se utiliza cada vez más como materia de alimentación el hierro directamente reducido (HDR). En el proceso eléctrico de fabricación del acero, el calor se obtiene de un horno eléctrico, o de inducción o de plasma o a partir del oxígeno en plantas energía-eficientes. De igual forma que en el HBO, 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 provenientes 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) normalmente tienen capacidades entre 60 y 80 t (rango: 25-400 t) y los períodos entre coladas son desde 35 minutos a dos horas. Los hornos de arco eléctrico se operan como un proceso en lotes. Funden la carga entre 1600°C y 1670 °C (BSE 2002). Se emiten contaminantes gaseosos que pueden salir a través de un sistema de ductos. Además, puede haber emisiones fugitivas que pueden constituir una gran parte de las emisiones totales.

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, todos ellos se basan en la formación de un fuerte campo magnético mediante el paso de una corriente eléctrica a través de bobinas, 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 de fabricación o en plantas de sinterización, o se remiten a la industria de metales no ferrosos ya que con frecuencia contienen metales no ferrosos recuperables.

Los hornos de recalentamiento, que forman parte de la producción de hierro y acero primario y secundario, pueden ser importantes en el ámbito nacional ya que pueden 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 24.

Cuadro 24: Factores de emisión de la industria del acero y de las fundiciones/funderías de hierro

Clasificación	Factores de emisión – µg de EQT/t de AL				
	Aire	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 HBO	0,1	ND	NA	NA	1,5
4. Altos hornos con CCA	0,01	ND	ND	ND	ND
Fundiciones/Funderías de Hierro					
1. Cubilote de aire frío o tambor rotatorio y sin depuración del 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 (fundición)	0,03	NA	NA	NA	0,5

6.2.3.1 Liberaciones al Aire

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, una importante fracción de los gases y de los PCDD/PCDF pueden estar presentes en las emisiones fugitivas, más que en los gases de chimenea. Las emisiones parecen aumentar en gran medida con los materiales de alimentación a base de chatarras mixtas de mala calidad, en particular si se alimenta con los residuos procedentes del trabajado del metal, los mismos conteniendo aceites de corte. El precalentamiento de la chatarra, para mejorar la eficiencia energética, 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 de altos hornos con buenos sistemas de CCA.

Durante la inyección o soplado de oxígeno, en el HBO se libera gas de convertidor que contiene pequeñas cantidades de PCDD/PCDF. En Europa, las plantas de fabricación de acero que utilizan oxígeno generalmente presentan factores de emisión considerablemente

⁸ Basándose en los datos Europeos se ha utilizado un factor de conversión de 940kg de arrabio/t de AL

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 hierro virgen y chatarra relativamente limpia, 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 y 9 µg EQT-I/t de AL. Para el Instrumental se 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 relativamente deficientes 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 (excluyendo 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 rápido con agua) pueden alcanzarse emisiones inferiores a 0,1 ng de EQT/Nm³. 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/Nm³ (LAI 1997); a esas plantas se les deberán aplicar factores de emisión de clase 3.

Apenas existen datos disponibles con respecto a las fundiciones: 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 al aire, de manera que deberá utilizarse un factor de emisión de 0,03 µg de EQT/t de producto.

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

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) y cuando 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 enfriamiento 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 registrará la información.

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 en los sistemas de tratamiento de los gases de salida. Otros polvos depositados provenientes 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 HBO, por cada tonelada de AL se producen 12-27 kg de polvo y escorias que proceden del tratamiento de los gases del HBO. La escoria de convertidor es 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 con alto nivel de aleación y para los inoxidable.

Sólo se puede dar un factor de emisión medio de PCDD/PCDF en residuos para los HAE: 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 presupone que se usa un equipo similar para la depuración de los gases (filtros de tela); las liberaciones pueden ser diferentes con otros sistemas. Este factor se utiliza para plantas promedio y escasamente controladas. Para las mejores plantas se usa un factor de emisión menor 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 procesos de reciclado).

A partir de las fundiciones, los 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 24. Se pueden generar escorias de la misma forma que las tecnologías de vaciado en 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 (Cu) es el metal más eficiente para catalizar la formación de PCDD/PCDF.

Cuando se analiza el sector de producción de cobre en cuanto a la liberación de PCDD/PCDF, es importante diferenciar entre producción primaria y secundaria

Cobre primario

El cobre primario puede ser producido por dos tecnologías diferentes dependiendo del tipo de mineral a tratar, ya sean estos óxidos o sulfuros y, puede ser producido a partir de concentrados primarios y otros materiales, ya sea por la vía pirometalúrgica o por la vía hidrometalúrgica (BREF 2001, CONAMA 2003)

Los métodos hidrometalúrgicos se aplican para tratar minerales oxidados, es decir, lixiviación, extracción por solvente, y electro-obtención (obtención electrolítica). Todos estos procesos se operan a temperaturas por debajo de 50°C. No se espera que ocurra formación de PCDD/PCDF.

Normalmente los minerales en forma de sulfuro son tratados por la vía pirometalúrgica. Los minerales sulfídicos son tratados primero en una planta de concentración, operada a temperatura ambiente, y luego los concentrados se refinan pirometalúrgicamente en fundiciones de cobre primario. Los concentrados a ser fundidos consisten básicamente de, sulfuros de hierro y cobre, estos son de bajo contenido en cloro (en el orden de las partes por millón). Las etapas involucradas son: tostación, fundición, conversión, refinación y electrorefinación. Los procesos de fundición se llevan a cabo en una atmósfera oxidante a temperaturas entre 1200 °C y 1300 °C.

Hay dos procesos de **fundición básicos** en uso: **baño de fundición**, donde el proceso de fundición usa enriquecimiento en oxígeno para producir una operación (casi) autotérmica y **fundición "flash"** donde generalmente ocurre un enriquecimiento en oxígeno en menor grado.

Los hornos de fundición en baño incluyen: reverberatorio, eléctrico, SIA Smelt, Noranda, Mitsubishi, Teniente, Bayin, Vanyucov. Todos los procesos se basan en la torrefacción y el proceso de fundición tiene lugar en un baño de metal fundido con separación de mata y escoria y con varias formas de colada.

La fundición flash se lleva a cabo ya sea en fundidores flash Inco u Outokumpu o en un horno ciclón (Contop). La fundición flash se basa en la torrefacción y la fundición del concentrado seco en partículas.

Se usan dos tipos de procesos de **convertidor**: el proceso por lotes convencional (los más comunes, por ejemplo son: Convertidor Pierce-Smith, convertidor tipo Hoboken) y el proceso de conversión continua (ejemplo: horno flash Kennecott/Outokumpu, horno Mitsubishi y convertidor Noranda). Los "Top Blown Rotary Converters" han sido usados en el pasado para la conversión en lote de material de cobre primario a cobre de ampolla pero ya no son muy comunes.

Los pasos de purificación que se aplican al metal crudo (también denominado cobre de ampolla) después de la etapa de conversión, incluye la adición de aire, y luego un reductor para reducir el oxígeno presente. Comúnmente se usan la refinación a fuego y la refinación electrolítica.

Cobre secundario

El cobre secundario se produce por procesos pirometalúrgicos y se obtiene de la chatarra u otros residuos que contienen cobre, tales como escorias y cenizas. Dado que el cobre usado puede ser reciclado sin pérdida de calidad, la producción de cobre secundario es una actividad importante. Una visión general de las materias primas secundarias para la producción de cobre se pueden encontrar en el documento de referencia MTD de la UE (BREF) acerca de la producción de metales no ferrosos (BREF 2001). Como los materiales de alimentación secundaria pueden contener materia orgánica, también se aplican métodos de desengrasado y de eliminación del recubrimiento, para minimizar la formación de PCDD/PCDF en las etapas subsiguientes de la producción de cobre. Las etapas usadas para la producción de cobre secundario generalmente son similares a las de la producción de cobre primario, pero las materias primas generalmente están en forma oxidada o metálica y por lo tanto, la fusión de los materiales secundarios usa condiciones reductoras.

Algunas fundiciones de cobre primario están integradas con instalaciones de fundición secundaria o producción de plomo o polvo de óxido de zinc a partir de concentrados mezclados, *etc.* (BREF 2001).

El cobre refinado se produce, a partir de materias primas primarias y secundarias, en las refineries de cobre; su producto es cátodo de cobre. Este se funde, se alea, y posteriormente se procesa para producir, barras o rodillos, perfiles, alambres, planchas o chapas, flejes, tubos, *etc.* Esta etapa puede estar integrada con la refinación pero frecuentemente se lleva a cabo en otro lugar.

En esta industria los hornos se usan para varios propósitos, tales como torrefacción, o calcinado de materias primas, fusión y refinado de metales y para fundición de minerales y concentrados. Los hornos que se usan comúnmente para la producción de cobre dependen del tipo de materia prima, y las etapas del proceso incluyen (BREF 2001):

Hornos para torrefacción, calcinación, *etc.*: Hornos rotatorios;

Hornos para Fundición: Horno de fundición "flash" para cobre, hornos de fundición en baño, hornos reverberatorios [(a) para fundición o calcinación o concentración, (b) para fusión o refinación], altos hornos, hornos eléctricos, hornos de fundición de ciclón;

Los convertidores (para convertir óxido de cobre a cobre): Hornos rotatorios o convertidores;

Hornos de Refinación y Fusión: Hornos de Inducción, Hornos de columna/eje vertical, hornos rotatorios.

Las plantas modernas tienen depuración de gases, usando depuradores húmedos y precipitadores electrostáticos húmedos para limpieza de los gases de proceso que luego son sometidos a recuperación del azufre en una planta de ácido sulfúrico (BREF 2001).

Hasta ahora, solo existen pocos datos sobre liberaciones de PCDD/PCDF de plantas de cobre. La mayoría de la información procede de plantas de cobre secundario, donde ocasionalmente

se han encontrado emisiones de PCDD/PCDF altas en los gases de chimenea. En las plantas de producción de cobre primario, la fundición de metal básico, las PCDD/PCDF parecen ser muy bajas.

Los factores emisión para la subcategoría de la producción del cobre se encuentran en el Cuadro 25.

Cuadro 25: Factores de emisión para la industria del cobre

Clasificación	Factores de emisión – μg de EQT/t de cobre				
	Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos
1. Cu Sec. – tecnología básica	800	ND	NA	NA	630
2. Cu Sec. – bien controlada	50	ND	NA	NA	630
3. Cu Sec. – control óptimo de PCDD/PCDF	5	ND	NA	NA	300
4. Fundición y vaciado de Cu/aleaciones de Cu	0,03	ND	NA	NA	ND
5. Cu Primario incluyendo etapas térmicas	0,01	ND	NA	NA	ND

6.2.4.1 Liberaciones al Aire

Las emisiones al aire 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. La existencia de PCDD/PCDF esta asociada principalmente con la producción de cobre secundario.

Los siguientes datos proceden de instalaciones de cobre secundario. 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 que variaban en un amplio rango, desde 0,032 hasta 30 ng de EQT/ Nm^3 (LUA 1997).

Las instalaciones para la fusión y vaciado de cobre y sus aleaciones, como el latón, dieron emisiones entre 0,003 y 1,22 ng de EQT-I/ Nm^3 con una media geométrica de 0,11 ng de EQT/ Nm^3 (datos de Alemania, LUA 1997). En la compilación de plantas Europeas realizada por el IPPC Bureau se informaron emisiones de < 0,1ng EQT-I/ Nm^3 (BREF 2001). 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 del desempeño.

En los gases depurados de las plantas de ácido sulfúrico se han medido emisiones entre 0,01 y 0,001ng EQT/ Nm^3 (BREF 2001). La misma fuente informa -sin mayor especificación- que los procesos en el taller de fusión para la producción de semis (semi-manufacturas tales como lingotes moldeados de aleaciones, láminas, chapas, flejes,) dieron factores de emisión para los hornos eléctricos de <5 μg y para los hornos de columna/eje vertical de carga superior y los hornos rotatorios de <10 μg EQT/t, respectivamente.

Los factores de emisión de la clase 1 a la clase 3 se refieren a la fabricación de cobre secundario. El factor de emisión de la clase 1 se aplica al procesado térmico de materiales mezclados, donde los hornos están equipados con sencillos filtros de tela o con 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 utiliza carbón activado para el tratamiento de los gases de salida.

Aunque en la mayoría de los casos no se midieron PCDD/PCDF en los gases de salida de las instalaciones de cobre primario, la clase 4 está incluida en este instrumental, se ocupa de las emisiones de la producción de cobre primario. Las mediciones realizadas en Alemania para la producción de cobre primario en los hornos de fusión flash y en los convertidores de mata de cobre han dado emisiones entre 0,0001 y 0,007 ng de EQT/Nm³ con un estrechísimo margen de factores de emisión, entre 0,002 y 0,02 µg de EQT/t de cobre. El informe del Inventario de dioxinas de la UE de 1997 (LUA 1997) publica concentraciones de 0,005-0,015 ng EQT-I/m³ en los efluentes gaseosos de los hornos de torrefacción utilizados para la desulfurización del mineral. El volumen del gas residual era de 5.000 Nm³ por tonelada de cobre producido. Además, de una fundición de cobre primario en Suecia, que producía 2.000 Nm³/t de gases residuales se informó una concentración de 11 ng EQT-I/m³. De los resultados de las mediciones antes señalados, se dedujeron factores de emisión de 0,25 µg EQT-I/t (según resultados de Alemania) y 22 µg EQT-I/t (según resultados de Suecia). Finalmente se tomó un factor de emisión de 10 µg EQT-I/t para estimar las emisiones del inventario de Bélgica (LUA 1997). El factor de emisión de la clase 4 de 0.01µg EQT/t debe ser aplicado para la producción de cobre primario cuando se emplea este Instrumental.

Se necesita caracterizar mejor las plantas de producción de cobre primario (sin integración de otro reciclado de metales). Se espera que pronto se obtengan datos de mediciones de estas plantas, incluso a través de las encuestas en curso en Canadá.

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 aplicado.

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) sugieren que de la producción de 46.000 t de cobre se originan 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. Las concentraciones y las tasas de producción varían, pero hasta ahora la información es insuficiente como para realizar estimaciones más detalladas. 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 que se realizan en otros procesos.

6.2.5 Producción de Aluminio

El mineral de aluminio, más comúnmente bauxita, 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 abundantes 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 cree que los niveles son bajos, y el interés principal es el procesamiento térmico de los materiales de chatarra.

Basicamente 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 fundiciones/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 en 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 (donde el hexacloroetano o el cloro pueden ser utilizados) 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 los auxiliares oleosos de procesamiento (por ejemplo, suspensiones para el taladro) que se adhieren a la viruta. Este secado 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 desarrollado las clases de factores de emisión que se muestran en el Cuadro 26

Cuadro 26: Factores de emisión de la industria del aluminio

Clasificación	Factores de emisión – µg de EQT/t de aluminio				
	Aire	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, pre-tratamiento de la chatarra, buenos controles, filtros con inyección de cal	35	ND	NA	NA	400
3. Desechado de raspaduras/viruta	5	NA	NA	NA	NA
4. Procesamiento térmico de Al, pre-tratamiento de chatarra, buen control, filtros de tela con inyección de cal	3,5	NA	NA	NA	100
5. Control de PCDD/PCDF óptimo – sistemas de postcombustión, inyección de cal, filtros de tela y carbón activado	0,5	ND	NA	NA	100

El factor de clase 1 deberá ser usado para las plantas que no poseen ningún equipo de retención o que éste equipo sea muy simple, los factores de la clase 2 deberán ser usados en plantas que poseen sistemas de postcombustión y filtros de tela. La clase 4 deberá ser usada en instalaciones con controles de gran eficiencia consistentes en limpieza de chatarra, sistemas de postcombustión, filtros de tela con inyección de cal y de carbón activado.

6.2.5.1 Liberaciones al Aire

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

Las emisiones al aire varían ampliamente, ellas dependen de 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. La mayoría de la información es relativamente vieja. Actualmente, hay actividades industriales encaminadas a caracterizar mejor las emisiones de esta subcategoría.

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. Para 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

⁹ como agente desgasificante

ciclones o filtros básicos de tela, se deberá usar un factor de emisión de 150 µg de EQT/t del producto.

Para los sistemas mejor controlados que usan postcombustión, pretratamiento de la chatarra y limpieza de gas con filtros e inyección de cal se debería usar el factor de emisión para la clase 2, de 35 µg de EQT/t de producto (LUA 1997). El factor de emisión de la clase 4, de 3,5 µg EQT/t se toma a partir de medidas recientes en dos plantas europeas, y se aplica a plantas modernas bien controladas con tratamiento de chatarra, filtros de tela, e inyección de cal (EEA 2003).

El factor de emisión de clase 3, de 5 µg EQT/t es aplicable al desecado de raspaduras y virutas de Al en tambores rotatorios o en equipos similares (EEA 2003).

Los sistemas optimizados para reducir las emisiones que podían incluir, cuidadosa selección y pretratamiento de la chatarra; sistemas avanzados de tratamiento de gas con inclusión de postcombustión, adonde se liberaban gases con elevado contenido orgánico; filtros de tela acoplados con inyección de cal y de carbón activado, y sin el uso de hexacloroetano, mostraron bajas emisiones (SCEP 1994). Para estos sistemas, se usa 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 suficiente información para estimar factores de emisión. Se deberá tomar nota de todos los efluentes líquidos y registrar 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 más alta se espera que este asociada al polvo y a 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 escoria 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 registrado concentraciones de PCDD/PCDF entre 3 y 18.000 ng de EQT/kg (SCEP 1994, Bremmer *et al.* 1994). El polvo del filtro se produce aproximadamente en una proporción del 8 % sobre 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 una estimación inicial con respecto a las plantas de clase 1 y 2 se usa un solo factor; es evidente que las concentraciones y tasas 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 en forma de sulfuros 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 de plomo primario 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 de crisol, los hornos de columna/eje vertical, 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).

Los PCDD/PCDF fueron determinados a partir de un horno de fundición de plomo de segunda dentro del proyecto de Análisis y Muestreo de Dioxinas de Tailandia (UNEP 2001, Fiedler *et al.* 2002). La compañía opera dos hornos rotatorios para la recuperación de plomo. La capacidad de cada horno es de alrededor de 3,5-5 t de plomo por lote, y cada lote insume 2-3 horas. Cada línea tiene una cámara de post-combustión detrás del horno rotatorio, una torre de enfriamiento, un separador de ciclón, y un filtro de mangas. Para una de las líneas, la corriente del flujo de gases del horno de fundición se combina con otros gases de salida y grandes cantidades de aire de ventilación del área de trabajo, ej. campana de ventilación de la puerta de alimentación del horno, campana de la ventilación de las ollas de vaciado de escoria, ollas de refinería para vaciado del producto final, campanas de ventilación del procesamiento de chatarra cruda, horno de fusión y aglomeración de ceniza y la olla de vaciado de escoria fundida de ceniza. (Cuadro 27)

Cuadro 27: Factores de emisión para la industria del plomo

Clasificación	Factores de emisión – µg de EQT/t de plomo				
	Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos
1. Producción de plomo a partir de chatarra que contiene PVC	80	ND	NA	NA	ND
2. Producción de plomo a partir de chatarra libre de PVC/Cl ₂ , presencia de CCA	8	ND	NA	NA	ND
3. Producción de plomo a partir de chatarra libre de PVC/Cl ₂ en hornos altamente eficientes, con CCA incluyendo depuradores	0,5	ND	NA	NA	ND

6.2.6.1 Liberaciones al Aire

Se disponen de datos de pruebas sobre producción de plomo a partir de materiales de chatarra realizados en Alemania (SCEP 1994, LUA 1997), Suecia, Bélgica, y Países Bajos (LUA 1997), y en USA (US-EPA, 2000). En estos países, generalmente el PVC se separa de las baterías y 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 (US-EPA 2000).

En USA, se determinaron los siguientes factores de emisión para varios tipos de hornos de fundición de plomo de segunda (US-EPA 2000): Altos hornos = 0,63-8,81 μg EQT/t plomo, hornos reverberatorios/co-localizados = 0,05-0,41 μg EQT/t de plomo, y hornos rotatorios = 0,24-0,66 μg EQT/t de plomo. Las emisiones al aire eran de aproximadamente 10 veces más altas antes del ingreso a cualquier depurador/SCCA que en el aire purificado. El promedio de las emisiones era de 8,31 y 0,63 ng EQT/m³ para altos hornos antes y después del depurador, respectivamente; 0,41 y 0,05 ng EQT/m³ para hornos reverberatorios/co-localizados antes y después de los depuradores respectivamente; y 0,24 y 0,66 ng EQT/m³ para hornos rotatorios antes y después de los depuradores, respectivamente (US-EPA 2000).

Las medidas europeas dieron 5 μg EQT/t de plomo en altos hornos en Bélgica y en los Países Bajos para un horno de fundición de plomo, que procesaba chatarra contaminada pero que estaba equipado con inyección de cal y filtro de tela (se midieron 1,3 ng EQT/m³). Las medidas alemanas eran de 0,14-0,27 ng EQT/Nm³ en hornos rotatorios; 0,59 ng EQT/Nm³ en un horno de columna/eje vertical, 0,09-0,18 ng EQT/Nm³ en hornos rotatorios cortos y 0,14-0,27 ng EQT/Nm³ en hornos rotatorios. Un horno de fundición para plomo reciclado de baterías de auto usados, tenía emisiones entre 0,2 y 0,3 ng EQT/Nm³. El informe no da los factores de emisión promedio para la industria del plomo de segunda en Alemania (LUA 1997).

Las concentraciones medidas en un horno de fundición de plomo secundario en Thai (horno rotatorio con postcombustión, ciclón y filtro de mangas) estaban en el rango de 0,021 a 0,032 ng EQT-I/m³ con una media de 0,027 ng EQT-I/m³ para una línea con las corrientes de gas de salida combinadas y desde 0,06 a 0,11 ng EQT-I/m³ con una media de 0,089 ng EQT-I/m³ para una línea, que sólo operaba el horno rotatorio con el contenido de 19 % de O₂. La última concentración corresponde a un factor de emisión de 10 g EQT/t de plomo y por lo tanto se adecua muy bien a la clase 2 (FE = 8 μg EQT/t de plomo), tal cual se muestra en el Cuadro 27 (UNEP 2001, Fiedler *et al.* 2002).

Se usa un factor de emisión de 8 μg EQT/t de plomo producido para hornos provistos de filtros de tela, en los que se excluyen los separadores de batería de PVC. Cuando es posible que se encuentre PVC se usa un factor estimado de 80 μg de EQT/t, mientras que para los hornos de alta tecnología y sofisticados equipos de limpieza de gases de salida, incluyendo depuradores, se usa un factor de 0,5 μg de EQT/t (concentraciones alrededor y por debajo de 0,1 ng de EQT/m³).

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. Se deberá tomar nota de cualquier descarga líquida presente y se registrará 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*

No se espera PCDD/PCDF en el plomo refinado.

6.2.6.5 *Liberaciones con Residuos*

En los gases de salida del tratamiento de residuos estarán presentes 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 horno de eje vertical/columna. Toda utilización de residuos como materia prima para otros procesos puede resultar en una 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 superposiciones. El crudo de zinc puede producirse en combinación en 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 usarse varios materiales de chatarra, así como materias primas secundarias como el polvo resultante de la producción de aleaciones de cobre, en la fabricación de acero en arco eléctrico, por ejemplo, polvo del filtro y lodos, además residuos de fragmentación 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 de hasta 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 con 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 situado en el extremo de descarga. 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 fragmentador 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 fundentes 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 28)

Cuadro 28: Factores de emisión para la industria del zinc

Clasificación	Factores de emisión – µg de EQT/t de zinc				
	Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos
1. Horno sin ningún control de polvo	1.000	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 activado/tecnología DeDiox	5	ND	NA	NA	ND
4. Fusión del zinc	0,3	ND	NA	NA	NA

6.2.7.1 Liberaciones al Aire

Pueden producirse liberaciones al aire a partir de procesos de fusión y fundición 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 activado, puede usarse 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 la fuente de todos los efluentes del proceso.

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 suficiente información para estimar factores de emisión.

6.2.8 Producción de Latón y Bronce

El latón es un metal brillante, duro y amarillo que consiste en una aleación de cobre (55 %-90 %) y de zinc (10 %-45 %). Las propiedades de latón varían con la proporción de cobre y zinc y con la adición de pequeñas cantidades de otros elementos, tales como aluminio, plomo, estaño, o níquel. En general, el latón puede ser forjado o moldeado a martillo, enrollado, *etc.* El latón puede ser producido ya sea por re-fusión de la chatarra de latón o mediante la fusión de cantidades estequiométricas de cobre y zinc juntas. En principio, tanto en una como en otra el metal puede ser primario o secundario. El bronce es una aleación dura marrón amarillenta de cobre y estaño, fósforo, y a veces pequeñas cantidades de otros elementos. Los broncees son más duros que el cobre y los latones. El bronce, a menudo se funde y moldea para hacer estatuas. La mayoría de los broncees se producen por fusión del cobre con el agregado de las cantidades deseadas de estaño, zinc, y otras sustancias. Las propiedades de la aleación dependen de las proporciones de sus componentes.

El latón y el bronce se pueden producir en crisoles sencillos, relativamente pequeños, o en equipos más sofisticados, como hornos de inducción equipados de sistemas de CCA.

Datos medidos de PCDD/PCDF de la producción de bronce están disponibles a partir de un programa de muestreo en Tailandia (UNEP 2001, Fiedler *et al.* 2002). La planta consistía de un horno de fusión pequeño, de tipo de lotes, para la producción de latón primario y secundario. El latón del horno de fusión se moldeaba manualmente en barras, que luego eran enrolladas en bobinas destinadas para diferentes productos. El horno se calentaba con aproximadamente 30 L/h de aceite pesado con bajo contenido de azufre. El horno se operaba en forma discontinua a razón de 250 kg/lote durante el turno de un día. Los gases de salida del horno y de varias áreas circundantes se hacían pasar a través de un depurador húmedo y luego eran descargados a través del techo vía una chimenea de acero.

Para una primera estimación podrían aplicarse los factores de emisión elegidos para la producción de cobre y zinc. Sólo se diferencian dos clases de factores de emisión (Cuadro 29).

Cuadro 29: Factores de emisión para la industria del latón y del bronce.

Clasificación	Factores de emisión – μg de EQT/t de latón/bronce				
	Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos
1. Hornos de fusión sencillos	10	ND	NA	NA	ND
2. Equipos más sofisticados, como hornos de inducción con sistemas de CCA	0,1	ND	NA	NA	ND

6.2.8.1 Liberaciones al Aire

Las emisiones al aire pueden proceder del proceso de fusión y de la fundición de la chatarra mixta. Las concentraciones en chimenea para el horno de fusión de latón secundario en Tailandia estaban en el rango entre 0,13 y 0,21 ng EQT-I/Nm³ con un promedio de 0,15 ng EQT-I/Nm³ en las condiciones existentes de operación con el 19 % de O₂. Esta concentración corresponde a un factor de emisión de 11 μg EQT-I/t de latón (11 μg OMS-EQT/t).

El factor de emisión de la 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 la clase 2 se aplicará a otras plantas más elaboradas, 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 latón refinado son insignificantes.

6.2.8.5 Liberaciones con Residuos

Se puede esperar que en los residuos procedentes de la depuración de gases y de los lodos de depuradores húmedos, cuando existan, habrán de contener PCDD/PCDF. Las concentraciones de PCDD/PCDF en las muestras de lodos tomadas del clarificador del sistema de tratamiento del agua proveniente del depurador húmedo, tenían concentraciones bastante altas, de 8.683 y 8.567 ng EQT-I/kg m.s; en la mayoría de los países, los residuos de tales procesos o con tales concentraciones deberían ser clasificados como desechos peligrosos. La cantidad de lodos generada era baja, pero no pudo ser cuantificada. De acuerdo a lo esperado, la muestra de escoria del horno exhibía una concentración baja de 13,6 ng EQT-I/kg (PNUD 2001, Fiedler *et al.* 2002). Aun no se dispone de suficiente información para suministrar factores de emisión para residuos sólidos.

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. Las materias primas usadas son dolomita, magnesita, carnalita, salmueras o aguas de mar dependiendo del proceso. El magnesio puede ser recuperado o producido a partir de una variedad de materias primas secundarias con contenido de magnesio.

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.

En el proceso de reducción térmica se hace reaccionar dolomita calcinada con ferrosiliceo a veces conjuntamente con aluminio en un horno o recipiente de retorta. El proceso de calcinación tiene lugar por la descarbonización y deshidratación de la piedra caliza dolomita. Para el proceso de calcinación para la dolomita a menudo se usan hornos verticales o rotatorios.

Pruebas realizadas en una planta en Noruega, que producía magnesio electrolítico a partir de dolomita y salmuera como materias primas indicaban que el principal proceso causante de la formación de PCDD/PCDF era un horno que convertía 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 láminas de grafito (“cloridación”) o la electrólisis de $MgCl_2$ utilizando electrodos de grafito (Bramley 1998). Los hidrocarburos clorados y los PCDD/PCDF se emitían principalmente en el proceso de cloración que se usaba en la electrólisis del magnesio. Estos contaminantes necesitan ser removidos del gas de salida, que puede realizarse usando un sistema de limpieza húmedo. Esto consecuentemente da como resultado un agua de lavado contaminada que de por sí requiere un tratamiento de efluentes eficiente (BREF 2001).

Todo el PCDD/PCDF formado en el proceso de producción puede destruirse en las siguientes etapas o se puede liberar al aire, 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 estimado que cada año las liberaciones procedentes de la planta noruega ascienden a menos de 2 g de EQT-nórdico¹⁰ al aire y 1g 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 30).

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- Cl_5DF 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

Cuadro 30: Factores de emisión en la industria del magnesio

Clasificación	Factores de emisión – µg de EQT/t de magnesio				
	Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos
1. Producción mediante termotratamiento de MgO/C en Cl ₂ – sin tratamiento del efluente, tratamiento limitado del gas	250	9.000	NA	NA	0
2. Producción mediante termotratamiento de MgO/C en Cl ₂ – control completo de la contaminación	50	30	NA	NA	9.000
3. Procesos de reducción térmica	3	ND	NA	NA	NA

6.2.9.1 Liberaciones al Aire

Los factores de emisión al aire de la producción de magnesio usando procesos electrolíticos de cloración son bastante inciertos. Los PCDD/PCDF se forman y liberan a partir de un horno de cloración donde el óxido de magnesio se convierte en cloruro de magnesio. Los siguientes datos se informaron en el documento EU BREF: se encontraron 0,8 ng EQT/Nm³ en el tratamiento de los gases de salida de la cloración (FE = 12 µg EQT/t); para los gases de venteo de la cloración se determinó un factor de emisión de 28 µg EQT/t, y concentraciones en el recinto de la electrólisis y la cloración arrojaron un factor de emisión de 13 µg EQT/t. (BREF 2001).

En procesos electrolíticos 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 multi-etapas y con postcombustión, se estima un factor de emisión de 50 µg de EQT/t de producción.

Para las plantas que aplican procesos de reducción térmica, se usará un factor de emisión de 3 µg EQT/t (BREF 2001).

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, de la eficiencia de los sistemas de depuración para remover PCDD/PCDF de la corriente de gas y, sobre todo, del tratamiento que se aplique a los efluentes.

Hay información insuficiente para estimar 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 remoción 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 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 este valor es el que se

utiliza para estimar 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. Se informó un factor de emisión de 33 μg EQT/t de Mg metal de las plantas Europeas (BREF 2001).

6.2.9.3 *Liberaciones a la Tierra*

Pueden producirse liberaciones a tierra cuando parte del agua tratada se libera en una charca o laguna. 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 o laguna, lo que constituirá una liberación de residuos a tierra. Para estimar la liberación proveniente del proceso electrolítico, se puede asumir que se producen en la planta de tratamiento de efluentes 0,01 toneladas de lodos conteniendo PCDD/PCDF (BREF 2001).

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

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 completo del agua, se considera que la diferencia en cuanto a la liberación al agua será aproximadamente igual a la cantidad de PCDD/PCDF retenidos y, por consiguiente, presentes en los residuos. Como estimación inicial 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. Los procesos exactos utilizados y la propensión de formar PCDD/PCDF es compleja y no se ha estudiado en detalle.

Trabajos realizados en Noruega mostraron que un determinado proceso de refinado de níquel primario, que utiliza 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 altas emisiones a partir de la fundición de estaño (hasta 113 μg de EQT/t), pero no se ha dado la información suficiente como 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 las emisiones estarán influenciadas por el grado de contaminación de los materiales de partida y por la captura y tratamiento de los gases de salida. Se producirán emisiones más bajas cuando se utilicen materias primas limpias y se haga un completo 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 pasar por alto las fuentes de PCDD/PCDF potencialmente significativas tan sólo porque los datos disponibles son insuficientes para suministrar debidamente los factores de emisión (Cuadro 31). Por consiguiente, para dar una indicación inicial de posibles liberaciones, se sugiere que se proceda a un examen de los distintos procesos utilizados para la producción de metales no ferrosos. Se pueden producir liberaciones al aire, al agua y con residuos. Cuando se estén investigando los procesos de producción, se sugiere que se tome nota del proceso térmico, se registre el tipo de limpieza de los gases y se tome nota de los niveles de contaminación encontrados en los materiales de alimentación. También deberá tomarse nota del uso de Cl_2 o de hexacloroetano para el refinado y la presencia de compuestos clorados en las materias primas.

El cuestionario suministrado en el Instrumental asistirá en la identificación y el registro de estos parámetros y los criterios para el seguimiento.

Cuadro 31: Factores de emisión de procesos de metales no ferrosos

Clasificación	Factores de emisión – μg de EQT/t del producto				
	Aire	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 al Aire

Las emisiones serán elevadas a partir de instalaciones con control deficiente de los materiales de entrada, esto dará altas 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/m^3 (clase 2) a decenas de ng/m^3 (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 Fragmentadoras

Las fragmentadoras 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 fragmentadora (conocida asimismo como trituradora). Para las emisiones potenciales del termotratamiento, debe verse Sección 6.1.4. Con frecuencia los materiales de entrada serán viejos automóviles o bienes de consumo como refrigeradores, máquinas de lavar y cocinas.

Se disponen de pocos datos sobre emisiones a partir del propio proceso de fragmentación 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 32).

Cuadro 32: Factores de emisión para fragmentadoras

Clasificación	Factores de emisión – μg de EQT/t de acero				
	Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos
1. Plantas de fragmentación de metales	0,2	NA	NA	ND	ND

6.2.11.1 *Liberaciones al Aire*

Las emisiones pueden deberse a la existencia de altas temperaturas en la fragmentadora con la consiguiente liberación de gases al aire. Sobre la base de los datos facilitados por SCEP (1994), se desarrolló 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 para estimar los factores de emisión. Deberá registrarse 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 cierto nivel de contaminación, pero no es posible estimarla.

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 fragmentación (materiales no metálicos). Es posible que en estos últimos productos se hallen bajas concentraciones de PCDD/PCDF pero no se dispone de datos como 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 del mismo, quemándose el material aislante. En su forma más básica, este proceso se desarrolla a cielo abierto y consiste en quemar rezagos de cable con el fin de eliminar sus revestimientos. En muchos países ésta se considera una operación ilegal. En operaciones más sofisticadas se utiliza un horno con un sistema de limpieza de gases que consiste de cámaras de postcombustión y depuradores. 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 se lleven estadísticas. En general se puede identificar los lugares donde se ha desarrollado este proceso debido a los residuos que deja.

Se han desarrollado las siguientes clases de factores de emisión (Cuadro 33).

Cuadro 33: Factores de emisión para la recuperación térmica de cables

Clasificación	Factores de emisión – μg de EQT/t de material				
	Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos
1. Quema de cable a cielo abierto	5.000	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, <i>etc.</i> , dotado de postcombustión	3,3	ND	NA	ND	ND

Los factores de la clase 1 se aplican a la quema de cable a cielo abierto, los de la 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 la 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 al Aire

Al parecer no existen datos medidos acerca de emisiones a partir de quemas de cables a cielo abierto y son muy escasos los datos procedentes de incineradores legales de cable. Las más elevadas concentraciones comunicadas para recuperación térmica de cables fue de 254 ng de EQT/m³ (datos holandeses) y factores de emisión hasta de 500 μg de EQT/t fueron usadas en los inventarios Holanda y Austria (LUA 2000); las cifras más bajas fueron de 3,3 μg de EQT/t. El inventario de Suiza aplicó un factor de emisión de 2.340 μg EQT/t (LUA 2003). Para dar una estimación de las emisiones producidas por la quema a cielo abierto sin ningún control, se estima un factor de emisión de 5.000 μg de EQT/t (clase 1).

Se utilizarán factores de emisión de la clase 2 para la quema de cables en hornos con postcombustión y depuradores húmedos. Para emisiones al aire 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 consideren 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 cualquier tipo de tratamiento aplicado al efluente.

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 de la tierra 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 como para dar una estimación de las liberaciones.

6.3 Categoría principal 3 – Generación de Energía, Calefacción y Cocina

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 con combustibles fósiles (incluida la cocombustión hasta con un 1/3 de desechos), con biogás incluido el gas de vertedero y con biomasa. En el Cuadro 34 se señalan las cinco subcategorías que componen esta categoría principal de fuente. Los principales vectores de la liberación son el aire 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 34: Subcategorías de la categoría principal de fuentes 3 – Generación de Energía y Calefacción/Cocina

No.	Subcategorías de la Categoría principal	Atmós-fera	Agua	Tierra	Productos	Residuos
3	Generación de energía y calefacción/cocina	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 biomásas)	x				x
c	Vertederos controlados, combustión de biogás	x				x
d	Calefacción doméstica y cocina con biomasa (madera, otras biomásas)	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 estas plantas, en el caso 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 valor calórico del ingreso. Esta elección es fácilmente explicable y se basa en la enorme variedad de combustibles utilizados para la generación de energía. El rango de valores calóricos de los las distintas clases de carbón utilizados en diferentes partes del mundo varía en más de un orden de magnitud. En el Anexo, en la Sección 11.3, se exponen las tablas que permiten transformar los valores calóricos en masas.

Pertinente al Artículo 5, Anexo C

Pertinente a lo dispuesto en el Artículo 5, las fuentes en esta categoría se pueden clasificar de la siguiente forma:

Las categorías de fuentes de la Parte II, Anexo C, incluyen:

	Categoría de fuente	Sección en el Instrumental
(a)	Co-incineración de desechos	6.3 (en su totalidad)

Las categorías de fuentes de la Parte III, Anexo C, incluyen:

	Categoría de Fuente	Sección en el Instrumental
(c)	Fuentes de combustión residencial	6.3.4, 6.3.5
(d)	Unidades que queman combustible fósil y calderas industriales	Incluida dentro de procesos de producción industrial: 6.3.1, 6.3.5.
(e)	Instalaciones que queman madera y biomasa	6.3.2

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 de energía. En muchas naciones en desarrollo así como en países con economías 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 definen 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 de energía razonablemente bien manejados y mantenidos de forma que den el máximo de potencia. En todos los casos, el aire 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 sofisticados y eficaces sistemas para el control de la 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 del sistema. Las llamadas calderas de fondo seco utilizan cargadores o quemadores de carbón pulverizado montados en la pared opuesta, en todas las paredes o según una disposición 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 de pulverizado 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 se 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 aporta 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 fuel oil 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 fuel oil 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, queman limpio y dejan poca ceniza o no la dejan. Sólo si conjuntamente se queman desechos líquidos o lodos pueden formarse concentraciones más elevadas de PCDD/PCDF.

Al igual que en todos los procesos de combustión, usualmente se forman PCDD/PCDF después de concluido el proceso de combustión 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 el aire y los residuos, en particular las cenizas volantes. Pueden producirse liberaciones al agua en plantas donde están instalados depuradores húmedos y el agua no se recircula dentro de los mismos. En tales casos, se tienen que incluir las liberaciones al agua. Los lodos de tales depuradores, cuando se separan de los efluentes, se tratarán bajo la denominación "Residuos". 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 35

Cuadro 35: Factores de emisión para la generación de energía y la producción de calor/energía en la industria, basada en combustibles fósiles

	Factores de emisión - µg de EQT/TJ de Combustible Fósil Quemado		
	Aire	Agua	Residuo
1. Calderas de energía que queman conjuntamente combustible fósil / desechos	35	ND	ND
2. Calderas de energía que queman carbón	10	ND	14
3. Calderas de energía que queman aceite pesado	2,5	ND	ND
4. Calderas de energía que queman aceite ligero/ gas natural	0,5	ND	ND

Estos factores de emisión por defecto se basan en el supuesto de que los combustibles quemados liberan PCDD/PCDF asociados 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 al Aire*

El aire es el vector predominante en las liberaciones correspondientes 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 (rango: 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 (LUA 1997).

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 que corresponde a la mediana de 35 µg de EQT/TJ. El factor de emisión correspondiente a la clase 2 se obtuvo como promedio a partir de los valores comunicados, entre 230 (datos suizos de LUA 1997) y 7µg de EQT/TJ como mediana. 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. Sin embargo en los casos donde están instalados depuradores húmedos y se generan efluentes, debe destacarse este vector de liberación. Por el momento, no se pueden suministrar valores numéricos para estimar esta liberación.

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 más datos. Se puede asumir 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 una tasa de producción promedio de cenizas del 10 % y una concentración media de 4 ng de EQT/kg de ceniza, se derivó 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 de 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 obtengan en ellos la máxima potencia. En todos los casos, el aire y los residuos son los dos únicos vectores de liberación 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 sofisticados y con importantes instalaciones para el 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 de como se alimenta el 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 de la biomasa utilizada como combustible. 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 arena y/o ceniza) que se fluidiza inyectándole el aire de combustión primaria. La biomasa se fragmenta 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 filtro de manga; 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 manga.

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 36. Se pueden producir liberaciones al agua en plantas donde están

instalados depuradores húmedos y el agua no se recircula dentro de los mismos. En estos casos, las liberaciones al agua deben ser incluidas. Los lodos de tales depuradores, cuando se separen de los efluentes, se considerarán bajo la denominación “ Residuos.”

Cuadro 36: Factores de emisión para la generación de energía basada en la biomasa

	Factores de emisión - μg de EQT/TJ de biomasa quemada		
	Aire	Agua	Residuo
1. Calderas alimentadas por biomasa mezclada	500	ND	ND
2. Calderas alimentadas por madera limpia	50	ND	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 liberaciones 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 al Aire

Las liberaciones al aire son 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 estaban en el rango entre 17 y 54 μg de EQT/t. Los datos notificados de 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 estimó 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 Canadá 1999).

6.3.2.2 Liberaciones al Agua

No se espera ninguna liberación al agua. Sin embargo, en los casos donde se hallan instalados depuradores húmedos y se generen efluentes, este vector de liberación necesita ser destacado. Por el momento no se pueden suministrar valores numéricos para estimar esta liberación.

6.3.2.3 Liberaciones a la Tierra

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

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 detallados sobre las cantidades existentes. En un estudio realizado en Alemania se encontraron rangos de concentraciones típicas 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 Vertedero/Biogás

Tanto el gas de vertedero como el biogás se generan de la digestión anaeróbica de la materia orgánica. El gas resultante está constituido por una mezcla de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y amoníaco (NH₃), y 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 del gas de vertedero y el biogás se produce con llama, en motores a gas o turbinas 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 37.

Cuadro 37: Factores de emisión para la generación de energía por biogás/gas de vertederos, y para combustión con llama

	Factor de emisión - µg de EQT/TJ de gas quemado Aire
1. Calderas, motores/turbinas, combustión con llama	8

6.3.3.1 *Liberaciones al Aire*

Las liberaciones al aire son el único vector de las liberaciones producidas por la combustión de gas de vertederoén y biogás. El factor de emisión por defecto aplicable a la clase 1 se dedujo

a partir de valores medios notificados que iban desde 7,6 y 8,4 μg de EQT/TJ de biogás quemado para el estudio de Alemania y Reino Unido, respectivamente (LUA 1997, IFEU 1998, Environment Canadá 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 producen liberaciones a la tierra ya que la combustión de gas de vertedero y de biogás no deja 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 vertedero y de biogás no deja prácticamente ningún residuo.

6.3.4 Calefacción y Cocina Doméstica con 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 tipos de biomasa como combustible. 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 de liberación que se consideran son el aire, 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, hogares, hornillos o cocinas hasta las grandes, elaboradas y altamente sofisticadas estufas y hornos de leña. La combustión de biomasa para la calefacción doméstica y la cocina se realiza predominantemente en aparatos cuya eficiencia de combustión va aumentando a medida que en los distintos países va incrementándose el producto bruto interno y el grado de desarrollo.

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

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 el aire, la tierra y los residuos. Mediante los estudios realizados en Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, Países Bajos, Reino Unido, Suecia y Suiza se dedujeron dos grupos de factores de emisión, que se muestran en el Cuadro 38.

Cuadro 38: 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
	Aire	Tierra	
1. Estufas alimentadas por madera/biomasa contaminada	1.500	ND	2.000
2. Estufas alimentadas por madera virgen/ biomasa	100	ND	20

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 al Aire

Las liberaciones al aire son 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.

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

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: determinaron 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 (rangos normales de 3-5 %; cuando la combustión es buena la cantidad de ceniza será inferior, pero si es deficiente, puede ser muy superior).

6.3.5 Calefacción Doméstica y Cocina con Combustibles Fósiles

Los combustibles fósiles se usan extensivamente para la calefacción doméstica, sobre todo en países desarrollados y en economías en transición. Carbón, aceite (combustible ligero) y gas natural, son las principales fuentes de combustibles fósiles utilizados para la calefacción doméstica, los cuales constituyen las tres categorías que componen esta subcategoría. Para las tres categorías se supone que se utilizan hornos bien operados y mantenidos de manera de maximizar la energía térmica producida. En todos los casos, el aire constituye el vector de liberación bajo consideración. En el caso de la combustión de carbón también deben considerarse los residuos como un posible vector de liberación.

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

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, estos se basan

en un gran hogar para calentar el agua, la cual, después es circulada 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 o no dejan o 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 están localizadas en el interior de las paredes para proveer un acceso directo a varias habitaciones al mismo tiempo. Estas estufas consisten en hornos bastante pequeños que proveen un sistema de circulación del aire por el interior de la estufa y alrededor del hogar. Estos sistemas son normalmente 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 39.

Cuadro 39: Factores de emisión de la calefacción doméstica basada en combustibles fósiles

	Factores de emisión - μg de EQT/TJ de combustible fósil quemado	Concentraciones- ng de EQT/kg de ceniza
	Aire	Residuos
1. Estufas de carbón	70	5.000
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 al Aire

Las liberaciones al aire son el vector predominante de las liberaciones resultantes del consumo de combustibles fósiles. El factor de emisión por defecto para 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 austriaco 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 consistentes, 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 para 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 austriaco, 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 Canadá 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 como residuos 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

Esta sección resume los procesos de alta temperatura en la industria de los minerales. Las materias primas o combustibles que contienen cloruros pueden potencialmente causar la formación de PCDD/PCDF en varios pasos de los procesos, ej., durante la fase de enfriamiento de gases, en los precalentadores o en la zona de calentamiento. Debido a los largos tiempos de residencia en los hornos rotatorios y las altas temperaturas requeridas para la fabricación del producto, las emisiones de PCDD/PCDF son generalmente bajas en estos procesos. En este Instrumental, las subcategorías que se muestran en el Cuadro 40, serán incluidas en el inventario de dioxinas y furanos.

Cuadro 40: Subcategorías de la Categoría Principal 4 – Producción de Productos Minerales

No.	Subcategorías de la categoría 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

Pertinente al Artículo 5, Anexo C

Pertinente a lo dispuesto en el Artículo 5, las fuentes en esta categoría se pueden clasificar como sigue:

Las categorías de fuente de la Parte II, Anexo C, incluyen:

	Categoría de fuente	Sección en el Instrumental
(b)	Hornos cementeros que queman residuos peligrosos	6.4.1

6.4.1 Producción de Cemento

Las principales materias primas son la arcilla y la piedra caliza. La fabricación del cemento comienza por la calcinación, que es la descomposición del carbonato cálcico (CaCO_3) a unos 900 °C para dar 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 (CaSO_4) y otros aditivos para producir el cemento (BREF 2000d).

Existen cuatro rutas procesales principales para la fabricación del cemento: procesos secos, semisecos, semihúmedos y húmedos. En el proceso seco, las materias primas se muelen y

deshidratan formando una harina cruda que se introduce en un horno precalentador o precalcinator (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 muelen en agua para formar un barro bombeable que se introduce directamente al horno o primeramente pasa por un desecador de barros. 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 la harina cruda con el adecuado tamaño de partícula y las adecuadas propiedades químicas. La harina cruda se convierte en escoria (clinker) de cemento por piropcesado en hornos rotatorios (de 50 m de longitud y más de 5 m de diámetro). Estos consisten en un armazón de acero cilíndrico, revestido interiormente con un material refractario, los hornos se encuentran ligeramente inclinados hacia la horizontal y giran a razón de 1-3 rpm. Las materias primas se introducen por el extremo superior y gradualmente se van moviendo en forma descendente hacia la extremidad inferior donde, en este extremo, un quemador produce una contracorriente de calentamiento. Los hornos rotatorios utilizados en la fabricación de cemento difieren de los clásicos procesos de combustión ya que los materiales de entrada y los gases de salida se cruzan en contracorriente produciendo una minuciosa mezcla, altas temperaturas (>1.400 °C en el extremo más caliente, donde se forma la escoria), y largos tiempos de residencia de los gases (5-7 s). Estas condiciones harán que se destruyan todos los contaminantes orgánicos introducidos con el combustible en el quemador primario.

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 los gases calientes ascendentes procedentes del horno, se ponen en contacto con el flujo descendente de las materias primas. Algunos procesos en seco utilizan también una fase de precalcificación 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 (= clinker). A medida que la escoria caliente va saliendo de la extremidad inferior del horno, es rápidamente enfriada por el aire ambiente en un enfriador de escoria, por ejemplo: una rejilla móvil con ventiladores inferiores que lanzan una corriente de aire frío a través de la escoria (EMEP 1999).

Por último, la escoria ya enfriada se mezcla con yeso y, si se trata de cementos compuestos, con otros materiales como la escoria de altos hornos, luego es molida hasta obtener un polvo fino y homogéneo para producir el producto final, que se almacena en silos antes de su transporte a granel o su embolsado.

Los combustibles más frecuentemente utilizados son carbón, petróleo, gas o cok de petróleo. En muchos casos a los combustibles fósiles se les añaden diversos desechos como combustibles. Los desechos usados pueden ser: aceites de desecho, solventes, algunos desechos industriales y, en ciertos casos, también desechos peligrosos. La mayor parte de ellos se queman en el extremo caliente del horno, en el quemador. Con frecuencia se utilizan neumáticos que se pueden introducir en el horno a cierta distancia de su extremo caliente, enteros 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 queman desechos peligrosos (EPA 1998). Investigaciones más detallada han sugerido que, si la combustión es buena, el principal factor de control es la temperatura del dispositivo de retención de 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 la utilización de desechos como combustibles. Se piensa 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) de hornos de cemento europeos (sobre todo en Alemania y en Suiza) obtenidas de plantas que utilizaban el procesado en seco. Los gases de salida de los hornos secos no se pueden enfriar con 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.

Los bajos resultados encontrados en la mayoría de las plantas modernas Europeas se han confirmado en el programa de muestreo y análisis de dioxinas en Tailandia, donde se tomaron y analizaron muestras de PCDD/PCDF de dos hornos rotatorios en una moderna planta de cemento bien operada. Las muestras se tomaron de los dos hornos operando en condiciones normales (con carga completa y quemando con una mezcla de lignito y cok de petróleo como combustibles primario y secundario) y co-incinerando lo siguiente, (a) neumáticos usados y (b) desechos industriales que incluyen desechos de aceites (UNEP 2001, Fiedler *et al.* 2002).

En general, los hornos tienen un dispositivo que reduce las emisiones de partículas y que las captura; éstas pueden ser valorizables como producto cemento. El sistema de control de la contaminación puede consistir en un simple colector de polvo (ciclón), precipitadores electrostáticos 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 41).

Cuadro 41: Factores de emisión de la producción de cemento

Clasificación	Factores de emisión – µg de EQT/t de cemento				
	Aire	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)	0,05	ND	NA	ND	0,003

6.4.1.1 Liberaciones al Aire

Las emisiones al aire expresadas como cantidades de PCDD/PCDF producidas por 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 m³/t frente a 2.500m³/t, 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).

Se encontraron concentraciones muy bajas de PCDD/PCDF en la campaña de muestreo en una planta de cemento que usa el proceso seco, en Tailandia. Durante la operación normal (lignito/cok de petróleo y carga completa), las emisiones en chimenea estaban todas por debajo de 0,02 ng EQT-I/Nm³ y tan baja como 0,0001ng EQT-I/Nm³; las medias eran de 0,0105 ng EQT-I/m³ y 0,0008 ng EQT-I/m³ para las condiciones de operación normal y 0,003 ng EQT-I/Nm³ y 0,0002 ng EQT-I/Nm³ para los ensayos llevados a cabo con combustibles secundarios sustitutos, respectivamente. Los factores de emisión resultantes estaban en una media de 0,02 y 0,001 µgEQT/t de escoria para la operación normal y 0,005 y 0,003µg EQT/t de escoria en el caso de cocombustion de combustibles alternativos/desechos. Por lo tanto, todos los resultados estuvieron muy por debajo del valor guía de 0,1ng EQT-I/Nm³. Los resultados demostraron que el agregado de neumáticos y/o desechos peligrosos líquidos no tenía efecto sobre los resultados de emisión, considerando que el proceso seco en horno de cemento empleado en la planta cementera corresponde a la tecnología más avanzada y la planta se encuentre bien gestionada (UNEP 2001, Fiedler *et al.*,2002).

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 del sistema de retención de 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 0,05 µg de EQT/t de producto.

Se deberá tomar nota para consideraciones posteriores, de los ejemplos que se encuentren en hornos de cemento donde las materias primas presenten concentraciones particularmente elevadas de materia orgánica, y donde las temperaturas en el colector de polvo sean altas. 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 ser esparcidos en tierra, y se ha comunicado que en ciertos casos se ha utilizado el polvo de los hornos de cemento para aumentar la alcalinidad y también como agregado de 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 muy elevadas temperaturas.

6.4.1.5 *Liberaciones con Residuos*

Debería mencionarse que los polvos que se colectan en los sistemas de control de contaminación atmosférica, normalmente precipitadores electrostáticos (PES) o ciclones, consisten principalmente de las materias primas que ingresan en el horno (al final del quemador secundario). El resto del polvo consiste de las emisiones del horno que han pasado la zona caliente. Normalmente, los polvos de los ciclones/PES se reintroducen en el horno.

El principal residuo a ser desechado es el polvo del horno de cemento, que queda retenido en los sistemas de reducción de la contaminación. Un rango de concentraciones de PCDD/PCDF se ha informado en el polvo de horno de cemento, y su tasa 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 (0,03 % de producción de clinker).

Las concentraciones de PCDD/PCDF en el polvo del horno de cemento son variables. No se dispone de suficientes datos como para poder estimar con exactitud los niveles de PCDD/PCDF producidos por todos los hornos. Se han comunicado un amplio rango 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). Estos resultados fueron fuertemente influenciados por el muy alto nivel existente en una muestra, con lo que se ha comunicado un rango 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 41 se proponen tres clases de factores de emisión.

6.4.2 Producción de Cal

La cal se utiliza en una amplia variedad de productos. La cal viva es óxido cálcico (CaO) producido por la descarbonatación de la piedra caliza (CaCO₃). La cal apagada es cal viva con cierto contenido de agua y está constituida principalmente por hidróxido de calcio (Ca(OH)₂)¹³. Los principales consumidores 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 usuario como tal, o se la hace reaccionar con agua en una planta hidratadora obteniéndose así la cal hidratada o apagada.

Para la obtención 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 con el proceso. La mayor parte de los hornos pueden funcionar con más de un combustible. El proceso de producción de la cal comprende dos fases (BREF 2000d):

El suministro de calor suficiente, por encima de 800 °C, para calentar la piedra caliza y causar su descarbonatación, y

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 columna vertical o son hornos rotatorios. La mayor parte de los hornos se caracterizan por el flujo en 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 (BREF 2000d).

Las materias primas o los combustibles que contienen cloruros pueden potencialmente causar la formación de PCDD/PCDF durante el proceso de combustión del horno de cal. Según los datos obtenidos en Europa en siete hornos, de los cuales cuatro eran rotatorios y tres de columna vertical, mostraron que las concentraciones de PCDD/PCDF eran inferiores a 0,1 ng de EQT/Nm³. Las mediciones realizadas en Alemania en dos hornos de columna vertical anulares que estaban todas por debajo de 0,05 ng de EQT-I/Nm³. 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 impactos locales (LUA 1997).

En Suecia se han medido altas concentraciones de PCDD/PCDF en tres hornos, dos rotatorios y uno de columna vertical. Las mediciones, que se realizaron entre 1989 y 1993, dieron concentraciones de 4,1 a 42 ng N-EQT/Nm³. Todas las mediciones con altos niveles de dioxina han podido ser explicados, ya sea por el contenido de las materias primas y/o combustibles utilizados o por unas condiciones de combustión inferiores a la óptima, lo que subraya la importancia que tiene el controlar las entradas al horno y el mantener un funcionamiento estable (BREF 2000d).

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

Se han establecido las siguientes clases con sus correspondientes factores de emisión (Cuadro 42):

Cuadro 42: Factores de emisión en la producción de cal

Clasificación	Factores de emisión – μg de EQT/t de cal producida				
	Aire	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 una combustión deficiente, con sencillos sistemas de limpieza de gas o sin éstos. El factor de clase 2 se utilizará cuando los hornos son muy eficientes en energía y están dotados de sistemas de limpieza de gas con filtros de tela.

6.4.2.1 Liberaciones al Aire

Se han medido emisiones de varios hornos alemanes (SCEP 1994). Un factor de emisión de $0,07 \mu\text{g}$ de EQT/t de cal producida se usará cuando los hornos de cal estén bien controlados y provistos de equipo de retención de polvo (sobre todo precipitador electrostático o filtro de tela).

Sin embargo, plantas individuales encontradas en Europa (3 hornos, 2 rotatorios y uno de columna vertical en Suecia entre los años 1989 y 1993) mostraron concentraciones medidas entre $4,1$ y 42 ng EQT-N/Nm^3 . Todas las medidas con altas emisiones de PCDD/PCDF fueron explicadas ya sea por el contenido de la materia prima y/o el tipo de combustible usado, o las condiciones de quemado por debajo de las óptimas. Esto indica la importancia que es controlar los ingresos al horno y el de mantener una operación estable del horno (BREF 2000d). Se han observado también emisiones considerablemente más elevadas en pruebas limitadas (LUA 1997), de manera que se aplicará un factor de emisión de $10 \mu\text{g}$ 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 registrará, identificando 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 de los niveles de PCDD/PCDF en ellos que permitan hacer una estimación de 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 los gases, este polvo se puede reutilizar en el proceso o puede tener valor como 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 de arcilla, se adicionan algunos materiales con los que se obtiene la porosidad y las demás características deseadas. En la producción industrial se utilizan habitualmente hornos tipo túnel en los que se alcanzan temperaturas de unos 1.000 °C. En estos sistemas se utilizan como combustibles petróleo o gas, y en algunos casos se pone atención a la limpieza del gas con remoción de fluoruros.

Se puede llevar a cabo un cocido de ladrillo más elemental con variados tipos de hornos y de combustibles diferentes. En algunos casos apenas se utilizan tecnologías de depuración de gas.

Se seleccionaron las siguientes clases de factores de emisión (Cuadro 43):

Cuadro 43: Factores de emisión en la producción de ladrillos

Clasificación	Factores de emisión – µg de EQT/t de ladrillos producidos				
	Aire	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 altos estándares de control de combustión y de eficiencia de energía.

6.4.3.1 *Liberaciones al Aire*

Las emisiones de los hornos de 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 mostrado emisiones al aire de 0,002 a 0,23 μg de EQT/t de 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 buenos controles, con temperaturas 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 se registrará 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 esta 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 una amplia variedad de otros materiales para alcanzar las propiedades deseadas como color, claridad y pureza. Pueden agregarse compuestos clorados y fluorados (SCEP 1994).

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

Se disponen de muy pocos estudios y los disponibles provienen de Alemania donde en general el control de la contaminación es muy bueno. 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 los controles de la contaminación aplicados puede dar lugar a emisiones mucho más elevadas.

Se seleccionaron las siguientes clases de factores de emisión (Cuadro 44):

Cuadro 44: Factores de emisión de la producción de vidrio

Clasificación	Factores de emisión – μg de EQT/t de producto				
	Aire	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 al Aire

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 sorción 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 pudo ser calculado 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 las condiciones de combustión y de los materiales de alimentación al 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 cuando 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 estimar un factor de emisión en 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 de vidrio sean muy bajas dadas las elevadas temperaturas del procesamiento.

6.4.4.5 Liberaciones con Residuos

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

6.4.5 Producción de Cerámica

No se dispone de información suficiente para poder considerar a la producción de cerámica como fuente de contaminación por PCDD/PCDF. Es probable que se liberen PCDD/PCDF al aire, ya que se trata de un proceso térmico. Se propone que como estimación se apliquen los factores de emisión antes desarrollados para 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 de polvo húmedos.

Se han establecido las siguientes clases de factores de emisión (Cuadro 45):

Cuadro 45: Factores de emisión en el mezclado del asfalto

Clasificación	Factores de emisión – µg de EQT/t de asfalto				
	Aire	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 se aplicarán 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 al Aire*

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 el uso de 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 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 asumiendo que el gas sin tratar contiene la misma cantidad que en el caso de los 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 (GLP). En este Instrumental, los factores de emisión se dan para la subcategoría como se muestra en el Cuadro 46, siendo los principios guía, el tipo de combustible y el tipo de motor de combustión. Hasta ahora, la ocurrencia de PCDD/PCDF no ha sido informada para aeronaves. Ningún incremento en las concentraciones o cambios en los patrones de PCDD/PCDF pudo ser detectado en un programa de biomonitorio en el aeropuerto internacional de Frankfurt con la exposición prolongada de la col rizada en diferentes ubicaciones, como a lo largo de la pista o cerca de las terminales. Consecuentemente, se supuso que la combustión de kerosene en motores de aeronaves no es una fuente de PCDD/PCDF y esta subcategoría no se considerará en este Instrumental (Fiedler *et al.* 2000, Buckley-Golder *et al.* 1999).

Cuadro 46: Subcategorías de la categoría principal 5 – Transporte

No.	Subcategorías de la Categoría Principal	Posibles vías de liberación				
		Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos
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)

Pertinente al Artículo 5, Anexo C

Pertinente a lo dispuesto en el Artículo 5, las fuentes en esta categoría se pueden clasificar como sigue:

Las categorías de fuentes de la Parte III, Anexo C, incluyen:

	Categoría de fuente	Sección en el Instrumental
(h)	Vehículos de motor, particularmente aquellos que queman gasolina con plomo	6.5 Especial énfasis en 6.5.1, 6.5.2

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 termodinámico inventado por Nicolaus Otto, que consiste en 4 tiempos, admisión, compresión, encendido y combustión, y escape. Estos cuatro tiempos se completan durante dos revoluciones 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 para la remoción de los NO_x y de los hidrocarburos no quemados, las emisiones de PCDD/PCDF son insignificantes. El único vector para la liberación es el aire. No están presentes todos los otros vectores de liberación. Por consiguiente, se han establecido factores de emisión por defecto para las siguientes categorías (Cuadro 47):

Cuadro 47: Factores de emisión de motores de 4 tiempos (por ejemplo: automóviles de turismo)

Clasificación	Factores de emisión – µg de EQT/t de combustible quemado				
	Aire	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 sin 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. Aquí, se consideró la condición de estado estacionario.

6.5.1.1 Liberaciones al Aire

El número de kilómetros en promedio 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 al aire.

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 combustión interna a gasolina utilizados hoy en día en barcos, esquís autopropulsados, velomotores, motocicletas, triciclos motorizados, cortadoras de césped, sierras de cadena y otros vehículos son motores de 2 tiempos. Estos motores siguen el mismo ciclo de combustión termodinámico que los de 4 tiempos, pero sólo consisten en 2 tiempos, al combinar los tiempos de escape y admisión, y los de compresión,

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 0,00074

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 menor. 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 liberación es el aire. No están presentes todos los otros vectores de liberación. Por consiguiente, se han establecido las categorías de factores de emisión por defecto que se muestran en el Cuadro 48.

Cuadro 48: Factores de emisión para los motores de 2 tiempos (por ejemplo, pequeños velomotores)

Clasificación	Factores de emisión – µg de EQT/t de combustible quemado				
	Aire	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. Aquí se consideró la condición de estado estacionario. Como el sistema de 2 tiempos se utiliza sobre todo en motores pequeños, casi nunca llevan convertidores catalíticos.

6.5.2.1 Liberaciones al Aire

El número de kilómetros promedio recorridos 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. Desafortunadamente no se dispone 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 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 hollín, debido a la combustión incompleta, en particular durante el arranque, el calentamiento y los cambios de marcha. El depósito de este hollín 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 el hollín liberado por los motores diesel. Hay solo una clase de factor de emisión para motores diesel (Cuadro 49).

Cuadro 49: Factores de emisión para los motores diesel (por ejemplo, camiones)

Clasificación	Factores de emisión – μg de EQT/t de combustible quemado				
	Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos
1. Motores diesel ¹⁵	0,1	NA	NA	NA	ND

Las emisiones pueden variar durante las distintas fases, como el arranque y el calentamiento del motor. Aquí es considerada la condición de estado estacionario.

6.5.3.1 Liberaciones al Aire

Hay pocos datos disponibles para sustentar una evaluación de emisión de PCDD/PCDF de los vehículos que utilizan combustible diesel. Hasta ahora sólo los autos de pasajeros y camiones han sido medidos; no hay datos para otros usos (*i.e.*, vehículos de construcción, vehículos de granja, equipo estacionario). En Estados Unidos hay dos estudios en caño de escape, a partir de los cuales el “Californian Air Resource Board” notificó un factor de emisión relativamente alto de 676 pg EQT-I/km; correspondiente a 3,2 μg EQT-I/t de diesel¹⁶ (CARB 1987); mientras que para un camión pesado ensayado, Gullet and Ryan(1997) determinaron un rango de los factores de emisión de 3,0 a 96,8 pg EQT- I/km (valor medio de 29,0 pg EQT-I/km); correspondiente a 0,014 y 0,453 μg EQT-I/t de diesel con una media de 0,14 μg EQT-I/t de diesel¹⁶.

Marklund *et al.* (1990), con un límite de detección de 100 pg EQT-I/L, no pudieron cuantificar emisiones de PCDD/PCDF cuando se realizaron ensayos en un camión. Schwin *et al.*(1991) y Hutzinger *et al.* (1992) informaron factores de emisión entre 32 y 81 pg EQT-I/L (o 6-15 pg EQT-I/km asumiendo un consumo de combustible de 5,5 km/L) para un motor de camión funcionando bajo varias condiciones simuladas de manejo. Hagenmaier (1994), con un límite de detección de 1pg/L de combustible consumido para congéneres individuales, informó la ausencia de emisiones en un autobús. Para automóviles alimentados a Diesel, Hagenmaier *et al.* (1990) informaron un factor de emisión de 24 pg EQT- I/L para un automóvil ensayado.

De lo arriba expuesto, se aplicará un factor de emisión para vehículos de combustibles diesel de 0,1 μg EQT/t de diesel. Si se emplean filtros para hollín eficientes, las emisiones resultantes del consumo de 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 estén equipados con filtros de

¹⁵ Si los datos de consumo se dan en litros (L), adviértase que un 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 0,00085

¹⁶ Asumiendo un consumo de 1L de Diesel para una distancia de 5,5 km recorrido

partículas, lo que reducirá las emisiones significativamente y resultará en emisiones comparables a aquellas 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. No se sabe en qué cantidad, por lo tanto se necesita mas investigación 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 cuasi-estacionarios. La disponibilidad de los factores de emisión (Cuadro 50) es muy limitada y por el momento no se puede hacer distinción con respecto a la composición de los combustibles, por ejemplo: contenido de cloro, tipo de metales catalíticos presentes, *etc.* Basado en datos muy limitados, fue determinado un solo factor por defecto al aire.

Los aceites de desecho son frecuentemente quemados en motores (estacionarios o en barcos); serán incluidos en esta subcategoría.

Cuadro 50: Factores de emisión para motores de aceite pesado (por ejemplo, barcos)

Clasificación	Factores de emisión – μg de EQT/t de combustible quemado				
	Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos
1. Todos los tipos	4	NA	NA	NA	ND

Las emisiones difieren en las distintas fases, como el arranque o el calentamiento del motor. Aquí, se considera la condición de estado estacionario.

6.5.4.1 Liberaciones al Aire

Los motores de aceite pesado emiten PCDD/PCDF al aire. Desafortunadamente, 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.

Están disponibles de Austria, datos medidos para el quemado de aceites de desecho reciclados, donde las emisiones de un pequeño incinerador dio concentraciones de 0,02 ng EQT/Nm³ (@11 % O₂) equivalente a un factor de emisión de 0,37 μg EQT/t de aceite de desecho quemado (LUA 1997). Datos alemanes provenientes de dos instalaciones de quemado pequeñas y un transbordador determinaron un mínimo de 0,1 ng EQT/m³ y un máximo de 0,3 ng EQT/m³ equivalente a un factor de emisión de 2 μg EQT/t y 6,5 μg EQT/t respectivamente. La media de estas determinaciones fue de 0,2 ng EQT/m³ (= 4,25 μg EQT/t) y la mediana fue 0,17 ng EQT/m³ (= 2,9 μg EQT/t) (LUA 1997). Basados en estos datos, se sugiere en este Instrumental, un factor de emisión de 4 μg EQT/t de aceite quemado.

6.5.4.2 *Liberaciones con Residuos*

Es probable que contengan PCDD/PCDF los residuos de los motores de aceite pesado, en particular el hollín emitido. 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

Los procesos de combustión incontrolados considerados en esta sección, son la quema de residuos de cosecha, árboles o arbustos, al aire libre donde no se usa ningún incinerador, estufa o caldera. Esta categoría también incluye la “evacuación” informal de desechos en barriles o al aire libre como también fuegos en vertederos, o incendios accidentales en edificios, vehículos, *etc.* En general, ninguno de estos procesos de combustión e incendios están controlados, dando como resultado condiciones de combustión pobres debido a los materiales combustibles deficientemente mezclados e inhomogéneos, a los precursores clorados, a la humedad y a los metales catalíticamente activos. Este Instrumental diferencia entre dos subcategorías mayoritarias (Cuadro 51).

Cuadro 51: Subcategorías de la Categoría Principal 6 – Procesos de combustión incontrolada.

No.	Subcategorías de la Categoría Principal	Posibles vías de liberación				
		Atmós-fera	Agua	Tierra	Produc-tos	Resi-duos
6	Procesos de combustión incontrolados	X				X
	a Quema de biomasa	X	(x)	X		(x)
	b Quema de desechos e incendios accidentales	X	(x)	X		(X)

Pertinente al Artículo 5, Anexo C

Pertinente a lo dispuesto en el Artículo 5, las fuentes en esta categoría se pueden clasificar como sigue:

Las categorías de fuente de la Parte III, Anexo C, incluyen:

Categoría de fuente	Sección en el Instrumental
(a) Quema a cielo abierto de residuos incluida la quema en vertederos controlados	6.6.2

6.6.1 Quema de Biomasa

Esta categoría comprende toda quema de biomasa que se produce a cielo abierto (i.e. queda excluida la combustión controlada en dispositivos como estufas, hornos e instalaciones de caldera). Esta subcategoría incluye los incendios forestales (deliberados y accidentales), como también la quema de praderas, ó residuos de la cosecha, como la paja, en el campo. La quema del campo post-cosecha, es una práctica común para la remoción de los residuos, para el control de malezas, y para la liberación de nutrientes para el próximo ciclo de cultivo.

Se establecieron las siguientes clases de procesos y sus correspondientes factores de emisión (Cuadro 52).

Cuadro 52: Factores de emisión para la quema de biomasa

Clasificación	Factores de emisión – µg de EQT/t de material quemado				
	Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos
Incendios forestales	5	ND	4	NA	NA
Incendios de praderas y brezos	5	ND	4	NA	NA
3. Quema de residuos agrícolas (en el campo), no impactados	0,5	ND	10	NA	NA
4. Quema de residuos agrícolas, (en el campo), impactados, condiciones deficientes	30	ND	10	NA	NA

Los factores de emisión se expresan por tonelada de material quemado. En esta subcategoría el factor de emisión se da para “Tierra” ya que debido a la falta de contención, las cenizas son dispuestas en tierra y normalmente no son colectadas para disposición posterior. Dentro de esta subcategoría, el paso más difícil puede ser estimar la cantidad de material quemado de cualquiera de esas clases.

Los textos dedicados a la agricultura, silvicultura y al manejo de la tierra pueden suministrar indicaciones sobre la cantidad de material que se espera esté implicado en un incendio, basándose en el área del territorio involucrado. 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 sugiere una cifra de 23 t/ha para los incendios forestales (EPA 1998). Según la experiencia del Sudeste Asiático, se puede asumir que a partir del arroz se genera un 25 % p/p de residuos de cosecha, (en otra palabras: 250 kg de paja de arroz se genera por tonelada de arroz (pulido) producido.)

Estos son algunos ejemplos ya que la vegetación de los bosques y de los brezales varían considerablemente dependiendo de la localización geográfica de un país. Filipinas suministró el dato de 43t/ha que se consumen en sus incendios forestales típicos. El grado con que la vegetación se quemará estará altamente influenciada por las condiciones climáticas.

Se reconoce que la vegetación varía entre regiones dependiendo de las especies, la geografía, y el clima. En consecuencia, de acuerdo a estas condiciones locales, la forma en que el fuego del bosque o de la biomasa se desarrolla, puede ser muy diferente de país a país. Dado que en la actualidad, no se dispone de datos medidos - por ejemplo incendios típicos en regiones tropicales y la influencia de su vegetación-, no se puede realizar ninguna distinción de acuerdo a las diferentes especies arbóreas o especies de cultivo en este Instrumental. Se necesitan realizar más experimentos de combustión de tales tipos de biomasa para generar mas datos.

La mejor fuente de información de dónde ocurren los incendios en un país, suele ser los departamentos de incendios (cuerpos de bomberos). Los departamentos e instituciones de

investigación para agricultura y bosques pueden ser las mejores fuentes para la estimación de la biomasa que crece en una dada región.

6.6.1.1 *Liberaciones al Aire*

No se han encontrado datos que den mediciones directas de PCDD/PCDF liberados en incendios forestales. Sólo se dispone de datos limitados en cuanto a la quema de madera en lugares abiertos (la mayor parte de las pruebas son relativas a estufas cerradas para madera). Es probable que los incendios forestales consuman muy diversos materiales, incluidas las 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), que fueron más elevados que los encontrados por los autores en publicaciones alemanas (0,7-1,2 μg de EQT/t). El trabajo Suizo informó un factor de emisión de 0,77 μg de EQT/t para una estufa de madera con la puerta abierta, simulando así una quema a cielo abierto (Schatowitz *et al.* 1994).

Mahnke y Krauss (1996) han presentado los resultados de pruebas realizadas en el humo desprendido de la quema a cielo abierto de las hojas 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 sugiere un factor de emisión de 5 μg de EQT/t, teniendo en consideración los ensayos de quema a cielo abierto de hojas en Japón (Ikeguchi *et al.*, 1999)

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. Esta sección es para estimar las emisiones procedentes de fuegos a cielo abierto, generalmente en el campo. Gullet *et al.* (2002) llevaron a cabo quemas de biomasa en instalaciones que simulan las quemas a cielo abierto y determinaron factores de emisión para la paja de trigo (con contenido de $\approx 0,8\%$ de Cl para la paja de primavera y $0,08\%$ para la paja de invierno), la paja de arroz (con contenido de $0,33\%$ de Cl), el rastrojo ($0,33\%$ Cl). Los factores de emisión de la paja de trigo estaban en el rango de $0,337$ a $0,602$ μg EQT/t de paja quemada y aquel para la paja de arroz estaba en $0,537$ μg de EQT/t de paja. Diferencias de diez órdenes en el contenido de cloro no afectaron los factores de emisión. Estas medidas de los factores de emisión eran mayores que los usados por la US-EPA para su re-evaluación de dioxinas (Dioxin Reassessment US-EPA 2000). Se determinaron factores de emisión mucho más altos en ensayos de quema a cielo abierto en Japón (Ikeguchi *et al.*, 1999), los cuales incluían ensayos sobre emisiones de hojas, fardos de paja y cáscaras de arroz. Estos factores de emisión fueron 4,6; 20,2 y 67,4 μg EQT/t respectivamente.

Es de suponer que estas emisiones variarán considerablemente según las condiciones en que se quemen los materiales, la naturaleza del cultivo o del residuo (por ejemplo, su composición), humedad, o la posible presencia de contaminantes (es concebible que los restos de agua salada o de plaguicida proveniente de un tratamiento previo podrían alterar las emisiones). De lo expuesto, la quema de biomasa se podrá dividir en dos clases, la clase 3

que asume que los residuos de cosecha relativamente limpios se queman bajo condiciones favorables, y la clase 4 que representa la quema en el campo de residuos de cosecha bajo condiciones menos favorables, tales como el uso previo de pesticidas que contienen precursores y catalizadores para la formación de PCDD/PCDF, como las deficientes condiciones de quemado (arder en rescoldo/quema sin llama en lugar de llama abierta), la alta humedad o el terreno húmedo. Para las condiciones favorables, se usa un factor de emisión promedio de 0,5 µg EQT/t, y para las malas condiciones, se usa un factor de emisión de 30 µg EQT/t como estimación inicial de liberación. Se necesitan llevar a cabo más experimentos para reflejar mejor la quema habitual de los residuos de cosecha en los países tropicales, tales como la caña de azúcar, cascarilla de arroz, *etc.*

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 cursos de agua. La entrada a cursos de agua puede ser altamente relevante.

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 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 trató 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 un amplio rango de concentraciones. El contenido de ceniza de la 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.

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. Este instrumental 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 pilas a cielo abierto o quema de desechos en vertederos – tanto si se trata de incendios deliberados o accidentales, incendios de edificios, y de automóviles y vehículos similares. Se seleccionaron para su consideración las categorías que se muestran en el Cuadro 53.

Cuadro 53: Factores de emisión de la quema de desechos e incendios accidentales

Clasificación	Factores de emisión – μg de EQT/t de material quemado				
	Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos
1. Incendios de vertederos	1.000	ND	NA	NA	600
2. Incendios accidentales de viviendas, fábricas	400	ND	400	NA	400
3. Quema no controlada de desechos domésticos	300	ND	600	NA	600
4. Incendios accidentales de vehículos	94 (por vehículo)	ND	18	NA	18 (por vehículo)
5. Quema de madera a cielo abierto (construcción/demolición)	60	ND	ND	NA	10

Por quema no controlada de desechos domésticos se debería incluir todos los casos en los que se queman desechos sin ningún tipo de control de contaminación y, por consiguiente, todas las quemas en cielo abierto en montones/pilas, en barriles o quemas domésticas. La quema de desechos en vertederos se considera como una categoría aparte. Para esta práctica se puede deducir una estimación de la cantidad de PCDD/PCDF remanente en los residuos sólidos y se expresa en términos de PCDD/PCDF por unidad de desecho quemado.

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

Los incendios de sustancias químicas pueden provocar elevadísimas liberaciones cuando ciertos precursores químicos están involucrados, pero no hay suficiente información para evaluar liberaciones a partir de incendios de sustancias químicas como una categoría diferente y, por consiguiente, las liberaciones se han incluido en la subcategoría 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 datos limitados disponibles se dan los factores de emisión que se han presentado. Los vehículos involucrados

pueden variar considerablemente y puede esperarse que las emisiones también varíen. Las cifras que aquí se exponen constituyen sólo estimaciones iniciales.

En algunos países, una cantidad considerable de madera tanto usada en la construcción como la procedente de demolición es quemada para su eliminación. Se dan factores de emisión para estos casos.

6.6.2.1 *Liberaciones al Aire*

Las emisiones al aire resultantes de la quema de residuos domésticos o similares en condiciones incontroladas fueron medidas en los Estados Unidos, mediante pruebas en las que se quemaban desechos domésticos en un barril (EPA 1997, Gullett *et al.* 1999 Lemieux *et al.* 2003). Las emisiones al aire parecían variar considerablemente según las condiciones de la combustión (muy variables) y la composición de los desechos, desde menos de 9 µg de EQT-OMS/t de desechos hasta más de 6.655 µg de EQT-OMS/t. La repetibilidad mostró que las seis repeticiones de la quema del desecho tomado como línea de base bajo las mismas condiciones, daba factores de emisión entre 9 µg EQT-OMS/t y 148 µg de EQT-OMS/t (un factor de 16 entre experimentos, por los cuales se obtuvo casi dos veces el mismo factor de emisión más bajo y dos veces el mismo más alto). Se encontraron las más altas emisiones, 3.543 y 6.655 µg EQT-OMS/t, cuando se aumentaba el contenido de cloro orgánico (PVC; hasta 7,5 % en el desecho), o cuando estaban presentes altos contenidos de cobre -el Cu actúa como catalizador- encontrándose en este caso, 2.725 µg EQT-OMS/t. Por otro lado, las condiciones deficientes de combustión debido a la duplicación de la carga, al aumento de la humedad en el desecho a ser quemado, a la compactación del mismo previo a la quema, así como también a la presencia de alto contenido de cloro inorgánico (como CaCl₂), generaron altas emisiones de PCDD/PCDF (hasta 992 µg EQT-OMS/t). Una de las quemas experimentales con 0 % de PVC dio concentraciones más altas que uno de los dos experimentos con alto contenido de cobre. El valor medio de 25 experimentos dio 706 µg EQT-OMS/t y la mediana dio 148 µg EQT-OMS/t. Resulta interesante observar que la proporción de PCB tipo dioxina en el total EQT-OMS, era tan solo del 5 % en promedio. Para la quema a cielo abierto aquí se utiliza un valor de 300 µg de EQT/t para el amplio rango 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 deficientes condiciones de combustión y dado que se trata de mezclas de 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 que quedan como restos tras el incendio. Los factores de emisión que aquí se establecen son indicativos y es necesario estudiar más a fondo todos los tipos de incendio de manera que puedan mejorarse 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 al aire 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. Además se asumió que a esto se agrega el hollín depositado, con lo cual se produjeron 2.200 µg de EQT/t de PVC ó de 200 µg de EQT/t mezcla 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) mostraron un enorme rango 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 al aire y 83 µg de EQT/t en el hollín depositado en el lugar, mientras que para los incendios industriales las cifras correspondientes fueron de 500 µg de EQT/t al aire y de 500 µg de EQT/t en el hollín depositado localmente.

Dada la gran diversidad de los materiales considerados en los incendios accidentales y el amplio rango de los 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 al aire 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 vagón 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, 49,5 % 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 es por cada incidente y no por tonelada de material !).

Es relativamente frecuente ver que se recurre al fuego para eliminar desechos procedentes de la construcción y los de la demolición, quemándose sobre todo madera 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 disponible 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 resultantes del uso de agua para extinguir el incendio o debido a la lluvia que cae sobre el sitio del incendio y al arrastre del material a los cursos de agua.

Como estos procesos dependerán de las circunstancias locales, no se pueden dar factores de emisión, pero el tema puede ser importante.

6.6.2.3 *Liberaciones a la Tierra*

En muchos de los incendios considerados se producirán liberaciones a tierra ya que los residuos provenientes del 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*

Los residuos de todos los tipos de fuego considerados en esta sección son factibles de contener 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.

Un factor de emisión indicativo de 600 μg de EQT/t de material quemado es usado para la quema al aire libre de desechos domésticos, valor basado en los resultados de quemas en barriles realizadas en los Estados Unidos (Lemieux *et al.* 1997).

Para incendios accidentales se dispone de poca información acerca de los niveles de PCDD/PCDF en residuos. Un amplio rango de concentraciones han sido medidas pero con frecuencia la información es insuficiente 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, se utilizó un factor de emisión de 400 μg de EQT/t, dando las mismas cantidades de PCDD/PCDF en las emisiones al aire y en los residuos, basándose en un promedio de los incendios considerados.

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 como antes los mismos supuestos). Adviértase que este factor de emisión es por incidente y no por unidad de masa.

Para los fuegos que comprenden a la madera de construcción y demolición no se han encontrado factores de emisión. Para una estimación preliminar se sugiere un factor de emisión de 10 μg de EQT/t de madera quemada (tomado de trabajos realizados en el Reino Unido sobre combustión de la madera industrial, Dyke *et al.* 1997). Debe señalarse que si la madera ha sido tratada, si se han quemado materiales mezclados y si las condiciones son deficientes, 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

Esta sección 6.7 describe la posibilidad que tiene el sector de la producción de sustancias químicas y bienes de consumo de generar PCDD/PCDF, 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, esta sección da breves descripciones de los procesos que aquí interesan con miras a conseguir una comprensión general de las industrias. Así se entenderá mejor la relación que existe entre los procesos industriales y las consiguientes liberaciones, importantes o no, de dioxinas y furanos. Para más detalles será preciso consultar información y literatura mas especializada.

Como puede verse en el Cuadro 54, existen cinco subcategorías principales. Puede verse asimismo que las liberaciones de PCDD/PCDF pueden hacerse por diversas vías de las que resultará la contaminación del aire, del agua y de la tierra, o con los productos. Además, también los residuos pueden estar contaminados por dioxinas y furanos. Para todas las actividades listadas en este sector, las mayores emisiones no son al aire, sino a otros compartimentos.

Cuadro 54: Subcategorías de la Categoría Principal 7- Producción y uso de sustancias químicas y bienes de consumo.

7	Subcategorías de la Categoría Principal	Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos
a	Producción de pasta/pulpa 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	Producción textil		x		X	
e	Refinado del cuero		x		X	

Pertinente al Artículo 5, Anexo C

Pertinente a lo dispuesto en el Artículo 5, las fuentes en esta categoría se pueden clasificar como sigue:

Las categorías de fuentes de la Parte II, Anexo C, incluyen:

	Categoría de fuente	Sección en el Instrumental
(c)	Producción de pasta usando para el blanqueo cloro elemental o sustancias químicas que generan cloro elemental	6.7.1

Las categorías de fuentes de la Parte III, Anexo C, incluyen:

	Categoría de fuente	Sección en el Instrumental
(f)	Procesos de producción de sustancias químicas específicas que liberan contaminantes orgánicos persistentes formados no intencionalmente, especialmente la producción de clorofenoles y cloranilo	6.7.2
(j)	Teñido de cueros y textiles (con cloranilo) y acabado (con extracción alcalina)	6.7.4, 6.7.5

6.7.1 Producción de Pasta/Pulpa 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 (como 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 proveniente 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.

La fabricación de la pasta y del papel es compleja, consiste en numerosos procesos con diferentes etapas 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 cartón¹⁷ 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 al aire (de la quema de lignito y licor negro para producir energía);
- Emisiones al aire 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 a la tierra, incinerar o disponer en vertederos;
- Emisiones con productos (= pasta, papel), que pasan al mercado como productos.

¹⁷ El cartón tiene más de 0,3 mm de grosor

Fabricación de Pulpa

Durante el proceso de fabricación de pulpa, las fibras de celulosa se separan de la lignina de la madera, operación que se conoce como deslignificación. Se utilizan sobre todo maderas duras y blandas, pero también pueden utilizarse otros materiales de partida como cáscaras 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 separan unas de otras aplicando una energía mecánica a la matriz, por ejemplo, se presionan las trozas contra una muela rotatoria con la acción simultánea de agua o se desfibrizan los 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 (PQTM). Para obtener papeles de mejor calidad, la pulpa deberá deslignificarse o blanquearse. Para ello se emplean dos procesos:

(a) el proceso con sulfito

Se utiliza un licor ácido de cocción que se basa en una solución acuosa de dióxido de azufre (SO₂) y una base, como calcio¹⁸ sodio¹⁹, magnesio¹⁸ o amonio. La importancia de este proceso 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 proceso, basado en el uso de un licor de cocción alcalino, es el proceso de producción de pulpa 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 (Na₂S) 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 etapa de la 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, hipoclorito, dióxido de cloro, oxígeno, ozono y peróxido. Recientemente se ha lanzado al comercio como sustancia química blanqueante, el ácido peracético. El aumento de la sustitución por dióxido de cloro permite reducir la formación de sustancias aromáticas cloradas y elimina la formación de PCDD/PCDF. Para el blanqueo existen cuatro métodos fundamentales:

¹⁸ Más baratos, pero las sustancias químicas de cocción no pueden recuperarse (obsoleto en Europa).

¹⁹ Es el procedimiento más utilizado en Europa; se pueden recuperar las sustancias químicas

1. Blanqueo con cloro elemental.

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

2. Blanqueo libre de cloro elemental (BLC)

El blanqueo BLC es una secuencia de blanqueo, 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 elemental (gas cloro, Cl_2 , y también hipoclorito). El blanqueo libre de cloro elemental permite reducir los niveles de PCDD/PCDF. En octubre de 1998, el 54 % del mercado mundial estaba abastecido de pulpa con blanqueo libre de cloro elemental.

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 blanqueado químico, pues se basa en métodos de retención de lignito en lugar de remoción de lignito. 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 ditiosulfato ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$), 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, donde 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 rodillos calientes (calandrias o calandrias suaves) y se enrolla en lo que se denomina la bobina madre.

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 depuración exclusivamente mecánica (es decir sin ningún tipo de destintado), o bien mediante procesos de depuración mecánica y destintado. El papel a ser recuperado se disuelve en agua caliente en un "pulper", se separa de las 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 le suman las calderas alimentadas por combustibles fósiles o por desechos de 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 criterio común, y los datos que se informan para la pulpa se basan en toneladas de sustancia secada por el aire (tSA), que se refiere a una pasta desecada al 90 % o 900 kg de pasta absolutamente seca. En cuanto al papel, se toma como base el papel acabado con 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 se muestra en el Cuadro 55 y en el Cuadro 57.

Cuadro 55: Factores de emisión de la industria de la pasta y el papel: calderas

	Factor de emisión	
	µg de EQT/t de material de alimentación Aire	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 la estimación de las liberaciones, en los cuadros se dan valores típicos en términos de µg de EQT/tSA junto con concentraciones típicas en los efluentes y en los sólidos, que pueden utilizarse si no se dispone de datos sobre flujo de masa. En el Cuadro 56 pueden verse las concentraciones de PCDD/PCDF para las diferentes clases. Estos factores de emisión parten del supuesto de que todas las plantas disponen de instalaciones de tratamiento de efluentes que producen (Cuadro 57) lodos y efluentes con escasos sólidos suspendidos.

Cuadro 56: 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)	4,5	70	4,5	100
2. Proceso Kraft, tecnología moderna (Cl O ₂)	0,06	2	0,2	10
3. Pasta termomecánica	ND	ND	ND	ND
4. Pasta reciclada	ND	ND	ND	ND

Cuadro 57: 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 al sulfito, tecnología antigua (sin cloro)	1
3. Papeles Kraft, nueva tecnología (ClO ₂ , TLC), papel no blanqueado	0,5
4. Papeles al sulfito, nueva tecnología (ClO ₂ , TLC)	0,1
5. Papel reciclado	10

6.7.1.1 Liberaciones al Aire

Las principales emisiones al aire 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 al 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 (rango: 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

El factor de emisión por defecto de la quema de madera en las fábricas de pasta será el mismo que el 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 industrias consumidoras de agua. Las fábricas de papel sulfito descargan más agua que las de papel Kraft. Una moderna planta de blanqueado descarga entre 15 y 20 metros cúbicos de agua por tonelada de pulpa secada al aire (15-20m³/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 utilizando la secuencia antigua de blanqueado 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 reemplazo 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 pg/L).

Los datos obtenidos y publicados por el NCASI²⁰ (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 etapa ácida en concentraciones que están en el rango 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

²⁰ National Council of the Paper Industry for Air and Steam Improvement, Inc. (Consejo Nacional de la Industria del Papel para el mejoramiento del aire y del vapor, Inc.)

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 planta de tratamiento de efluentes habrán de tener concentraciones no detectables de PCDD/PCDF.

Un caso particular de concentraciones elevadas ha sido detectado en efluentes de fábricas de pasta situadas en áreas costeras de Columbia Británica, en Canadá. Estas fábricas funcionan en condiciones particulares ya que queman trozas saladas, y las cenizas se descargan/evacuan 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 de madera tratada con PCP.

En las fábricas mecánicas de pasta y papel (fábricas integradas, PTM), 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 informado elevadas concentraciones de PCDD/PCDF cuando se han aplicado secuencias de blanqueo con cloro elemental. 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 según BLC es cuestión del número kappa y la pureza del ClO₂. Con números kappa elevados y con ClO₂ poco puro (es decir, elevada impureza de 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, aplicando 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 PTM²¹ 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.

²¹ Pasta técnica mecánica

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 reemplazo 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 blanqueada, lo que corresponde a 0,1-0,3 µg/t de pasta blanqueada.

Deberá monitorearse la disposición de la ceniza, las liberaciones potenciales al medio ambiente incluídas (diseminación no controlada en el suelo) o las excluidas (vertederos).

Las concentraciones de PCDD/PCDF en papel Kraft con blanqueo libre de cloro 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 desde el punto de vista de la liberación de dioxina son los lodos que deja el tratamiento de los efluentes líquidos. 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 blanqueada²² La pasta no blanqueada produce 20-60 kg de sólidos secos por tonelada de pasta. 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).

Los vectores de liberación al medio ambiente estarán determinados por la forma como se manejen los lodos. Entre las prácticas habituales de evacuación figuran los vertederos y el represamiento en superficie, la aplicación a la tierra, el reciclado (composte, lechos para animales) o la incineración.

Las concentraciones en los lodos de pasta utilizando los antiguos procedimientos de blanqueo 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 lodo. El factor de emisión aplicable al lodo de pasta Kraft blanqueada es de 4,5 µg de EQT/t de pasta blanqueada. También puede utilizarse la

²² Además, por cada tonelada de pasta se generan 40-70 kg de desechos inorgánicos

concentración en el lodo, de 100 ng de EQT-I/kg de lodo y multiplicándola por la masa total de lodo evacuado por año 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 EQT/kg m.s. para la deslignificación ED o ED/OD (ver también sección 6.9.3).

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.

Especialmente la pasta recuperada y la fabricación de papel, generan varios desechos con alto contenido de carbono orgánico (por ejemplo, residuos de papel, lodos del destintado, biolodos). Estos desechos pueden evacuarse en vertederos o incinerarse. En Europa existe un número cada vez mayor de grandes instalaciones que, en el mismo sitio, generan vapor o coincineran los lodos en centrales de energía. Las emisiones de PCDD/PCDF resultantes de un incinerador aislado dotado de un sistema de inyección de carbón activado o zeolita son muy bajas, del orden de 0,1 ng de EQT-I/m³; también la cocombustión de lodos de pasta en grandes y bien operadas centrales de producción de energía con combustibles fósiles dieron resultados inferiores a 0,1 ng de EQT-I/m³ (BREF 2000a). Como no se observaron efectos cuando se utilizaron combustibles alternativos, a la combustión de lodos deberán aplicarse los factores de emisión que se muestran en la sección 6.1.5 o, tratándose de centrales eléctricas para la cocombustión de lodos, los de la sección 6.7.1.

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, 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 a partir de 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 ha informado contaminación en el rango de los 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 (para mayor información sobre los mecanismos de formación de PCDD/PCDF ver UNEP Chemicals 2003, NATO/CCMS 1992)²³

- 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. Debería señalarse que algunos países han publicado listas de sustancias químicas que deben ser ensayadas en PCDD/PCDF antes de ser colocadas en el mercado. Tales listas incluyen muchas sustancias químicas que fueron o son sospechadas de contener concentraciones de PCDD/PCDF por arriba de ciertos límites. Para la mayoría de las sustancias químicas, las concentraciones de PCDD/PCDF están por debajo del umbral. Varias sustancias químicas son intermediarias en la fabricación de otros químicos; la contaminación con PCDD/PCDF de estos intermediarios es, o transferida al producto final (por ejemplo, en los pigmentos para el teñido basados en cloranilo, proceso antiguo), o se encontrara en residuos de producción (y por lo tanto estarán mayormente asociados a los residuos del proceso de oxiclорación).

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 que tiene lugar, 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 para la compilación del inventario contar con los datos 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 liberaciones al medio ambiente, no es posible dar 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 de los métodos de

²³ Las condiciones que favorecen la formación de PCDD/PCDF en procesos químicos húmedos son diferentes de aquellos que favorecen la formación de PCDD/PCDF en procesos térmicos

purificación, producción y tratamiento de residuos empleados, así como los productos secundarios resultantes. También es importante saber cuál es el destino de los residuos (vertedero, recuperación de productos secundarios, incineración, *etc.*). Como muchas de esas sustancias van a utilizarse en preparaciones químicas, éstas se deberán identificar, así como también los usos para cada 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 intermediarios. 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 deberán tener en cuenta 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 al aire

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 al aire.

En general, las liberaciones de PCDD/PCDF al aire tienen importancia a escala local. Suele ser un tema de exposición ocupacional/higiene laboral, diseño del lugar de trabajo y la provisión de las ropas protectoras adecuadas – incluyendo eventualmente máscaras con 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 al aire por la incineración de residuos procedentes de procesos de producción química. Es probable que estas liberaciones se incluyan como incineración de desechos peligrosos y se traten en la sección 6.1.2.

Liberaciones al agua

Cuando se descarguen efluentes que no sean reciclados dentro 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 las 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 valioso 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 estimar la cantidad de producto liberado al agua y, por consiguiente, estimar la liberación de PCDD/PCDF. En otros casos es importante registrar dónde pueden estar ocurriendo las liberaciones al agua como consecuencia del uso 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 los residuos de estos procesos se dispongan por simple vertido a la tierra. No pueden darse factores de emisión y tal práctica deberá ser señalada, dando además, cuando sea posible, toda la información reunida, 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 estimar 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 con productos usados y disposición 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 pueden combinarse con los datos de producción y la información 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 de la disposición 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

Los residuos de la producción química pueden contener PCDD/PCDF. Los niveles dependerán de los procesos utilizados y la depuración aplicada. Existen múltiples corrientes de residuos posibles. Entre las que interesan 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 ampliamente entre el orden del ng de EQT/kg al de mg de EQT/kg. No se pueden dar factores generales.

Es útil reunir datos sobre residuos generados en lugares de producción química. Es también útil tomar nota de cómo se tratan y eliminan los residuos.

También pueden surgir residuos de la utilización de productos o de preparaciones. Se ha de poder estimar 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 putrefacción fúngica y de insectos terebrantes. Los productos de PCP son muy tóxicos para las plantas y se utilizan como defoliantes previos a la cosecha 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 finales de los 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 los pegamentos (6 %) (OMS 1987).

La sal sódica del pentaclorofenol (PCP-Na) se utiliza fundamentalmente en solución acuosa. Se utiliza como antifúngico y antibacteriano y tiene aplicaciones en los siguientes sectores:

- conservación de la madera (agente fungicida y anti-azulantes),
- 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 impurezas peligrosas, entre las que se incluye hasta un 0,1 % de policlorodibenzodioxinas/policlorodibenzofuranos y 1-5 % de fenoxifenoles policlorados. Se emiten PCDD/PCDF cuando los 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 1992a):

- La cloración directa del fenol con gas cloro en presencia de un catalizador es el método más común. Esta reacción provoca la formación de productos secundarios como hidrógeno, cloruro de hidrógeno y PCDD/PCDF.
- Hidrólisis del hexaclorobenceno con hidróxido de sodio. Se forman PCDD/PCDF como productos secundarios indeseables. Este proceso fue utilizado sólo en Alemania.

En China, se fabrica el PCP por termólisis del hexaclorociclohexano (HCH) (Wu 1999).

Existen dos procesos para la fabricación de PCP-Na:

Por hidrólisis del hexaclorobenzeno (HCB) con hidróxido de sodio. Este proceso fue aplicado en Alemania hasta 1984 (a partir de entonces, se ha utilizado el método (2) con PCP como material de partida.

Disolución de PCP en hidróxido de sodio. 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 preparaciones²⁴. En cualquier caso, el PCP utilizado como tal o formando parte de preparaciones habrá de tener un contenido total de Cl_6DD (hexaclorodibenzo-*para*-dioxina) inferior a cuatro partes por millón (4 ppm). Quedan como utilidades principales el tratamiento a alta presión de postes telefónicos, traviesas de ferrocarril y cercas de madera (véase la Categoría Principal 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 con PCP como madera (también en muebles) o textiles y cuero. La trazabilidad de estos flujos puede ser muy difícil.

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 al aire 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 sobre los factores de emisión cuando se quema madera contaminada por PCP se puede consultar en la sección 6.3.4, y también contribuye a emisiones más altas en los procesos de combustión no controlados (véase la sección 6.6.2).

²⁴

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;

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)

6.7.2.2 *Bifenilos policlorados (PCB)*

Los bifenilos policlorados (PCB) se han utilizado ampliamente en aplicaciones eléctricas (transformadores, capacitores), como sellantes y en papel de copia sin carbón. Desde 1995 parece haberse detenido la producción de PCB en el mundo entero pero aún se están utilizando numerosos equipos que lo contienen, y los materiales y desechos que contienen PCB o bien se están utilizando o están a la espera de su eliminación.

El PCB fue fabricado comercialmente mediante la cloración progresiva del bifenilo en presencia de un catalizador adecuado, como el cloruro de hierro. Según sean las condiciones de la reacción, el grado de cloración variaba entre 21 % y 68 % (p/p). El producto fue siempre una mezcla de distintos congéneres e isómeros, que era seguidamente purificada por filtración o destilación. En general, el PCB comercial contenía impurezas, principalmente dibenzofuranos policlorados (PCDF) en el orden de $\mu\text{g}/\text{kg}$ a mg/kg , pero no dibenzo-*p*-dioxinas policloradas (PCDD). Aunque existen 209 congéneres posibles de PCB, sólo unos 130 tienen probabilidad 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 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 con PCB pueden ocasionar una contaminación local y posibles puntos calientes (véase la Categoría Principal 9, Sección 6.9.5, y 10, 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 de los alcances 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 al aire, al agua y a la tierra. Los equipos con PCB pueden liberar el producto por evaporación y por pérdidas del fluido durante un uso normal. En EE.UU. se han hecho estimaciones generales de las tasas potenciales de pérdidas. Con el inventario de PCB se podrán mejorar las estimaciones de las tasas potenciales de pérdidas teniendo en cuenta el estado de los equipos de la planta.

Las pérdidas de PCB de los equipos pueden evaporarse (liberaciones al aire), pueden recogerse alrededor del equipo con medios adecuados y 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 las pérdidas identificadas o estimadas. El destino final de las pérdidas de PCB y PCDF dependerá de las circunstancias locales (liberaciones al aire, 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 la 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) como el PCDF 2,3,7,8-sustituido.

Las concentraciones de PCDF en los productos con PCB se agruparán de acuerdo con su contenido de cloro, tal como se muestra en el Cuadro 58.

Cuadro 58: Concentraciones de PCDF en productos con PCB

Tipo de PCB	PCB nuevo (μg de EQT/t)	PCB usado (μg de EQT/t)
1. Escasamente clorados, como el Clophen A30, Aroclor 1242	15.000	No hay números disponibles pero se cree que son más elevadas que con el producto nuevo.
2. Cloración media, como el Clophen A40, Aroclor 1248	70.000	
3. Cloración media, como el Clophen A50, Aroclor 1254	300.000	
4. Muy clorados, como el Clophen 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 pérdidas de capacitores y transformadores que contienen PCB (Cuadro 59).

Cuadro 59: Estadísticas de pérdidas a partir de equipos con PCB

	Frecuencia de pérdidas (% de unidades instaladas)	Cantidad media de la pérdida por unidad y año	Merma promedio por pérdidas 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 pérdidas de PCB dependerán de las condiciones locales, y su evaluación y gestión se harán de acuerdo con las regulaciones relativas a desechos peligrosos o las correspondientes a 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 que se sabe contaminados con PCDD y PCDF son:

- 2,4-D = ácido 2,4,-diclorofenoxiacético y 2,4-DB = ácido 2,4,-diclorofenoxibutirico
- 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 principalmente como desfoliante. Durante la guerra de Vietnam 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 Naranja. En la actualidad sólo existe un pequeño número de lugares donde se produce 2,4,5-T. Se encontró 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-T²⁵. 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 condiciones alcalinas. 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 formulación 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 las marcas asiáticas y rusas tenían alrededor

²⁵ Presente en forma de 2,3,7,8-Cl₄DD

de 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 dioxazina²⁶ (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:

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).

El proceso desarrollado 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)²⁷.

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 para pigmentos y 100 t/a para 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 estima 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. En los Estados Unidos de América no hay producción de cloranilo (BUA 1992).

²⁶ 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 ebullición, como el *o*-diclorobenceno, en presencia de acilcloruros o ácido sulfúrico

²⁷ Tokoyama Soda (Japón) obtiene la misma calidad

La contaminación por PCDD/PCDF en los productos finales hechos a partir del cloranilo, como las materias colorantes y los pigmentos, terminarán por llegar a los desechos de polímeros/plásticos, textiles y materiales de embalaje (papel, envases 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 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 esperar que se producirán liberaciones a la hidrósfera a partir de industrias que se sitúan junto a ríos, como en la producción de materias colorantes, de la tinción de textiles en baño de licor y del reciclado de papel (BUA 1992). Se ha comunicado 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, por ejemplo, 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 vertederos o se incineran).

Además, también puede contener PCDD/PCDF el carbón activado 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 de arroz 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 de los ochenta tenían una contaminación entre 240 y 540 µg de EQT/kg; las producciones posteriores mostraron concentraciones menores, en el rango de 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 *Clorobencenos*

Sólo el triclorobenceno se puede relacionar con la formación de PCDD/PCDF, en un proceso específico que de todas formas ya no existe (Fuente: EUROCHLOR). Los *mono-* y los *diclorobencenos* se producen comercialmente mediante la cloración directa del benceno en fase líquida y en presencia de un catalizador de Lewis, como cloruro férrico (FeCl₃) o la oxiclорación del benceno con HCl en presencia del oxígeno (OTAN/CDSM 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 clorobencenos 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 las celdas 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 operación, los electrodos de grafito se siguen utilizando comúnmente en China, el segundo país del mundo por su producción de cloroalcali (Wu 2000). La producción histórica 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. La eliminación de los desechos del proceso ha causado grave contaminación ambiental.

6.7.2.7.1 Liberaciones al aire

No cabe esperar que este proceso provoque liberaciones de PCDD/PCDF al aire.

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. Para este Instrumental y como primer paso, 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)

Cloración directa de etileno con cloro en presencia de un catalizador²⁸. 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 el proceso de oxiclорación.

Oxicloración de etileno se lleva a cabo con ácido clorhídrico (HCl) y 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 debe pasar 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 retorna al proceso o se limpia por vaporización antes de su evacuación (véase el factor de emisión para el efluente acuoso).

²⁸ Cloruros de hierro, aluminio, cobre, antimonio

Producción de VCM

El VCM se produce por dechloración térmica 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 oxícloración del etileno. En la pirólisis del VCM la generación de PCDD/PCDF es improbable debido a la baja concentración de oxígeno. Las condiciones químicas para la generación de PCDD/PCDF no se dan en la polimerización del PVC.

Entre las corrientes que pueden contener PCDD/PCDF se incluyen todas las corrientes procedentes de la combustión, incluidos los combustores líquidos, los de líquido/gas o los de gas de salida. Además, en el soporte del catalizador pueden existir algunos PCDD/PCDF. Las liberaciones de ese material difieren según el proceso de producción.

La catálisis en lecho fluidizado estará acompañada por una distribución de tamaño de partícula 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 los sistemas de lecho fijo se reemplaza aproximadamente cada año. En consecuencia, normalmente las partículas de los sistemas de lecho fluidizado quedan aisladas en los sólidos procedentes de la depuración del agua de desecho. Cuando se desecha un catalizador de lecho fijo agotado se considerará como una clara corriente de desecho. En el Cuadro 60 se muestran los factores de emisión para la industria del EDC/VCM y del PVC. Allí habrá 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 al aire a partir de las antiguas tecnologías.

Cuadro 60: Factores de emisión para la industria del EDC/VCM/PVC

	Factor de emisión– µg de EQT/t (de producto)			
	Aire	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 al aire

Las emisiones al aire 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, se usan diversos tipos 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 con un sistema de refrigeración y un enfriamiento con 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 60.

Los datos de Cuadro 60 se basan en datos de producción de EDC o PVC de la industria de los Estados Unidos: la mejor estimación 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. También en este caso, las liberaciones procedentes de incineradores de gases de salida y de desechos líquidos/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 la operación 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 tratamiento ulterior o se la puede dirigir a un proceso de tratamiento de aguas residuales²⁹.

En las modernas instalaciones estadounidenses, las concentraciones de PCDD/PCDF en las aguas residuales de los puntos de producción de PVC solamente se encontraban 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.

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 reales no se han podido dar factores de emisión para los productos de PVC y EDC provenientes 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 agotado (de plantas de lecho fijo) y los lodos del tratamiento de las aguas residuales. Cada uno de estos residuos se puede manejar y eliminar de diversas maneras, lo que influirá en las liberaciones al medio ambiente.

²⁹ Normalmente así se reduce la DBO (demanda biológica de oxígeno) y el total de sólidos en suspensión, además de ajustar el pH a las directrices aplicables al agua

Para las plantas combinadas de EDC/VCM, las concentraciones en los lodos procedentes del 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, generaban catalizador agotado (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). Para las plantas que utilizan lecho fijo, la mayor parte de los PCDD/PCDF se espera que estén asociados al catalizador agotado.

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 agotado es 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 sólidos, como el catalizador agotado/gastado y los sólidos resultantes del tratamiento de aguas residuales, considerando conjuntamente los lugares de producción de EDC y de ECD/PVC combinados, 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 casos 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 los producen (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. No se puede dar un factor de emisión para los residuos. Cuando estos residuos de producción se generan en los procesos de producción química y son reciclados, por ejemplo, en el proceso de oxiclорación, estos aparecerán en los residuos de la oxiclорación.

6.7.2.10 *Resumen*

Dentro del subsector de la industria química, la parte más crítica del proceso de fabricación es el proceso de oxiclорación para fabricar el dicloruro de etileno (EDC), que generalmente se encuentra formando 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 Cl_2 . Pero este proceso será mucho más costoso comparado con 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 oxiclорación del etileno para fabricar EDC. Después, avanzando en 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 con la intención 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 al aire, la directriz del CEFV relativa a los componentes tipo dioxina es de 0,1 ng de EQT-I/ Nm^3 ³⁰ 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 más avanzadas.

6.7.3 Industria del Petróleo

El petróleo crudo es una mezcla de numerosos hidrocarburos distintos y de pequeñas cantidades de impurezas. La composición del petróleo crudo puede variar significativamente dependiendo de sus fuentes. Las refinerías de petróleo constituyen un complejo sistema de múltiples operaciones y las operaciones utilizadas en una determinada refinería dependen de las propiedades del petróleo crudo que ha de ser refinado y de los productos que se desean 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

³⁰ Condiciones normales (europeas): 11 % O_2 , 0 °C, 101.3 kPa

catalítico de las grandes moléculas de hidrocarburo en moléculas más pequeñas y ligeras (Beard *et al.* 1993).

Para el proceso de reforma catalítica se utiliza generalmente nafta de bajo octanaje. La hidrorreforma catalítica utiliza catalizadores basados en el platino. Durante el proceso continuo, el catalizador agotado es continuamente removido 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 trazas 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 es discontinua así como las emisiones resultantes. En este proceso se han detectado PCDD/PCDF.

Los PCDD/PCDF pueden ser emitidos al aire o ser capturados en sistemas de depuración y transferidos a los efluentes. Las liberaciones finales dependerán de los controles de contaminación y del manejo que se haga de los residuos. Por ahora no se pueden dar factores de emisión debido a la falta de datos. Se requiere, en forma urgente, de datos medidos para esta subcategoría.

6.7.3.1 *Liberaciones al Aire*

No se dispone de datos 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 es de alrededor 190 kg/t de materiales de entrada. Las aguas de desecho 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 agotado/gastado. Se generan alrededor de 20-25 toneladas al año de catalizador agotado en el caso de una refinería de 5 millones de toneladas anuales. Normalmente, el catalizador agotado se recupera para su reciclado o regeneración.

En el tratamiento de las aguas residuales pueden producirse lodos. Por ahora no se disponen de concentraciones de PCDD/PCDF, pero se han detectado concentraciones de pireno y benzo[a]pireno en el rango de pocos mg/kg (BREF 2000b).

6.7.4 Producción Textil

La industria textil está constituida por un grupo diverso y fragmentado de establecimientos que producen y/o procesan artículos relacionados con los textiles, que incluyen fibras, hilos o telas para su procesamiento en artículos acabados. Pueden variar entre pequeñas operaciones

informales con escasos controles, hasta operaciones industriales en gran escala y muy perfeccionadas con amplios controles 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 considera 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 trata con PCP;

Para la tinción de textiles pueden utilizarse colorantes basados en el cloranilo;

En el proceso de acabado 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 en el efluente.

Las telas tejidas y de punto no pueden procesarse como artículos acabados hasta que hayan pasado a través de varias etapas de proceso húmedo con uso intensivo de agua (lo que se conoce como acabado), como la preparación de la tela, su tinción, estampado y acabado. Normalmente las fibras naturales requieren más etapas de procesado que las artificiales. Se generan volúmenes relativamente grandes de aguas de desecho, que contienen un amplio rango de contaminantes que se han de tratar antes de su evacuación. Se utilizan cantidades considerables de energía para el calentamiento y para el enfriamiento de los baños químicos y para la tinción de las telas y de hilos.

Para preparar la tela se realizan las siguientes operaciones: desaprestado³¹, desengrasado³², blanqueado y gaseado³³ y mercerización³⁴. 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.

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 álcalis.

De las 635.000 toneladas métricas de tintes producidos cada año en el mundo entero, un 10-15 % aproximadamente se eliminan con los efluentes de las operaciones de tinción. Pero los colorantes en las aguas residuales pueden encontrarse ligados químicamente a las fibras de la

³¹ Para eliminar los materiales de apresto que se aplicaron antes del tejido

³² Proceso de limpieza que remueve impurezas de las fibras, los hilos o la tela lavándolas. Normalmente, se utilizan soluciones alcalinas

³³ 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

³⁴ Con el que se trata de alterar química o físicamente la tela haciéndola pasar por una solución al 15-20 % de sosa cáustica.

tela. El promedio de generación de aguas residuales de una gran instalación industrial centralizada de tinción en los Estados Unidos se estima 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 aguas residuales por kg 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 de aguas residuales por kg de 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 PCDD/PCDF 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 las muestras tomadas al azar de algodón bruto y pre-tratado 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 finales 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 finales (textiles) no se dispone de datos en relación con los residuos y las aguas residuales. Por consiguiente, los factores de emisión (Cuadro 61) pueden darse sólo como límites superiores e inferiores en el producto final.

Cuadro 61: Factores de emisión para la industria textil

Clasificación	Factores de emisión – μg de EQT/t de textil				
	Aire	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 al Aire

No se dispone de indicaciones sobre emisiones importantes de PCDD/PCDF al aire 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. Cuando fueron investigados los procesos de acabado en Alemania, no se han encontrado concentraciones cuantificables.

Las liberaciones al agua dependerán de los materiales y de las sustancias químicas utilizadas o aplicadas, en el proceso o en las materias primas, así como del tratamiento que se aplique al agua. Hay evidencia de liberaciones potenciales donde existan grandes cantidades de determinadas sustancias químicas y deficientes controles en las descargas.

6.7.4.3 *Liberaciones con Productos*

No existe un indicador sencillo que permita identificar fibras, lanas 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 patrones homólogos de todas las muestras altamente contaminadas estaban dominados por los PCDD y PCDF más clorados (Cl₇ y Cl₈). Estos son indicadores o bien para los biocidas basados en pentaclorofenol o bien para los tintes basados en el cloranilo como la fuente de la contaminación. Sin embargo, varios análisis confirmaron que no existe una correlación entre PCP y concentraciones de PCDD/PCDF en textiles, aun cuando los perfiles de dioxina dan una fuerte indicación 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 Refinado del Cuero

Hasta ahora no se han comunicado casos de contaminación por PCDD/PCDF en o alrededor de la industria del cuero. Pero sí se han comunicado casos de contaminación de productos comerciales de cuero y si se tienen en cuenta los perfiles de los PCDD/PCDF, puede asumirse que la fuente de la contaminación es el PCP. Esto es confirmado por el hecho que desde que en el año 1989 se prohibió el uso de PCP en Alemania³⁵, 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 billeteros de cuero se han encontrado concentraciones de PCDD/PCDF hasta de 430 ng de EQT-I/kg, y en zapatos hasta 6.400 ng de EQT-I/kg (Malisch 1994b). Aunque en muchos países ha disminuido el uso de PCP, las concentraciones de PCDD/PCDF no disminuyeron, por lo menos en el calzado: en Alemania, se encontraron concentraciones máximas de 2.100 y 3.000 ng de EQT-I/kg, respectivamente

³⁵ Se admite una concentración máxima de 5 mg PCP/kg en el producto final.

en 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 se correlacionan, por lo menos cualitativamente con las concentraciones de PCDD/PCDF. Los perfiles de los homólogos y de los congéneres y las propiedades observadas dan fuertes indicios de que el PCP es la fuente de la contaminación por dioxina.

Para este Instrumental, por ahora sólo se pueden dar factores de emisión (Cuadro 62) 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 62: Factores de emisión de la industria del cuero

Clasificación	Factores de emisión – μg de EQT/t				
	Aire	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 otras categorías principales de fuentes. En el Cuadro 63 se muestran las subcategorías.

Esta sección incluye además dos procesos (dsecado 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 y la cocina doméstica – sección 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, impactar directamente a nivel del cuerpo humano.

Cuadro 63: Subcategorías de la Categoría Principal 8- Varios

No.	Categorías y Subcategorías	Atmós-fera	Agua	Tierra	Produc-tos	Residuos
8	Varios	X	X	X	X	X
a	Desecado de biomasa (forraje verde, recortes de madera)	x			x	
b	Crematorios	x				X
c	Ahumaderos	x			x	X
d	Residuos de la limpieza en seco		x		x	x
e	Consumo de tabaco	x				

Pertinente al Artículo 5, Anexo C

Pertinente a lo dispuesto en el Artículo 5, las fuentes en esta categoría se pueden clasificar como sigue:

Las categorías de fuentes de la Parte III, Anexo C, incluyen:

	Categoría de fuente	Sección en el Instrumental
(g)	Crematorios	6.8.2

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 tambores o bien al aire libre sin contención. En ausencia de datos medidos, la copra u otra biomasa local (a menudo para exportar) serán incluidas en esta categoría como Subcategoría a.

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 pienso verde. Se han establecido tres categorías que se muestran en el Cuadro 64.

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. Es un tema de gestión incorporar al proceso un combustible apropiado para asegurarse así que la contaminación no ocurra.

Cuadro 64: 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 al Aire

Las concentraciones medidas en el aire van de 0,005 ng de EQT-I/Nm³ a 3,51 ng de EQT-I/Nm³, con una mediana de 0,16 ng de EQT-I/Nm³ (LUA 1997). Las muy 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 concentraciones en los productos, por ejemplo en la madera virgen próximas al límite de detección, alrededor de 0,1 ng de EQT-I/kg y para los forrajes, se puede utilizar concentraciones como las que se están encontrando en estudios de biomonitorio en 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 un factor de emisión 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 para la cremación son el cargador del ataúd (con el cadáver), la cámara principal de combustión y, cuando existe, una cámara de postcombustión. En algunos casos están presentes un separador de polvo o un sistema más sofisticado de tratamiento de gases. Finalmente, los gases salen a través de una 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. Ambos factores (Cuadro 65) resultan en impactos relativamente inmediatos sobre el medio ambiente y los seres humanos.

Ciertas instalaciones pueden estar desprovistas de todo sistema de depuración de gases de salida, mientras que otras más avanzadas poseen cámaras para la combustión secundaria que aseguran una buena combustión de los gases, además pueden tener también sistemas de retención del polvo (ciclones, precipitadores electrostáticos). Los crematorios modernos tienen sofisticados sistemas de CCA, como inyección de adsorbente o catalizadores que retienen o destruyen los PCDD/PCDF. Con estas últimas técnicas, se pueden alcanzar concentraciones de emisión 0,1 ng de EQT-I/Nm³ (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/Nm³ (@11 % O₂). Estas instalaciones son de capacidad variable, entre 2 y 70 cremaciones al día. En promedio, 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 una concentración de 35.000 ng de EQT/kg.

El proyecto de muestreo y análisis en Tailandia midió concentraciones en el efluente gaseoso y en las cenizas depositadas de un crematorio, que consistía en una cámara de combustión primaria revestida con refractario y una cámara de combustión secundaria con un postquemador. Ambos quemaban fuel-oil liviano. A continuación seguía un conducto para los gases de salida revestido de refractario, que descargaba a través de un conducto subterráneo de gases de salida de ladrillos a una chimenea revestida en ladrillo, a unos 15 metros del horno (PNUMA 2001, Fiedler *et al.* 2002).

Cuadro 65: Factores de emisión de crematorios

Clasificación	Factores de emisión – µg de EQT por cremación				
	Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos
1. Sin control	90	NA	NA	NA	ND
2. Con control intermedio	10	NA	NA	NA	2,5
3. Con control óptimo	0,4	NA	NA	NA	2,5

6.8.2.1 Liberaciones al Aire

Se elegirán los factores de emisión de clase 1 cuando las condiciones de combustión sean deficientes, 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, control del flujo de aire de combustión, ningún tipo de materiales problemáticos o de plástico en la entrada – y algún tipo de dispositivo para la retención del polvo instalado. El factor de emisión de clase 3 se aplicará si en el lugar existe un sistema CCA en operación que corresponda a la mejor tecnología disponible.

Las concentraciones de PCDD/PCDF en la chimenea del crematorio en Tailandia estaban en el rango de 10,5 a 28,6 ng EQT-I/m³ con un promedio de 17,6 ng EQT-I/m³ (@11 % O₂). Estas concentraciones deberían haber dado un factor de emisión de 18 µg EQT/por cuerpo cremado. Como el crematorio tenía una post combustión, debería haber estado clasificado en la clase 2 con un factor de emisión de 10 µg EQT/por cuerpo cremado; y por lo tanto caer en el rango de la emisión estimada. La medida real del factor de emisión fue algo más alta que lo esperado, lo que podría explicarse por el hecho de que el crematorio tenía un largo conducto subterráneo de salida de gases, que favorecía la recombinación de PCDD/PCDF a las temperaturas de la "ventana de reformación" de PCDD/PCDF y esto, aumentaba las concentraciones de PCDD/PCDF en los gases de salida (PNUMA 2001, Fiedler *et al.* 2002).

6.8.2.2 *Liberaciones al Agua*

Normalmente, en los crematorios no se utilizan depuradores húmedos ni enfriamiento con agua y, por consiguiente, no se producen descargas al agua. Si se utilizan depuradores húmedos, el efluente líquido puede terminar en un sistema de alcantarillado local o ser descargado sin recolección previa. Ejemplos de Europa Occidental muestran, generalmente sistemas CCA libres de efluentes líquidos, donde las aguas residuales se evaporan internamente.

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 deficientes de combustión darán lugar a una combustión incompleta del carbono orgánico y a concentraciones más elevadas en las cenizas volantes y en la ceniza del horno. Las concentraciones de PCDD/PCDF en las cenizas depositadas colectadas de un crematorio en Tailandia eran de 44 y 48 ng EQT-I/kg de ceniza depositada (PNUMA 2001, Fiedler *et al.* 2002). Sin embargo, los datos disponibles son insuficientes para suministrar un factor de emisión.

6.8.3 Ahumaderos

En muchos países es una práctica común el ahumado para la conservación de carnes y pescados. La formación de dioxina es probable debido a que los ahumaderos son por lo general instalaciones relativamente pequeñas, donde las condiciones de combustión pueden no ser óptimas, y además debido al tipo de combustible que utilizan, madera en la mayoría de los casos (Cuadro 66).

Cuadro 66: 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 al Aire

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 produce 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 procedentes de la destilación de la 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 (Cuadro 67). Investigaciones detalladas han demostrado que las concentraciones de PCDD/PCDF en los residuos de destilación no dependen del solvente utilizado en el proceso de limpieza en seco. Por lo tanto la influencia del solvente usado es despreciable; los solventes típicos son percloroetileno, gasolina o fluorocarbonos.

Cuadro 67: Factores de emisión en residuos de limpieza en seco

Clasificación	Factores de emisión – μg de EQT/t de residuo de destilación				
	Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos
1. Textiles pesados, tratados con PCP, <i>etc.</i>	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 (solo importan los residuos de 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 que se sospecha que han 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 (Cuadro 68). No hay datos sobre cigarros. Sólo se han estudiado las emisiones al aire; todas las demás liberaciones serán insignificantes.

Cuadro 68: Factores de emisión del consumo de tabaco

Clasificación	Factores de emisión – pg de EQT/Cigarro o cigarrillo				
	Aire	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 al Aire*

Los factores de emisión se explican por si mismos. El factor de emisión correspondiente a los cigarros se ha calculado teniendo en cuenta que con ellos se consume una cantidad mayor de tabaco. Un cigarro 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/Vertedero

La forma como se manejan y evacuan los desechos puede tener importantes efectos sobre la formación y liberación de PCDD/PCDF. En las secciones anteriores se han descrito muchos procesos que producen residuos que contienen PCDD/PCDF. El destino de esos residuos, por ejemplo, su contención en vertederos controlados seguros, su destrucción (descontaminación térmica o química) o su liberación al medio ambiente, por ejemplo, en efluentes que sencillamente se vierten a ríos, lagos u océanos, puede resultar en 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 el manejo de residuos puede provocar fuertes exposiciones a PCDD/PCDF. Recientes ejemplos son el accidente de los pollos en Bélgica, en el que un volumen pequeño de aceite usado que contenía PCB (contaminado con PCDF) se recicló en grasas utilizadas en la industria de producción de piensos o en el uso de cal contaminada en la producción de alimentos para animales (EU SCAN 2000).

Esta sección se ocupa de algunas opciones de evacuación distintas de la incineración o del reciclado térmico. La causa de la presencia de los PCDD/PCDF es porque las dioxinas y furanos se han formado en otros procesos, pero la contaminación se concentrará o dispersará según las distintas opciones de gestión que se mencionan en el Cuadro 69. Ya antes, sobre todo en la sección 6.7, se han dado ejemplos de productos contaminados por PCDD/PCDF. La presencia de PCDD/PCDF en el medio ambiente humano general como, por ejemplo, en bienes de consumo o en residuos, incluso en el polvo presente en las viviendas, resulta en el hecho de que el desecho doméstico “normal” contiene 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 concentraciones máximas que son en ordenes de magnitud superiores (sobre todo cuando hay presentes fracciones de polvo). En Alemania, en los primeros años de los noventa se estimó 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 (con cantidades más grandes de materiales verdes en el verano) 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 de residuos, por ejemplo, que se instale un sistema de reciclado para el papel y el cartón usado (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 vertedero controlado o se van a un basural. Por otra parte, el crecimiento económico puede aumentar las cantidades de materiales plásticos de todos los tipos y de materiales compuestos que se disponen 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 69: Subcategorías de la Categoría Principal 9- Evacuación

No.	Categorías y subcategorías	Atmós-fera	Agua	Tierra	Productos	Residuos
9	Evacuación		X	X	X	
a	Vertederos controlados y botaderos		x			
b	Alcantarillado/tratamiento de aguas de alcantarillas	(x)	x	x	x	X
c	Vertido al agua abierta		x			
d	Compostado			x	x	
e	Tratamiento de aceites de desecho (no térmico)	x	x	x	x	X

Pertinente al Artículo 5, Anexo C

Pertinente a lo dispuesto en el Artículo 5, las fuentes en esta categoría se pueden clasificar como sigue:

Las categorías de fuentes de la Parte III, Anexo C, incluyen:

Categoría de fuente	Sección en el Instrumental
(g) Refinerías de desechos de aceites	6.9.5

6.9.1 Vertederos Controlados y Botaderos/Basurales

A efectos del Instrumental, vertederos controlados y botaderos o basurales son lugares donde se depositan los desechos, enterrándolos o apilándolos sobre la superficie. Para los propósitos del Instrumental, un vertedero es un sitio para el depósito de residuos, controlado ingenierilmente en lo que hace a ingresos/tipos de desechos, ubicación de diferentes tipos de desechos y gestión (recolección de líquidos y gas, *etc.*), mientras que un botadero/basural no está mayormente regulado y normalmente contiene desechos mezclados que se disponen sin ningún tipo de dispositivo de prevención de la contaminación. En el vertedero controlado o en el basural se degradan las materias orgánicas y como resultado se producen gases (con metano como mayor constituyente). El paso de agua a través de los desechos resulta en una lixiviación (Cuadro 70). Si no se ha instalado un sistema de captación, los gases y lixiviados del vertedero saldrán de éste de manera no controlada.

Se debe tener cuidado al calcular las emisiones que se producen en las quemas de los vertederos controlados o en los basurales. El instrumental hace diferencia entre el uso del gas de vertedero (metano generado a través de descomposición del desecho) para la generación de energía, y las quemas del vertedero causadas por ignición. En el primer caso, cuando los gases se recogen y se queman en una antorcha o en un dispositivo simple, el quemado de los gases del vertedero se considera como producción de energía y por lo tanto caen dentro de la Subcategoría 6.3.3. A los efectos del Instrumental no importa si la “energía” se aprovecha o no. El botadero o vertedero de desechos que se quema dentro de la categoría 6.6.2, describe la situación en que la masa de desechos está bajo efecto del fuego. En este contexto, no importa si el fuego se inicia por auto-ignición del gas metano, *etc.* (= combustión espontánea en sitios del vertedero), o si el botadero se quemó intencionalmente, por ejemplo, para crear

más espacio para nuevos ingresos de desechos. El tiempo en que el desecho está bajo fuego y la cantidad de desecho que se quema determinarán el nivel de la emisión.

Cuadro 70: Factores de emisión de vertederos controlados y botaderos o basurales

Clasificación	Factores de emisión – pg de EQT/L para liberaciones de agua y de lixiviado liberado				
	Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos
1. Desechos peligrosos	0	200	NA	NA	50
2. Desechos no peligrosos	0	30	NA	NA	6

6.9.1.1 Liberaciones al Aire

Por término medio, 1 tonelada de desechos municipales normales depositada en un vertedero produce 150 m³ de gas de vertederos (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 los gases de vertedero 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 nativo de vertedero 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 vertederos controlados y botaderos puede contener PCDD/PCDF. Se dispone de datos limitados sobre concentraciones de PCDD/PCDF en lixiviados. Lo más probable es que los PCDD/PCDF se concentren en cualquier fase oleosa del lixiviado (la fase oleosa puede hallarse o bien por encima o bien por debajo de la fase acuosa). Los análisis efectuados hasta ahora en aguas lixiviadas provenientes de vertederos controlados municipales, mixtos no peligrosos no han permitido hallar PCDD/PCDF ni en las aguas provenientes de vertederos controlados de desechos municipales, mixtos ni en los vertederos controlados de desechos peligrosos.

Datos procedentes de cinco vertederos controlados de Nueva Zelandia dieron entre 7,5 y 221 pg de EQT-I/L. El inventario de Nueva Zelandia (NZ 2000) subdivide este rango en 14-48,3 pg de EQT-I/L para los vertederos controlados pequeños y medios y 7,5-221 pg de EQT-I/L para los grandes vertederos controlados. Las concentraciones más elevadas se encontraron en un vertedero que contenía importantes desechos industriales y potencialmente peligrosos.

A efectos del Instrumental, se sugieren dos categorías: la clase 1, con un factor de emisión de 200 pg de EQT-I/L para vertederos controlados pueden contener desechos peligrosos, y una clase 2 con un factor de emisión de 30 pg de EQT-I/L para vertederos controlados que contienen desechos municipales no peligrosos.

6.9.1.3 Liberaciones a la Tierra

Puede producirse contaminación de la tierra a partir de vertederos controlados y botaderos deficientemente 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 vertedero actúan como reservorio y fuente potencial para el futuro. La cantidad de PCDD/PCDF presente en los vertederos controlados o botaderos de desechos estarán determinados por el nivel de las fuentes de dioxinas en el país. Los países con pocas actividades generadoras de dioxinas aplicarán un factor de emisión de 6 µg EQT/t para los desechos domésticos depositados en los vertederos controlados, mientras que se aplicará un factor de emisión de 50 µg EQT/t para desechos domésticos en países con fuentes importantes de PCDD/PCDF. En esta subcategoría, sólo se podrá cuantificar la carga histórica.

6.9.2 Aguas de Alcantarilla y su Tratamiento

Esta sección incluye las liberaciones acuosas que se colectan en un sistema central. La descarga final podrá ser con o sin tratamiento de efluentes, con o sin generación de lodos. La descarga directa al ambiente se considerará en la sección 6.9.3.

El lodo de alcantarilla que aquí se considera es el residuo sólido resultante del tratamiento de las aguas residuales, en particular de las procedentes de los sistemas sanitarios y de las viviendas. Las aguas residuales pueden incluir 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 productos³⁶, 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. Además, países tales como Alemania y Austria, que disponen de una legislación al respecto, analizan rutinariamente PCDD/PCDF en los lodos de alcantarilla. 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 a 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 lugar de vertido (a veces al mar) sin tratamiento alguno, hasta el tratamiento biológico y la sedimentación, pasando por la simple retención de partículas (en

³⁶ Se tiene conocimiento que la formación biogénica de PCDD/PCDF en los lodos de alcantarilla ha sido informada por varios autores. 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 del secado térmico de los lodos

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. Las entradas a las aguas residuales pueden ser muy variables y, por consiguiente, es difícil hacer estimaciones. Las concentraciones más bajas se esperan en lugares donde no haya ninguna industria y en ambientes remotos o subdesarrollados. En estos casos, las concentraciones de PCDD/PCDF en la escorrentía son bajas (siempre que no haya depósitos a partir del aire). Pueden esperarse también concentraciones bajas en países que impongan estrictos 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 donde se 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.

Con tratamientos más avanzados, como los biológicos, donde se producen lodos, la mayor parte de los PCDD/PCDF quedarán probablemente concentrados en ellos. 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.

Las concentraciones de PCDD/PCDF en los lodos de alcantarilla han sido medidas desde fines de los años ochenta, cuando Hagenmaier encontró una concentración promedio de 200 ng EQT/kg m.s. de 43 plantas de tratamiento de lodos de alcantarilla (Hagenmaier 1988). Subsecuentemente, alrededor de 300 plantas fueron analizadas dando un promedio de 50-60 ng EQT/kg m.s. (Butzkamm-Erker y Mach 1990). En 30 plantas de desechos de alcantarilla Suizas, Rappe *et al.* (1994) encontraron concentraciones entre 6 y 4.100 ng EQT/kg m.s., por lo cual cuatro muestras estaban por arriba de 1.000 ng EQT-I/kg m.s. Normalmente en los países industrializados, las concentraciones en los lodos de alcantarillas muestran una tendencia a la baja debido a los controles en las fuentes.

Fuentes potenciales de PCDD/PCDF en los lodos de alcantarillas pueden incluir formación microbiana, escorrentías de tierras o superficies urbanas contaminadas por productos usados o evacuados o dispuestos de liberaciones al aire previas, efluentes domésticos, efluentes industriales, *etc.* Sin embargo, una serie de estudios demostraron que la generación de desechos líquidos provenientes de lavaderos y baños podrían ser la fuente más importante de muchas, sino de todas, las plantas de alcantarillado que sirven en forma primaria a poblaciones residenciales (para reseña, ver US-EPA 2000 y las referencias incluidas).

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. Algunas fracciones, como las de los efluentes provenientes de máquinas de lavar, tenían concentraciones más elevadas (17-25 pg de EQT-I/L) y otras tales como los efluentes provenientes de duchas o de las bañeras, eran más bajas (2-16 pg de EQT-I/L) (Horstmann y McLachlan 1995, Horstmann *et al.* 1993c) (Cuadro 71).

Cuadro 71: Factores de emisión de los lodos de alcantarilla
(Nota: los factores de emisión se dan en pg de EQT/L de efluente de agua de alcantarilla y en µg de EQT-I por tonelada de lodos de alcantarilla (materia seca = m.s.) generada.

Clasificación	Factores de emisión			
	Atmós-fera	Agua pg de EQT/L	Tierra	Productos = Residuos µg de EQT/t m.s.
1. Mezcla de residuos domésticos e industriales (conteniendo cloro)	NA	5 ^a	NA	1.000
	NA	0,5 ^b	NA	1.000
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	0,1	NA	10

^a = sin remoción de lodos, ^b = con remoción de lodos

6.9.2.1 Liberaciones al Aire

Las emisiones al aire - aparte de la incineración u otros tratamientos térmicos de los lodos de alcantarilla- no tienen importancia en este caso.

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 remoción de lodos.

6.9.2.3 Liberaciones a la Tierra

Los lodos resultantes del tratamiento de aguas de alcantarilla pueden aplicarse a la tierra 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 a la tierra para mejorarlo. En estos casos se considerarán como de liberaciones a la tierra (véase antes). Los lodos que se eliminan de otras maneras se consideran como residuos.

Aquí, los lodos de alcantarilla son considerados producto, por lo tanto no hay generación de 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 de aguas de alcantarilla entren las escorrentías de los techos y suelos con una alta carga de partículas finas. 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 deberían también ser seleccionados en zonas/países con regulaciones 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 materiales gruesos removidos 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.

Un país asiático calculó las liberaciones de PCDD/PCDF en los lodos suponiendo que la generación de lodos, en las plantas de tratamiento de desechos normalmente es del 0,4 % de lodo sin tratar en el efluente acuoso. El efluente normalmente contiene 3 % de materia seca. Los mayores o menores factores de emisión, se aplicarán según el grado de industrialización y de la presencia de bienes de consumo contaminados con PCDD/PCDF, y del ingreso de efluentes potencialmente contaminados a las plantas de tratamiento (Asia Toolkit Workshop 2002).

6.9.3 Vertidos al Agua Abierta

El vertido a aguas abiertas es una práctica de gestión de desechos o de aguas residuales y es el final de otras actividades industriales o domésticas. En esta sección, sólo se consideran los efluentes u otros desechos que se descargan directamente al medio ambiente. En la mayor parte de los casos estas descargas van a aguas receptoras como ríos, lagos u océanos (Cuadro 72).

Como en la sección previa 6.9.2, esta sección 6.9.3 no se ocupa de efluentes industriales, que se tratan con sus correspondientes ramos industriales. Por lo tanto se aplicará la misma clasificación de aguas residuales, que se asumirán como en la sección 6.9.2, resultando en concentraciones de PCDD/PCDF descargadas. Se trata de caracterizar y cuantificar los vertidos de las viviendas, oficinas y pequeños negocios, así como la escorrentía de terrenos acotados como por ejemplo, estacionamientos de automóviles, calles, *etc.*

Cuadro 72: Factores de emisión de vertidos a agua abierta

Clasificación	Factores de emisión-pg EQT/L				
	Atmós-fera	Agua	Tierra	Productos	Residuos
1. Mezcla de residuos domésticos e industriales de entrada.	NA	5	NA	NA	NA
2. Medio ambiente urbano	NA	0,5	NA	NA	NA
3. Medio ambiente remoto o control de entradas	NA	0,1	NA	NA	NA

6.9.3.1 *Liberaciones al Aire*

Irrelevante.

6.9.3.2 *Liberaciones al Agua*

Irrelevante.

6.9.3.3 *Liberaciones a la Tierra*

Irrelevante.

6.9.3.4 *Liberaciones con Productos*

Irrelevante, ya que no hay ningún producto.

6.9.3.5 *Liberaciones con Residuos*

Irrelevante.

6.9.4 Compostado

El compostado es un método popular de disposición de desechos provenientes de actividades culinarias, jardinería, mantenimiento de parques y de otras áreas públicas/privadas y de la agricultura y silvicultura. En principio, todo material orgánico se puede compostar; este proceso de evacuación tiene un alto grado de aceptación en 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 composte la fracción orgánica total. Existen fracciones que pueden ingresar en el proceso de compostado y que pueden tener elevadas concentraciones de PCDD/PCDF (Cuadro 73). 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 entra con los sobrantes vegetales y de plantas, las hojas contaminadas por el tránsito que utiliza gasolina con plomo, el césped de cementerios y otros desechos orgánicos tratados con plaguicidas. De esta práctica puede resultar un producto final inaceptablemente contaminado y que es inadecuado para su uso en horticultura. En estos compostes se han detectado concentraciones superiores a 100 ng de EQT-I/kg.

Cuadro 73: Factores de emisión del composte

Clasificación	Factores de emisión - μg de EQT/t m.s.			
	Aire	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 ambientes no impactados	NA	NA	NA	5

6.9.4.1 *Liberaciones al Aire*

Las liberaciones al aire son muy bajas (pocos pg por m³) y no son relevantes

6.9.4.2 *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.

6.9.4.3 *Liberaciones a la Tierra*

La utilización habitual del composte ya terminado es su aplicación al suelo y, por consiguiente, se utilizarán las concentraciones que haya en el producto.

6.9.4.4 *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 se incluya 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 debe utilizar cuando se composten residuos de cocina y césped de jardín junto con follaje o agujas de abetos de parques, etc. El factor de emisión de clase 3 deberá ser aplicado a los casos en los que se composten residuos de vegetales y plantas que no hayan sido tratadas con plaguicidas clorados y en los que no se incluyan partículas finas.

6.9.5 Tratamiento de Aceites de Desecho (No Térmicos)

Por varias razones puede ser difícil estimar el tratamiento 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 (ver sección 6.10.6), mientras que los aceites de las primeras clases se tratan en esta sección.

La primera dificultad surge cuando se trata de obtener datos sobre actividad, en otras palabras, 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 recoger y/o 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.* Algunos pueden –con o sin refinado previo- mezclarse con aceites pesados y usarse en motores, por ejemplo, en barcos.

La gestión de PCDD/PCDF o aceites contaminados con PCB pueden causar exposición humana del personal que los colecta o que lo manipula. Durante el almacenamiento y manipuleo, pueden ocurrir emisiones difusas. La contaminación del ambiente puede ser el resultado de derrames de aceite contaminado. Los residuos de las operaciones de reciclado pueden contener altas concentraciones de PCDD/PCDF. La disposición inadecuada puede dar como resultado contaminación de tierra o agua. Se puede asumir que debe llevarse a cabo la evaluación específica del proceso o del sitio.

Actualmente, no se puede dar ningún factor de emisión con respecto a cualquiera de los vectores de liberación.

6.10 Categoría principal 10 – Puntos Calientes

Esta sección 6.10 da una lista indicativa de las actividades que pudieron haber dado como resultado contaminación de la tierra o de sedimentos con PCDD/PCDF. Si alguna de las actividades aquí mencionadas se ha realizado 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 magnitud superiores a las concentraciones ambientales de fondo. Cada uno de estos posibles puntos calientes requiere una evaluación específica de lugar comenzando por una evaluación histórica sobre si se han realizado actividades sospechosas o se están realizando en el presente. 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 en sitios 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 utilizando celdas 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 de sodio y de 3-4 kg por tonelada de cloro producida a partir de cloruro de potasio. 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 cada sitio necesita su propia evaluación. Los objetivos principales serán el suelo y, si ha ocurrido lixiviación, pueden verse afectados los compartimentos vecinos y eventualmente los sedimentos de los ríos cercanos. El hallazgo de elevadas concentraciones de mercurio, que ya de por sí es preocupante, puede ser un firme indicador de contaminación por PCDD/PCDF.

Desafortunadamente, no puede establecerse un factor de correlación entre las concentraciones de mercurio y de PCDD/PCDF.

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 de la tierra.

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 PCP y de PCDD/PCDF, pues ambas clases de compuestos tienen diferentes comportamientos físicos, químicos, así como destinos distintos según las condiciones ambientales.

6.10.6 Transformadores y Capacitores con PCB

Todo transformador o capacitor que contenga PCB, contendrá también PCDF, ya que a través del proceso de producción de PCB, ocurre contaminación por PCDF (cloración del bifenilo con gas cloro en la presencia de un catalizador). 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 pérdidas, no se producirán liberaciones de PCDF (y PCB) al medio ambiente. Pero en el momento que se produzcan pérdidas, se liberará PCDF junto con el PCB al entorno, es decir, suelo, superficies y sedimentos. El PCB puede servir como indicador, especialmente los PCB más clorados, estos tienen en el medio ambiente un comportamiento similar (sobre todo en cuanto a estabilidad y movilidad) al del PCDF 2,3,7,8-sustituido.

En esta sección y para el propósito del inventario de dioxinas y furanos, se estimarán las liberaciones de PCDF (como EQT). Deberá destacarse que con la liberación de la mezcla comercial de PCB, también se libera el PCB tipo-dioxina y el PCB no-tipo-dioxina. Sin embargo, los dos últimos grupos de COP no están bajo el alcance de este Instrumental (ver capítulo 1 – Introducción). Para más información sobre PCB tipo dioxina en mezclas comerciales de PCB, ver Schmitz *et al.* 1996).

Los factores de emisión aplicables a los productos con PCB se agruparán según su contenido de cloro, como se muestra en el Cuadro 74. 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 74: Factores de emisión de PCB

Tipo de PCB	PCB nuevo (μg de EQT/t)
1. Poco clorados, como Clophen A30, Aroclor 1242	15.000
2. Cloración media, como Clophen A40, Aroclor 1248	70.000
3. Cloración media, como Clophen A50, Aroclor 1254	300.000
4. Muy clorados, como Clophen A60, Aroclor 1260	1.500.000

Debido a las regulaciones de PCB existentes en muchos países se realiza el 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 potenciales puntos calientes en los que el PCB podía haberse vertido al medio ambiente.

6.10.7 Botaderos de Desechos/Residuos de Categorías 1-9

En todo lugar donde se hayan evacuado productos o residuos que contengan PCDD/PCDF, existe una probabilidad de que esos contaminantes sean liberados al medio ambiente. Los propios botaderos o vertederos controlados constituyen el reservorio. En esos botaderos 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 el propósito sea analítico, 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 consideran indicadores de la existencia de PCDD/PCDF en un vertedero, cuando haya un registro que indique que uno o más de los siguientes desechos hayan sido dispuestos:

- 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);

- Lodos de fábricas de pasta o pulpa y papel donde se ha usado cloro gaseoso (cloro libre) o para el blanque químico;
- Industria de la madera cuando se haya aplicado PCP u otros conservadores de la madera que contengan compuestos aromáticos clorados.

Además los puntos calientes se generarán cuando

- se hayan quemado cables de cobre revestidos de plástico en el terreno;
- hayan ocurrido incendios de vertedero tanto incidentales como accidentales.

6.10.8 Lugares Donde se Hayan Producido Accidentes Importantes

Ciertos accidentes, como los incendios, pueden producir hollín y residuos con elevadas concentraciones de PCDD/PCDF (véase también la sección 6.6.2). Tales accidentes a menudo son resultado de incendios, por ejemplo, incendios de transformadores con PCB, de almacenes o de viviendas (sobre todo si han ardido maderas tratadas, plásticos, alfombras o cuando estén involucrados 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 debajo de los conductos de las 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 remueve la contaminación por PCDD/PCDF de su ubicación actual y de las vías acuáticas, 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 cuidado cuál es la mejor forma de manejar los sedimentos contaminados para reducir cualquier riesgo de exposición inadvertida.

6.10.10 Lugares Donde hay Caolina o Arcilla Plástica

En estos últimos años, un número de observaciones cada vez mayor indican que el PCDD/PCDF presente en el medio ambiente puede ser considerablemente más antiguo 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 proveen una fuerte indicación 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 los PCDD/PCDF formados naturalmente y averiguar cuáles han sido los mecanismos que podrían explicar estas observaciones. Actualmente, no existen indicadores para identificar tales sitios. 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

BREF (2001): Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Non Ferrous Metals Industries. December 2001. European Commission, Technologies for Sustainable Development, European IPPC Bureau, Seville, Spain
BREF (2000a): Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) – Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry. July 2000. European Commission, Technologies for Sustainable Development, European IPPC Bureau, Seville, Spain

BREF (2000b): Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) – Reference Document on Best Available Techniques for Mineral Oil and Gas Refineries. Draft dated February 2000. European Commission, Technologies for Sustainable Development, European IPPC Bureau, Seville, Spain

BREF (2000c): Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) – Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel. March 2000. European Commission, Technologies for Sustainable Development, European IPPC Bureau, Seville, Spain

BREF (2000d): Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) - Reference Document on Best Available Techniques in the Cement and Lime Manufacturing Industries. March 2000. European Commission, Technologies for Sustainable Development, European IPPC Bureau, Seville, Spain

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

BSE (2002): personal communication by Dr. J. Apfel, Badische Stahlwerke Engineering GmbH, Kehl, Germany

Buckley-Golder D., P. Coleman, M. Davies, K. King, A. Petersen, J. Watterson, M. Woodfield, H. Fiedler, and A. Hanberg (1999): Compilation of EU Dioxin Exposure and Health Data. Report produced for European Commission DG Environment and UK Department of the Environment Transport and the Regions (DETR), October 1999; URL: [http://europa.eu.int/comm/environment/dioxin/download.htm#Identification %20of %20relevant %20industrial %20sources %20of %20dioxins %20and %20furans](http://europa.eu.int/comm/environment/dioxin/download.htm#Identification%20of%20relevant%20industrial%20sources%20of%20dioxins%20and%20furans)

Butzkamm-Erker R. and R.E. Mach (1990): Neuere Daten über Dioxingehalte in Klärschlamm. *Korrespondenz Abwasser* 37, 161-163

CARB (1987): Determination of PCDD and PCDF Emissions from Motor Vehicles. California Air Resources Board). Draft report, October 1987. Test Report No. C-86-029.

Carroll W.F. (1996): Is PVC in House Fires the Great Unknown Source of Dioxin? *Fire and Materials* 20, 161

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)

DEPR (2003): Department of Environment, Parks and Recreation of the Ministry of Development, Brunei Darussalam, in: UNEP 2003b

DINAMA (2002): Inventario nacional de liberaciones de dioxinas y furanos – Uruguay 2000. UNEP and DINAMA, Uruguay, Marzo, 2002. Dirección Nacional de Medio Ambiente of Ministerio de Vivenda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, Uruguay

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

EAA (2003): personal communication, European Aluminium Association, Brussels, Belgium.

EC (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.

EC (1996): 96/211/EC: Commission Decision of 26 February 1996 concerning the prohibition of pentachlorophenol (PCP) notified by Denmark (Only the Danish Test is authentic) (Test with EEA relevance). *Official Journal* No. L 068, 19/03/1996 P. 0032-0040

EMEP (2002): EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook - 3rd edition October 2002 UPDATE, Technical report No 30, EEA - European Environment Agency, Copenhagen, and 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

EU (2000): Directive 2000/76/EC of the European Parliament and the Council of 4 December 2000 on the incineration of waste. EN Official Journal of the European Communities 28.12.2000 L 332/91-111

EU (1999): Releases of Dioxins and Furans to Land and Water in Europe. Final Report by M.Wenborn, K.King, D. Buckley-Golder, and J. Gascon, produced for Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Germany on behalf of the European Commission DG Environment, September 1999

EU SCAN (2000): Opinion of the Scientific Committee on animal Nutrition on the Dioxin Contamination of Feedingstuffs and their Contribution to the Contamination of Food of animal Origin. European Commission, Health & Consumer Protection Directorate-General, Directorate C – Scientific Opinions, C3 – Management of scientific committees II; scientific co-operation and networks, Brussels, Belgium.

Fiedler H. (2003): Dioxins and Furans; in: The Handbook of Environmental Chemistry, Vol. 3, Part O, Persistent Organic Pollutants, pp 125-201. Springer Verlag, Berlin – Heidelberg 2003

Fiedler H., P. Chareonsong, J. Mayer, and H.-U. Hartenstein (2002): PCDD/PCDF Emissions from Stationary Sources – First Results from Thailand. *Organohalogen Compd.* **59**, 211-214

Fiedler H., H. Rottler, L. Peichl, G. Knetsch, and A. Basler (2000): Concentrations of PCDD/PCDF in Atmospheric Samples in Germany. *Organohalogen Compd.* **45**, 264-268 and Fiedler H., O. Hutzinger, G. Gaßner, and C. Lau (1996): Ergebnisse und Bewertung der Analysen auf organische und anorganische Verbindungen. In: Ökosystemares Biomonitoring-Programm in der Region Biebesheim 1992-1994, pp 134-182, Schriftenreihe der Hessischen Landesanstalt für Umwelt, Heft 193, November 1996 (ISSN 0933-2391, ISBN 3-89026-203-1)

Fiedler H. (1998): Thermal Formation of PCDD/PCDF - A Survey. *Environ. Eng. Sci.* **15/1**, 49-58

Fiedler H., O. Hutzinger, y C.W. Timms (1990): Dioxins: Sources of Environmental Load and Human Exposure. *Toxicol. Environ. Chem.* **29**, 157-234

Gullet B. and A. Touati (2003): PCDD/F from Agricultural Field Burning. *Organohalogen Compd.* **56**, 135-138.

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)

Gullett, B.K. and J.V. Ryan (1997): On-road Sampling of Diesel Engine Emissions of Polychlorinated Dibenzo-*p*-dioxin and Polychlorinated Dibenzofuran. *Organohalogen Compd.* **32**, 451-456

Hagenmaier H., P. Krauß, J. Vatter y M. Walczok (1995): Bedeutung der Dioxin-Einträge durch Automobilabgase und Hausfeuerungen. *Organohalogen Compd.* **22**, 49-54

Hagenmaier, H., N. Dawidowsky, U.B. Weber, O. Hutzinger, K.H. Schwind,, H. Thoma, U. Essers, B. Bühler, and R. Greiner (1990): Emission of Polyhalogenated Dibenzodioxins and Dibenzofurans from Combustion Engines. *Organohalogen Compd.* **2**, 329-334

Hagenmaier H. (1988): Untersuchungen der Gehalte an polychlorierten Dibenzodioxinen, polychlorierten Dibenzofuranen und ausgewählten Chlorkohlenwasserstoffen in Klärschlämmen. Universität Tübingen, Februar 1988. Report prepared for Federal Environment Agency, Germany, Report No. 103 03 305

HMIP (1995): A Review of Dioxin Emissions in the UK, Her Majesty's Inspectorate of Pollution, DOE/HMIP/RR/95/004, UK

Horstmann M. and M.S. McLachlan (1995): Concentrations of Polychlorinated Dibenzo-*p*-dioxins (PCDD) and Dibenzofurans (PCDF) in Urban Runoff and Household Wastewaters. *Chemosphere* **31**, 2887-2896

Horstmann M., M.S. McLachlan, and 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 and 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

Hutzinger, O; U. Essers, and H. Hagenmaier (1992): Untersuchungen zur Emission halogenierter Dibenzodioxine und Dibenzofurane aus Verbrennungsmotoren beim Betrieb mit handelsüblichen Betriebsstoffen. Universities of Bayreuth, Stuttgart and Tübingen, Germany. GSF-Forschungszentrum, Munich, Germany, ISSN 0937-9932.

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
- ITDI (2003): Industrial Technology Development Institute of the Department of Science and Technology, the Philippines, in: UNEP 2003b
- Klasmeier J. and M.S. McLachlan (1997): Dioxine und Furane in Textilien und Leder. *Materialien* 124, Bayer. Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU), München
- 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
- Lassen C., E. Hansen, A.A. Jensen, K. Olendrynski, W. Kolsut, J. Zurek, I. Kargulewics, B. Debski, J. Skoskiewicz, M. Holtzer, A. Grochowalski, E. Brante, H. Poltimae, T. Kallste, and J. Kapturauskas (2003). Survey of Dioxin Sources in the Baltic Region – Extended Summary. *Environ. Sci. & Pollut. Res.* **10**, 49-56
- Lemieux P., B.K. Gullett, C.C. Lutes, C.K. Winterrowd, and D.L. Winters (2003): Variables Affecting Emissions of PCDDs/Fs from Uncontrolled Combustion of Household Waste in Barrels. *J. Air & Waste Manage. Assoc.* **53**, in press
- LUA (2000): LUA (2000) The European Dioxin Emission Inventory – Stage II. Final Report December 2000. *Materialien No. 59*, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen, Germany, 2001
- LUA (1997): Identification of Relevant Industrial Sources of Dioxins and Furans in Europe. *Materialien No. 43*. Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Germany, Essen, 1997
- Mahnke K. y P. Krauss (1996): Burning of Biomass – An Important Source for Global PCDD/F Imission? *Organoholgen Compd.* **27**, 167-170
- Marklund, S., C. Rappe, M. Tysklind, and K.E. Egeback (1987): Identification of Polychlorinated Dibenzofurans and Dioxins in Exhausts from Cars Run on Leaded Gasoline. *Chemosphere* **16**, 29-36
- 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
- MoE Jordan (2003): Ministry of Environment, Jordan, in: UNEP 2003b
- MoE Lebanon (2003): Ministry of Environment Lebanon, in: UNEP 2003b
- 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

NATO/CCMS (1992a): Dioxin Perspectives – A Pilot Study on International Information Exchange on Dioxins and Related Compounds; Chapter 3.1: Formation of Dioxins and Related Compounds in Combustion Processes. Edited by E.W. Bretthauer, H.W. Kraus, and A. di Domenico; coordinating editors: F.W. Kutz, D.P. Bottimore, O. Hutzinger, H. Fiedler, and A.E. Radwan. NATO/CDCSM Volume 16, 1992 and Hutzinger O. and H. Fiedler (1988): Emissions of Dioxins and Related Compounds from Combustion and Incineration Sources. Pilot Study on International Information Exchange on Dioxins and Related Compounds, NATO/DCSM Report No. **172**

NATO/DCSM (1992b): Dioxin Perspectives – A Pilot Study on International Information Exchange on Dioxins and Related Compounds; Chapter 3.3: Formation of Dioxins and Related Compounds in Industrial Processes. Edited by E.W. Bretthauer, H.W. Kraus, and A. di Domenico; coordinating editors: F.W. Kutz, D.P. Bottimore, O. Hutzinger, H. Fiedler, and A.E. Radwan. NATO/CDCSM Volume 16, 1992 and Hutzinger O. and H. Fiedler (1988): Emissions of Dioxins and Related Compounds in Industrial processes. Pilot Study on International Information Exchange on Dioxins and Related Compounds, NATO/DCSM Report No. **173**

NATO/CCMS (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, August 1988, North Atlantic Treaty Organization, Committee on Challenges of Modern Society Nordsieck H., R. Peche, and A. Buekens (2001): Modelling PCDD/PCDF Formation in the Effluent Gas of a Sinter Plant. *Organohalogen Compd.* **50**, 323-327 and further publications from the EU MINIDIP Project by Stieglitz *et al.*, Buekens *et al.*, Louw *et al.*

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, and B. Bjerke (1989): Formation of PCDF and PCDD by Production Processes for Magnesium and Refined Nickel. *Chemosphere* **18**, 1379 Rappe C., R. Andersson, M. Bonner, K. Cooper, H. Fiedler, F. Howell, and C. Lau (1996): PCDDs and PCDFs in Samples of Sewage Sludge and Effluent from the State of Mississippi. *Organohalogen Compd.* **28**, 105-110

Rappe C., R. Andersson, G. Karlaganis, and R. Bonjour (1994): PCDDs and PCDFs in Samples of Sewage Sludge from various Areas in witzerland. *Organohalogen Compd.* **20**, 79-84.

SC (2001): Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (POPs). UNEP Chemicals, Geneva. Text for download at <http://www.pops.int>

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

Schmitz H.-J., P. Behnisch, A. Hagenmaier, H. Hagenmaier, K.W. Bock, and D. Schrenck (1996): CYP1A1-Inducing Potency in H4IIE Cells and Chemical Composition of Technical Mixtures of Polychlorinated Biphenyls. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* **1**, 73-79

Schwind, K-H., H. Thoma,, O. Hutzinger, N. Dawidowsky, U. Weberuss, and H. Hagenmaier, U. Buehler, R. Greiner, U. Essers, and E. Bessey (1991): Emission halogenierter Dibenzodioxine (PXDD) und Dibenzofurane (PXDF) aus Verbrennungsmotoren. *UWSF-Z. Umweltchem. Ökotox.* **3**, 291-298

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

UNEP (2003a): Formation of PCDD and PCDF – an overview. Report prepared by the Interim Secretariat of the Stockholm Convention on POPs for the First session of the Expert Group on BAT and BEP, March 10-14, 2003

UNEP (2003b): Asia Dioxin Toolkit Project - National PCDD/PCDF Release Inventories from Brunei Darussalam, Jordan, Lebanon, Philippines, and Vietnam. UNEP Chemicals, Geneva

UNEP/PCD/BMZ/BMU/UBA/GTZ (2002): Presentation of the PCD/UNEP/GTZ Inventory in Thailand by Ms. Mingquan Wichayarangsaridh, Thailand, pp. 78-85. In: National action on measures to reduce or eliminate the releases of by-products from unintentional production as requested by the Stockholm Convention on POPs (Article 5 and Annex C) Proceedings of the Regional Workshop, March 13 – 15, 2002, Bangkok, Thailand; prepared jointly by Government of the Kingdom of Thailand, UNEP Chemicals, Government of the Federal Republic of Germany

UNEP (2001): Thailand Dioxin Sampling and Analysis Program. UNEP Chemicals, Geneva, September 2001. Full report for download at UNEP Chemicals's Web Page: <http://www.chem.unep.ch/pops/newlayout/repdocs.html>

UNEP (1999): Dioxin and Furan Inventories, National and Regional Emissions of PCDD/F, UNEP Chemicals, Geneva, Switzerland

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

Vikelsee J y E. Johansen (2000): Estimation of Dioxin Emissions from Fires in Chemicals. *Chemosphere* **40**, 165-175
Wichmann, H., Lorenz, W and 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 ANEXO 1: COMPILACIÓN DE TODOS LOS FACTORES DE EMISIÓN

Este anexo, contiene 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 via 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 (Subcategoría 3e) así como para el agua y los residuos (aguas residuales y lodos) de la industria de la pasta y el papel (Subcategoría 7a), 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. Sin embargo, ocasionalmente, 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, por ejemplo, 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.

Factores de Emisión para la Categoría 1 – Incineración de Desechos

Cat.	Subcat.	Clase	Subcategorías de fuentes	Vía posible de liberación (µg EQT/t)					
				Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos Cenizas Escorias	
1			Incineración de desechos						
	a		Incineración de desechos sólidos munic.						
		1	Tecnología simple de combustión, sin sistema CCA	3.500		NA	NA	0	75
		2	Combustión controlada, mínimo CCA	350		NA	NA	500	15
		3	Combustión controlada, buen CCA	30		NA	NA	200	7
		4	Alta tecnología combustión, CCA perfeccionada	0,5		NA	NA	15	1,5
	b		Incineración de desechos peligrosos						
		1	Tecnología simple de combustión, sin sistema CCA	35.000		NA	NA	9.000	
		2	Combustión controlada, mínimo CCA	350		NA	NA	900	
		3	Combustión controlada, buen CCA	10		NA	NA	450	
		4	Alta tecnología combustión, CCA perfeccionada	0,75		NA	NA	30	
	c		Incineración de desechos médicos/hosp						
		1	Tecnología simple de combustión, por lotes, sin SCCA	40.000		NA	NA		200
		2	Combustión controlada por lotes, mínimo CCA	3.000		NA	NA		20
		3	Combustión controlada por lotes, buen CCA	525		NA	NA	920	
		4	Alta tecnología combustión, CCA perfeccionada	1		NA	NA	150	
	d		Incineración fracc. liviana de fragment.						
		1	Tecnología simple de combustión, por lotes, sin SCCA	1.000		NA	NA	ND	ND
		2	Combustión controlada por lotes, mínimo CCA	50		NA	NA	ND	ND
		3	Alta tecnología combustión, CCA completo	1		NA	NA	150	
	e		Incineración de lodos de alcantarilla						
		1	Hornos antiguos, por lotes, sin CCA o mínimo CCA	50		NA	NA	23	
		2	Combustión moderna y continua, algún CCA	4		NA	NA	0,5	
		3	Operación moderna, CCA completo	0,4		NA	NA	0,5	
	f		Incineración de des. de madera y de biom.						
		1	Hornos antiguos, por lotes, sin CCA o mínimo CCA	100		NA	NA	1.000	
		2	Combustión moderna y continua, algún CCA	10		NA	NA	10	
		3	Operación moderna, CCA completo	1		NA	NA	0,2	
	g		Combustión de carcasas de animales						
		1	Hornos antiguos, por lotes, sin CCA o mínimo CCA	500		NA	NA		ND
		2	Combustión continua y moderna, algún CCA	50		NA	NA		ND
		3	Operación moderna, CCA completo	5		NA	NA		ND
1			Incineración de desechos						

Factores de Emisión para la Categoría 2 – Producción de Metales Ferrosos y No Ferrosos

Cat.	Subcat	Clase	Subcategorías de fuentes	Vía posible de liberación (µg EQT/t)				
				Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos
2			Producción de metales ferrosos y no ferrosos					
	a		Sinterización de hierro					
		1	Alto reciclado de desechos, incl. materiales contaminados por aceite	20	ND	ND	ND	0,003
		2	Escaza utilización de desechos, planta bien controlada	4	ND	ND	ND	0,003
		3	Alta tecnología, reducción de emisiones	0,3	ND	ND	ND	0,003
	b		Producción de cok					
		1	Sin limpieza del gas	3	0,06	ND	ND	ND
		2	CCA con postcombustión/retención del polvo	0,3	0,06	ND	ND	ND
	c		Producción de acero y las fundeías de hierro					
			Industria de siderometalúrgica					
		1	Chatarra sucia (aceites de corte, contaminación general), precalentamiento de la chatarra, controles limitados	10	ND	ND	NA	15
		2	Chatarra limpia/hierro virgen, postcombustión y filtro de tela	3	ND	ND	NA	15
		3	Chatarra limpia/hierro virgen, HAE diseñados para bajas emisiones de PCDD/PCDF, hornos HOB	0,1	ND	ND	NA	1,5
		4	Altos hornos con CCA	0,01	ND	ND	NA	ND
			Fundeías de hierro					
		1	Cubilote de aire frío o tambor rotatorio y depuración de gas	10	ND	ND	ND	ND
		2	Tambor rotatorio, filtro de tela	4,3	ND	ND	ND	0,2
		3	Cubilote de aire frío, filtro de tela	1	ND	ND	ND	8
		4	Cubilote de aire caliente u horno de inducción, filtro de tela	0,03	ND	ND	ND	0,5
	d		Producción de cobre					
		1	Sec. Cu - tecnología básica	800	ND	ND	ND	630
		2	Sec. Cu - bien controlada	50	ND	ND	ND	630
		3	Sec. Cu - control óptimo de PCDD/PCDF	5	ND	ND	ND	300
		4	Fundición de Cu/aleaciones de Cu	0,03	ND	NA	NA	ND
		5	Cu primario, todos los tipos	0,01	ND	ND	ND	ND
	e		Producción de aluminio					
		1	Procesamiento térmico de chatarra de Al, tratamiento mínimo de material de entrada y simple retención del polvo	150	ND	ND	ND	400
		2	Tratamiento de la chatarra bien controlado, buen SCCA	35	ND	ND	ND	400
		3	Rescado de raspaduras/viruta filtros de tela con inyección de cal					NA
		4	Tratamiento de la chatarra, bien controlado, filtros de tela, inyección de cal	10	ND	ND	ND	100
		5	Proceso optimizado, SCCA óptimo	0,5	ND	ND	ND	400
	f		Producción de plomo					
		1	Producción de Pb a partir de chatarra que contiene separadores de PVC en baterías	80	ND	ND	ND	ND
		2	Producción de plomo a partir de chatarra libre de PVC/Cl ₂ en altos hornos con filtro de tela	8	ND	ND	ND	ND
		3	Producción de Pb a partir de chatarra libre de PVC/Cl ₂ en hornos distintos de los altos hornos con depurador	0,5	ND	ND	ND	ND
	g		Producción de zinc					
		1	Horno sin ningún control de polvo	1.000	ND	ND	ND	ND
		2	Hornos de briquetado en caliente/rotatorios, control básico	100	ND	ND	ND	ND
		3	Controles de contaminación completos	5	ND	ND	ND	ND
		4	Fusión del zinc (solamente)	0,3	ND	ND	ND	ND
	h		Producción de bronce y de latón					
		1	Hornos de fusión sencillos	10	ND	ND	ND	ND
		2	Equipos más complejos, como hornos de inducción con sistemas de CCA	0,1	ND	ND	ND	ND
	i		Producción de magnesio					
		1	Producción mediante termotratamiento de MgO/C en Cl ₂ ; sin tratamiento del efluente, pobre SCCA	250	9.000	NA	ND	0
		2	Producción mediante de MgO/C en Cl ₂ , control completo de la contaminación	50	24	NA	ND	9.000
		3	Proceso de reducción térmica	3	ND	ND	ND	ND
	j		Producción térmica de metales no ferrosos (ej. Ni)					
		1	Chatarra contaminada, control sencillo o nulo del polvo	100	ND	ND	ND	ND
		2	Chatarra limpia, buen SCCA	2	ND	ND	ND	ND
	l		Fragmentadoras/Trituradoras					
		1	Plantas de fragmentación de metales	0,2	NA	NA	ND	ND
	m		Recuperación térmica de cobre de cables					
		1	Quema de cables a cielo abierto	5.000	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

Factores de Emisión para la Categoría 3 – Generación de Energía y Calefacción/Cocina

Cat.	Subcat.	Clase	Categorías de fuentes	Vía posible de liberación (µg EQT/t)				
				Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos
3			Generación de energía y calefacción					
	a		Centrales eléctricas de combustibles fósiles					
		1	Calderas de energía que queman conjuntamente combustible fósil y desechos	35	NA	NA	NA	ND
		2	Calderas de energía que queman carbón	10	NA	NA	NA	14
		3	Calderas de energía que queman aceite pesado	2,5	NA	NA	NA	ND
		4	Calderas de energía que queman aceite ligero/ gas natural	0,5	NA	NA	NA	ND
	b		Centrales eléctricas de biomasa					
		1	Calderas alimentadas por otras biomasas	500	NA	NA	NA	ND
		2	Calderas alimentadas por madera	50	NA	NA	NA	15
	c		Vertederos, combustión de biogas					
		1	Calderas, motores/turbinas, fuego	8	NA	NA	NA	NA
	d		Combustión de biomasa para uso doméstico (calefacción, cocina)					
		1	Estufas alimentadas por madera contaminada/biomasa	1.500	NA	NA	NA	2.000
		2	Estufas alimentadas por madera virgen/biomasa	100	NA	NA	NA	20
	e		Calefacción doméstica - Combustibles fósiles					ng TEQ/kg cenizas
		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

Factores de emisión para la Categoría 4 – Producción de Productos Minerales

Cat.	Subcat.	Clase	Categorías de fuentes	Vía posible de liberación (µg EQT/t)				
				Aire	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 200-300 °C	0,6	NA	ND	ND	0,1
		3	Hornos húmedos, temperatura PES/FT <200 °C y todos los tipos de hornos secos	0,05	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

Factores de Emisión para la Categoría 5 – Transporte

Cat.	Subcat.	Clase	Categorías de fuentes	Vía posible de liberación (µg EQT/t)				
				Atmósfera	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

Factores de Emisión para la Categoría 6 – Procesos de Combustión Incontrolada

Cat.	Subcat.	Class	Categorías de fuentes	Vía posible de liberación (µg EQT/t)				
				Atmósfera	Agua	Tierra	Productos	Residuos
6			Procesos de combustión incontrolada					
	a		Incendios/Combustiones-Quema de biomasa					
		1	Incendios forestales	5	ND	4	NA	ND
		2	Incendios de praderas y brezos	5	ND	4	NA	ND
		3	Quema de residuos agrícolas no tratados (en el campo)	0,5	ND	10	NA	ND
		4	Quema de residuos agrícolas, tratados con plaguicidas (en el campo)	30	ND	10	NA	ND
	b		Incendios, quema de desechos, incendios en vertederos, incendios industriales e incendios accidentales					
		1	Incendios de vertederos	1.000	ND	NA	NA	ND
		2	Incendios accidentales de viviendas, fábricas (por evento)	400	ND	ver resid.	NA	400
		3	Quema no controlada de desechos domésticos	300	ND	ver resid.	NA	600
		4	Incendios accidentales de vehículos (por vehículo)	94	ND	ver resid.	NA	18
		5	Quema de madera a cielo abierto (construcción/demolición)	60	ND	ND	NA	10

Factores de Emisión para la Categoría 7 – Producción y Uso de Sustancias Químicas y Bienes de Consumo

Cat.	Subcat.	Clase	Categorías de fuentes	Vía posible de liberación (µg EQT/t)				
				Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos
7			Producción y uso de sustancias químicas y bienes de consumo					
	a		Fábricas de pasta y papel					
		1	Calderas (por tonelada de pulpa) Calderas de licor negro, quema de lodos y madera	0,07				1000
		2	Calderas de cortezas solamente	0,4				1000
			<i>Lodos</i>	Agua		Residuos		
				µg EQT/tSA	µg EQT/L	µg EQT/tSA	µg EQT/t lodos	
		1	Proceso kraft, antigua tecnología (Cl ₂)	4,5	70	4,5	100	
		2	Proceso kraft, tecnología moderna (ClO ₂)	0,06	2	0,2	10	
		3	Pasta PPM					
		4	Pasta reciclada					
			<i>Pasta y papel</i>	Atmósfera	Agua	Tierra	Productos	Residuos
		1	Pasta/papel kraft de fibras primarias (Cl ₂)				8	
		2	Papel de sulfito, antigua tecnología (Cl ₂)				1	
		3	Papel kraft, nueva tecnología (ClO ₂ /TCF), papel no blanqueado				0,5	
		4	Papel sulfito, nueva tecnología (ClO ₂ /TCF)				0,1	
		5	Papel reciclado				10	
	b		Industria química	Atmósfera	Agua	Tierra	Productos	Residuos
			<i>Pentaclorofenol (PCP)</i>					
		1	Producción europea/americana (cloración de fenol con Cl ₂)				2.000.000	
		2	Producción china (termólisis de HCH)				800.000	
		3	PCP-Na				500	
			<i>Bifenilos policlorados (PCB)</i>	Atmósfera	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	
			<i>Plaguicidas clorados</i>	Atmósfera	Agua	Tierra	Productos	Residuos
		1	Acido, 2,4,5-triclorofenoxiacético (2,4,5-T), puro				7.000	
		2	2,4,6-triclorofenol (2,4,6-PCPh)				700	
		3	Dichlorprop				1.000	
		4	Acético, 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D)				700	
		5	Eter, 2,4,6-triclorofenil-4'-nitrofenilo (CNP = cloronitrofenol)				300.000	
			Antigua tecnología				400	
		6	Clorobenceno				ND	ND
		7	Producción de cloro con ánodos de grafito				NA	ND
			<i>Cloranilo</i>	Atmósfera	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	o-cloranilo por cloración de fenol				60.000	
			<i>EDC/VCM/PVC</i>	Atmósfera	Agua	Tierra	Productos	Residuos
		1	Antigua tecnología, EDC/VCM/PVC			1		
		2	Plantas modernas EDC/VCM y/o EDC/VCM/PVC PVC solamente	0,95 0,0003	0,015 0,03		0,03 0,1	2 0,2
	c		Industria de petróleo	Atmósfera	Agua	Tierra	Productos	Residuos
		1	Todos tipos	ND	NA	NA	NA	ND
	d		Plantas textiles	Atmósfera	Agua	Tierra	Productos	Residuos
		1	Límite superior	NA	ND	NA	100	ND
		2	Límite inferior	NA	ND	NA	0,1	ND
	e		Plantas de cuero	Atmósfera	Agua	Tierra	Productos	Residuos
		1	Límite superior	NA	ND	NA	1.000	ND
		2	Límite inferior	NA	ND	NA	10	ND

Factores de Emisión para la Categoría 8 – Varios

Cat.	Subcat.	Clase	Categorías de fuentes	Vía posible de liberación (µg EQT/t)				
				Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos
8			Varios					
	a		Secado 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		Crema torios					
		1	Sin control	90	NA	ND	NA	ND
		2	Control intermedio	10	NA	ND	NA	2,5
		3	Control óptimo	0,4	NA	ND	NA	2,5
	c		Ahumaderos					
			Combustión de madera tratada, comb. de desechos	50	NA	ND	ND	Ver 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	Cigarillos (por unidad)	0,1	NA	NA	NA	NA

Factores de Emisión para la Categoría 9 – Vertedero Controlado o Botadero

Cat.	Subcat.	Clase	Categorías de fuentes	Vía posible de liberación (µg EQT/t)				
				Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos
9			Evacuación/Vertederos					
	a		Lixiviado de rellenos o vertederos					
		1	Desechos peligrosos *	NA	200	NA	NA	
		2	Desechos no peligrosos *	NA	30	NA	NA	
	b		Aguas negras y su tratamiento					
		1	Industriales, domésticas mezclada 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	Lugares remotos o residenciales, o plantas de tratamiento modernas		0,1	NA	NA	10
	c		Vertido a aguas abiertas					
		1	Industriales, domésticas mezclada	NA	5			
		2	Ambiente urbano	NA	0,5	NA	NA	NA
		3	Ambientes remotos o con controles de ingreso	NA	0,1	NA	NA	NA
	d		Compostado					
		1	Todas las fracciones orgánicas	NA	ND	NA	100	NA
		2	Desechos de jardín, cocina	NA	ND	NA	15	NA
		3	Materiales verdes; ambientes no impactados	NA	ND	NA	5	NA
	e		Evacuación de aceites usados					
		1	Todas las fracciones	ND	ND	ND	ND	ND

Factores de Emisión para Categoría 10 – Identificación de Puntos Calientes

Clase	Producto (µg EQT/t)	Ocurrencia (t)	g EQT identificados				
			Atmósfera	Agua	Tierra	Productos	Residuos
Identificación de Puntos Calientes			x señala la necesidad de evaluación específica del lugar				
Lugares de producción de sustancias orgánicas cloradas							
1 Clorofenoles y derivados o BPC				x	x		
2 Otras sustancias orgánicas cloradas					x		
Lugares de producción de cloro							
1 Con electrodos de grafito				x	x		
2 Sin electrodos de grafito				x	x		
Preparación de fenoles/plaguicidas clorados				x	x		
Lugares de aplicación de plaguicidas contaminados por dioxina					x		
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		
Equipos eléctricos que contienen BPC		0					0
Poco clorado, como Clophen A30, Aroclor 1242	15.000						0
Clorado medio, como Clophen A40, Aroclor 1248	70.000						0
Clorado medio, como Clophen A50, Aroclor 1254	300.000						0
Muy clorado, como Clophen A60, Aroclor 1260	1.500.000						0
1 Con derrames				x	x		
2 Sin derrames				x	x		
Vertidos de desechos/residuos de categorías 1-9				x	x		
Lugares de accidentes importantes				x	x		
Dragado de sedimentos				x	x		

9 ANEXO 2: CUESTIONARIOS

Este Capítulo presenta los modelos de cuestionario, que se pueden utilizar para compilar datos específicos de planta, de proceso o de actividad. Los cuestionarios se distribuirán también en forma electrónica para ser bajados directamente de la Página Web del PNUMA. En los Capítulos 4.3 y 4.4 se explica el objetivo de los cuestionarios y cómo trabajar con ellos.

Los cuestionarios específicos de la Categoría deberán ir acompañados por una carátula, donde se establezca claramente el remitente (con todas las coordenadas necesarias), el contexto, por ejemplo, año de referencia, y fecha de remisión del cuestionario.

Se han diseñado cuestionarios para cada una de las categorías (para algunas categorías puede utilizarse el mismo cuestionario).

Carátula modelo del cuestionario

Inventario de Liberaciones de PCDD/PCDF (Dioxinas y Furanos)	
Año de Referencia 20__ (1 de enero – 31 de diciembre)	
Solicitado por:	[Nombre de la Institución con dirección Persona de contacto con número de teléfono y fax; dirección de correo electrónico]
Para:	[Nombre de la Institución con dirección y otras coordenadas]
Por favor, remitir el cuestionario completo al remitente arriba indicado antes de _____ (Fecha)	

Cuestionario 1: Categoría 1- Incineración de desechos

Tipo de planta	Desechos sólidos municipales:	[]
	Desechos industriales:	[]
	Desechos hospitalarios:	[]
	Fragmentadora/Trituradora de livianos	[]
	Lodos de alcantarilla:	[]
	Desechos de madera y de biomasa	[]
	Cadáveres de animales	[]
Nombre de la Planta		
Ubicación (Ciudad/Provincia)		
Dirección		
Contacto (nombre, apellido, teléfono, fax, etc.)		
Número de hornos		
Tipo de operación	Lotes (Ej. 100 kg por lote):	[]
	Semicontinuo (Ej. 8 horas por día):	[]
	Continuo (24 horas por día):	[]
Capacidad/anual operacional (por unidad)	t/h (toneladas por hora):	
	h/d (horas por día):	
	d/sem (días por semana):	
	t/d (toneladas por día):	
	d/a (días por año):	
	h/a (horas por año):	
Capacidad/anual operacional (total)	t/h (toneladas por hora):	
	h/d (horas por día):	
	d/sem (días por semana):	
	t/d (toneladas por día):	
	d/a (días por año):	
	h/a (horas por año):	
Tipo de horno	Quema de masa/pared de tubos de agua (reja)	
	Lecho fluidizado	
	Cargador	
	Horno rotatorio	
	Otro (especifique por favor)	
Temperatura en el horno	Horno principal (°C) :	
	Después del quemador/segunda cámara (°C):	
Tipo de sistema de control de la contaminación atmosférica (SCCA)	Precipitador electrostático:	[]
	Ciclón:	[]
	Filtro de manga:	[]
	Depurador húmedo:	[]
	Depurador seco:	[]
	Inyección de cal:	[]
	Inyección de álcalis/NaOH:	[]
	Carbón activado/inyección de Coke:	[]
	Filtro de carbón activado:	[]
	Convertidor catalítico/sistema SCR:	[]
	Ventilador de tiro forzado o inducido:	[]
Otro (especifique por favor):	[]	
Ninguno:		

Sistema de recuperación de calor	Si []	No []
Temperatura de los gases	A la entrada del SCCA (°C) []	A la salida del SCCA (°C) []
Flujo de los gases de salida	(m ³ /h) (gas seco)	

Residuos		Evacuación de estos residuos:	
Generación de cenizas depositadas	t/a []	Recirculación: []	Relleno: []
Generación de cenizas volantes	t/a []	Recirculación: []	Relleno: []
Generación de (desecho) agua	t/a []	Evacuación:	
Generación de lodos (como materia seca)	t/a []	Recirculación: []	Relleno: []

Evaluación y clasificación final (a completar por el evaluador de los datos)

Clase	Factor de emisión (µg EQT/t)				
	Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos
Actividad anual (t/a)	Liberación anual (g EQT/a)				
	Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos

Cuestionario 2: Categoría 2 - Producción de metales ferrosos y no ferrosos

Tipo de Planta	Sinterizado		[]	
	Cok		[]	
	Hierro y/o acero	Primario	[]	Secundario []
	Fundición	Primario	[]	Secundario []
	Cobre	Primario	[]	Secundario []
	Aluminio	Primario	[]	Secundario []
	Plomo	Primario	[]	Secundario []
	Zinc		[]	
	Latón/Bronce	Primario	[]	Secundario []
	Magnesio		[]	
	Otros metales no-ferrosos	Primario	[]	Secundario []
	Fragmentación/trituación		[]	
	Otros	Primario	[]	Secundario []

Dirección	
Contacto (Nombre, posición, número de teléfono y fax, Correo electrónico)	

Número de hornos		
Tipo de operación	Por lotes (p.ej. 100 kg por lote)	[]
	Semi-continuo (p.ej. 8 horas por día)	[]
	Continuo (24 horas por día)	[]
Capacidad operativa anual (por unidad)	t/h (toneladas por hora)	
	h/d (horas por día)	
	d/s (días por semana)	
	t/d (toneladas por día)	
	d/a (días por año)	
	h/a (horas por año)	
	t/a (toneladas por año)	
Capacidad de operación anual (total)	t/h (toneladas por hora)	
	h/d (horas por día)	
	d/s (días por semana)	
	t/d (tons per day)	
	d/a (días por año)	
	h/a (horas por año)	
	t/a (toneladas por año)	
Tipo de horno	Alto horno	
	Horno de Inducción	
	Horno de Arco Eléctrico (HAE)	
	Cowper	
	Rotatorio	
	Reverberatorio	
	Otros (por favor especificar)	

Temperature in Furnace	Horno Principal(°C)	
	Cámara Secundaria /postquemador (°C)	
Combustible primario	Tipo	t/a
Combustible secundario/alternativo	Tipo	t/a ó %
Sistema de control de la cont. atmosférica. (SCCA)	Precipitadores electrostáticos	[]
	Ciclón	[]
	Filtro de tela	[]
	Depurador húmedo	[]
	Depurador seco	[]
	Inyección de cal	[]
	Inyección de NaOH	[]
	Carbón activado/inyección de cok	[]
	Filtro de carbón activado	[]
	Convertidor catalítico/sistema SCR	[]
	Ventilador de tiro forzado o inducido	[]
Otro (por favor especificar)	[]	
Ninguno	[]	
Sistema de Recuperación de Calor	Si []	No []
Temperatura de gases	A la entrada del SCCA (°C) []	A la salida del SCCA (°C) []
Caudal de gases de salida	(m³/h) (gas seco)	

Evaluación y clasificación final (a completar por el evaluador de los datos)

Clase	Factor de emisión (µg EQT/t)				Residuos
	Atmósfera	Agua	Tierra	Productos	
Liberación anual (g EQT/a)					
Actividad anual (t/a)	Atmósfera	Agua	Tierra	Productos	Residuos

Cuestionario 3: Categoría 3 Generación de energía y calefacción

Tipo de Planta	Centrales de energía	
	Carbón	[]
	Lignito	[]
	Carbón bituminoso	[]
	Antracita	[]
	Otros	[]
	Gas natural	[]
	Madera	[]
	Gas de vertedero	[]
	Gas de alcantarilla	[]
	Biomasa (por favor, especificar)	[]
	Unidades industriales de combustión (pequeñas)	
	Carbón (por favor especificar)	[]
	Lignito	[]
	Carbón bituminoso	[]
Antracita	[]	
Otros	[]	
Madera virgen	[]	
Combustión de otro tipo de biomasa		
Caña de azúcar	[]	
Tapioca	[]	
Algodón	[]	
Bambú	[]	
Banana	[]	
Residuos de cosecha	[]	
Otros (por favor especificar)	[]	
Otros (por favor especificar)	[]	
Dirección		
Contacto (Nombre, posición, número de teléfono y fax, Correo electrónico)		
Tipo de operación	Por lotes (p.ej. 100 kg por lote)	[]
	Semi-continuo (p.ej. 8 horas por día)	[]
	Continuo (24 horas por día)	[]
Capacidad/Operación anual (por unidad)	t/h (toneladas por hora) ó TJ/h (Terajoule por hora)	
	h/d (horas por día)	
	d/s (días por semana)	
	t/d (toneladas por día) ó TJ/h (Terajoule por hora)	
	d/a (días por año)	
	h/a (horas por año)	
Capacidad/Operación anual	t/a (toneladas por año) ó TJ/h (Terajoule por hora)	
	d/a (días por año)	
	h/a (horas por año)	
Tipo de horno/combustor	TJ/a (Terajoule por año)	
	Caldera	
	Calefactor de proceso	
	Combustión con llama	
	Turbina (gas interno)	
	Motor de combustión (interno)	
Otro (por favor especificar)		

Temperatura en el horno	Horno Principal(°C)	
	Cámara Secundaria/postquemador (°C)	
Sistema de control de la control atmosférica (SCCA)	Precipitadores electrostáticos	[]
	Ciclón	[]
	Filtro de mangas	[]
	Depurador húmedo	[]
	Depurador seco	[]
	Inyección de cal	[]
	Inyección de NaOH/álcali	[]
	Inyección carbón activado/cok	[]
	Filtro de carbón activado	[]
	Convertidor catalítico (SCR)	[]
Otro (por favor especificar)	[]	
Ninguno	[]	
Sistema de Recuperación de Calor	Si []	No []
Temperatura de gases	A la entrada del SCCA (°C) []	A la salida del SCCA (°C) []
Caudal de gases de salida	(m ³ /h) (gas seco)	

Evaluación y clasificación final (a completar por el evaluador de los datos)

Clase	Factor de emisión (µg EQT/t)				
	Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos
Actividad anual (t/a)	Liberación anual (g EQT/a)				
	Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos

Cuestionario 4: Categoría 4 – Producción de minerales

Tipo de planta	Cemento	[]
	Cal	[]
	Ladrillo	[]
	Vidrio	[]
	Cerámicos	[]
	Mezcla asfáltica	[]

Dirección		
Contacto (Nombre, posición, número de teléfono y fax Correo electrónico)		
Número de hornos		
Materiales de alimentación (tipo, cantidad = t/a)		
Combustible primario (tipo, cantidad = t/a)		
Combustible secundario/ alternativo (tipo, cantidad = t/a)		
Tipo de proceso	Seco []	Húmedo[]
Tipo de operación	Por lotes (p.ej. 100 kg por lote) Semi-continuo (p.ej. 8 horas por día) Continuo (24 horas por día)	[] [] []
Capacidad operativa anual (por unidad)	t/h (toneladas por hora) h/d (horas por día) d/s (días por semana) t/d (toneladas por día) d/a (días por año) h/a (horas por año) t/a (toneladas por año)	
Capacidad operativa anual (total)	t/h (toneladas por hora) h/d (horas por día) d/s (días por semana) t/d (toneladas por día) d/a (días por año) h/a (horas por año) t/a (toneladas por año)	
Tipo de horno	Horno rotatorio Horno de cuba/vertical Horno de tunel Otro (por favor especificar)	
Temperatura en el Horno	Cámara primaria (°C)	
	Cámara Secundaria/postquemador (°C)	

Sistema de control de la contaminación atmosférica (SCCA)	Precipitador electrostático	<input type="checkbox"/>
	Ciclón	<input type="checkbox"/>
	Filtro de mangas	<input type="checkbox"/>
	Depurador húmedo	<input type="checkbox"/>
	Depurador seco	<input type="checkbox"/>
	Inyección de cal	<input type="checkbox"/>
	Inyección de NaOH/álcali	<input type="checkbox"/>
	Inyección de Carbón activado/cok	<input type="checkbox"/>
	Filtro de carbón activado	<input type="checkbox"/>
	Convertidor catalítico (SCR)	<input type="checkbox"/>
	Ventilador de tiro inducido o forzado	<input type="checkbox"/>
	Otro (por favor especificar)	<input type="checkbox"/>
Ninguno	<input type="checkbox"/>	
Sistema de Recuperación de Calor	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Temperatura de gases	A la entrada del SCCA (°C) <input type="checkbox"/>	A la salida del SCCA (°C) <input type="checkbox"/>
Flujo de gas de salida	(m ³ /h)(gas seco)	

Evaluación y clasificación final (a completar por el evaluador de los datos)

Clase	Factor de emisión (µg EQT/t)				
	Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos
Actividad anual (t/a)	Liberación anual (g EQT/a)				
	Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos

Cuestionario 5: Categoría 5 - Transporte

Región/Provincia/Nación			
Dirección			
Contacto (Nombre, cargo, número de teléfono y fax, e-mail)			
Tipo de combustible	Gasolina con plomo	Gasolina sin plomo	Diesel/Aceite combustible liviano
Consumo nacional anual de combustible en litros por año (L/a)			
Vehículos de pasajeros			
Número de vehículos			
Desempeño anual en carretera por vehículo y kilómetro (km/a)			
Consumo de combustible(L/km; L/a)			
Consumo total anual(L/a)			
SCCA*(Si/No)			
Trasportes de pasajeros/omnibus			
Número de omnibus			
Desempeño anual en carretera por vehículo y kilómetro (km/a)			
Consumo combustible(L/km; L/a)			
Consumo anual total de combustible(L/a)			
Consumo anual en toneladas por año (t/a)			
SCCA (Si/No)			
Omnibus y Camiones			
Número de vehículos			
Desempeño anual en carretera por vehículo y kilómetro (km/a)			
Consumo de combustible(L/km; L/a)			
Consumo anual total de combustible(L/a)			
Consumo anual en toneladas por año (t/a)			
SCCA (Si/No)			
Barcos			
Número de barcos			
Desempeño anual por barco y kilómetro (km/a)			
Consumo combustible(L/km; L/a)			
Consumo anual total de combustible(L/a)			
Consumo anual en toneladas por año (t/a)			
SCCA (Si/No)			

Trenes			
Número de trenes (con cualquiera de los combustibles arriba mencionados)			
Desempeño anual en red de ferrocarril por vehículo y año (km/a)			
Consumo combustible(L/km; L/a)			
Consumo anual total (L/a)			
Consumo anual en toneladas por año (t/a)			
SCCA (Si/No)			

Evaluación y clasificación final (a completar por el evaluador de los datos)

Clase	Factor de emisión (μg EQT/t)				
	Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos
Actividad anual (t/a)	Liberación anual (g EQT/a)				
	Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos

SCCA: significa catalizador para gasolina y remoción de particulado para diesel

Cuestionario 6: Categoría 6 - Procesos de Combustión No Controlada

Región/Provincia/Nación					
Dirección					
Contacto (Nombre, cargo, número de teléfono y fax, e-mail)					
Quema de biomasa					
Tipo de biomasa, p. ej. pino, caña de azúcar, etc.	Cantidad de biomasa quemada por hectárea (t/ha)	Área quemada por hectárea y año (ha/a)		Cantidad de biomasa quemada en toneladas por año (t/a)	
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
Total					
Quema de desechos a cielo abierto e incendios accidentales					
Estadísticas generales de desechos					
Tons de desechos generados	Per capita y día		Per capita y año		Nacional por año (t)
Tipo de fuentes	Cantidad de desecho quemado per capita (t/a)		Número de habitantes		Cantidad de desecho quemado por año (t/a)
	(%)	(t/a)	(%)	(t/a)	(%) (t/a)
1) Incendios de vertederos					
2) Quema incontrolada de desechos domésticos					
3) Quema a cielo abierto de madera (construcción/demolición)					
Alcance regional/provincial/nacional					
	Número de casas quemadas por año (nº/a)		Número de vehículos quemados por año (nº/a)		
4) Incendios accidentales en casas, fábricas					
5) Incendios accidentales de vehículos					

Evaluación y clasificación final (a completar por el evaluador de los datos)

Clase	Factor de emisión (μg EQT/t)				
	Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos
Actividad anual (t/a)	Liberación anual (g EQT/a)				
	Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos

Cuestionario 7: Categoría 7 – Producción y Uso de Sustancias Químicas y Bienes de Consumo (liberaciones al aire y al agua)

Industria química: Tipo de planta	Industria de la pasta y el papel: Pasta	[]
	Industria de la pasta y el papel: Papel (primario o reciclado)	[]
	Pulpa y papel - integrados	[]
	Producción de organoclorados	
	Dicloruro de etileno	[]
	PVC	[]
	Plaguicidas (pentaclorofenol, 2,4,5-T, 2,4-D)	[]
	Producción de gas cloro (electrodos de grafito)	[]
Refinerías de la industria del petróleo	[]	
Dirección		
Contacto (Nombre, cargo, número de teléfono y fax, e-mail)		
Capacidad: Consumo de materia prima (tipo, cantidad = t/a)		
Capacidad: Producto final de la materia prima (tipo, cantidad = t/a)		
Tipo de proceso	Lecho fijo Lecho fluidizado Otro	[] [] []
Tipo de operación	Por lotes (p.ej. 100 kg por lote) Semi-continuo (p.ej. 8 horas por día) Continuo (24 horas por día)	[] [] []
Capacidad/Operación anual (por unidad)	t/h (toneladas por hora) h/d (horas por día) d/s (días por semana) t/d (toneladas por día) d/a (días por año) h/a (horas por año) t/a (toneladas por año)	
Capacidad/Operación anual (total)	t/h (toneladas por hora) h/d (horas por día) d/s (días por semana) t/d (toneladas por día) d/a (días por año) h/a (horas por año) t/a (toneladas por año)	

Temperatura de Operación/Producción	°C	
Descarga de agua (L/h, m ³ /a)		
Tratamiento de agua	Laguna de sedimentación Laguna aireada Tratamiento secundario Tratamiento terciario Otros (por favor especificar)	[] [] [] [] []
Generación de lodos		
Disposición de lodos	Vertedero (t/a) Laboreo orgánico (t/a) In situ (t/a) Incineración (t/a) Otros (por favor especificar) (t/a)	
Tipo de Sistema de Control de la Contaminación Atmosférica (SCCA)	Precipitadores electrostáticos Ciclón Filtro de tela Depurador húmedo Depurador seco Inyección de cal Inyección de NaOH Carbón activado/inyección de cok Filtro de carbón activado Convertidor catalítico/sistema SCR Ventilador de tiro forzado o inducido Otro (por favor especificar) Ninguno	[] []
Temperatura de los gases	A la entrada del SCCA (°C) []	A la salida del SCCA (°C) []
Caudal de gases de salida	(m ³ /h) (gas seco)	

Evaluación y clasificación final (a completar por el evaluador de los datos)

	Factor de emisión (µg EQT/t)				
Clase	Atmósfera	Agua	Tierra	Productos	Residuos
	Liberación anual (g EQT/a)				
Actividad anual (t/a)	Atmósfera	Agua	Tierra	Productos	Residuos

10 ANEXO 3: PRESENTACIÓN DE LOS INVENTARIOS

10.1 Ejemplos de cuadros para el Inventario

En el Cuadro 75 se da un ejemplo con números expuesto en hoja EXCEL y con los datos sobre liberaciones anuales recogidos en la hoja distribuida. 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 fragmentador, 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 el aire, con un total de 150 g de EQT al año y con residuos, que aportan 552 g de EQT por año. La mayor parte de los PCDD/PCDF en los residuos proceden de la contaminación en las cenizas volantes. Los datos sobre liberaciones al aire 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 tecnología más avanzada. Este incinerador emitió 87,5 g de EQT en el año de referencia mientras que un incinerador avanzado, que aplique BAT y queme el doble de la masa (500.000 t/a), sólo libera 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. Tales ejemplos se dan para países que han aplicado exitosamente el Instrumental desde el Cuadro 76 al Cuadro 85.

Cuadro 75: Copia de un ejemplo de cuadro generado por el programa EXCEL en el que se muestran datos de entrada y de salida para liberaciones al aire, agua, tierra, y con productos y residuos

Categorías de fuentes	Posibles vías de liberación (µg de EQT/t)				Producción t/a	Liberación anual							
	Aire	Agua	Tierra	Prod.		Cenizas volantes	Cenizas depositadas	g de EQT/a	Agua	Tierra	Cenizas volantes	Cenizas depositadas	g de EQT/a
Incineración de desechos													
Incin. de desechos sólidos municipales					2750000								
Comb. Baja tecnología, sin sistemas CCA	3500		NA	NA		0	75					532	18,5
Combustión controlada, CCA mínimo	350		NA	NA	250000	500	15					125	3,75
Combustión controlada, buen CCA	30		NA	NA	2000000	200	7					400	14
Comb. Alta tecnología, CCA sofisticado	0,5		NA	NA	500000	15	1.5					7,5	0,75
Incineración de desechos peligrosos					1000							0	0
Comb. Baja tecnología, sin sistemas CCA	35000		NA	NA	0	9000						0	0
Combustión controlada, CCA mínimo	350		NA	NA	200	900						0,18	0
Combustión controlada, buen CCA	10		NA	NA	500	450						0,225	0
Comb. Alta tecnología, CCA sofisticado	0,75		NA	NA	300	30						0,009	0
Incin. de desechos médicos/hospitalarios					2000							0	0,01
Comb. no controlada por lotes, sin CCA	40000		NA	NA								0	0
Combustión controlada, por lotes, sin CCA o mínimo	3000		NA	NA	500							0	0,01
Combustión controlada por lotes, buen CCA	525		NA	NA	1000	920						0,92	0
Combustión de alta tecnología, continua, CCA sofisticado	1		NA	NA	500	150						0,075	0
Incineración de desechos de Fragmentación, fracción ligera *					0								
Incin. de lodos de alcantarilla *					0								
Comb. de desechos de madera*					0								
Incin. de cadáveres de animales*					0								
Incineración de desechos					2753000							534	18,5
												0	552

* Se omiten subcategorías para ocupar menos espacio.

11 INVENTARIOS NACIONALES DE PCDD/PCDF REALIZADOS CON EL INSTRUMENTAL

Desde la presentación del Instrumental BORRADOR en enero de 2001, la metodología del Instrumental se ha aplicado en muchos países. Algunos de ellos han finalizado el trabajo de inventarios. El resumen de los resultados se presenta en los Cuadros que van desde el 76 (por favor tener en cuenta las diferentes unidades!)

Cuadro 76: Inventario de liberación de PCDD/PCDF de Uruguay (DINAMA 2002)

Categorías	Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos
Incineración de desechos	4,8	0,0	0,0	0,0	0,03
Producción de metales ferrosos y no ferrosos	1,25	0,0	0,0	0,0	1,60
Producción de energía	1,14	0,0	0,0	0,0	0,15
Productos minerales	0,91	0,0	0,0	0,0	0,12
Transporte	1,36	0,0	0,0	0,0	0,0
Combustión incontrolada	7,65	0,0	1,8	0,0	6,10
Sustancias químicas/Pulpa	0,004	0,17	0,0	0,6	0,01
Varios	0,016	0,0	0,0	0,0	0,004
Evacuación de desechos	0,000	0,2	0,0	0,015	0,075
Total	17,1	0,4	1,8	0,6	8,1

Cuadro 77: Inventario de liberaciones de PCDD/PCDF de Jordania, año de referencia 2000 (MoE Jordan 2003)

Cat	Categorías de fuentes	Liberaciones anuales (g EQT/a)					Total
		Aire	Agua	Tierra	Prod.	Resid.	
1	Incineración de desechos	4,04	0,0	0,0	0,0	0,3	4,3
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	0,79	0,0	0,0	0,0	1,9	2,7
3	Generación de energía y calefacción	0,46	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5
4	Producción de productos minerales	0,74	0,0	0,0	0,0	0,1	0,8
5	Transporte	0,77	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8
6	Procesos de combustión no controlados	46,8	0,0	0,0	0,0	3,1	49,9
7	Producción de sustancias químicas y bienes de consumo	0,0	0,0	0,0	0,34	0,0	0,3
8	Varios	0,001	0,0	0,0	0,0	0,0	0,001
9	Evacuación, vertederos	0,014	0,64	0,0	0,0	11,2	11,9
1-9	Total	53,6	0,64	0,1	0,1	16,5	71,1

Cuadro 78: Inventario de liberaciones de PCDD/PCDF de Filipinas, año de referencia 1999 (ITDI 2003)

	Categorías de fuente	Liberaciones anuales (g EQT/a)					Total/ Sector
		Aire	Agua	Tierra	Prod.	Resid.	
1	Incineración de desechos	37,8	0,0	0,0	0,0	3,72	41,6
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	8,7	0,0	0,0	0,0	1,89	10,6
3	Generación de energía y cocina	142,8	0,0	0,0	0,0	14,39	157,2
4	Producción de productos minerales	2,5	0,0	0,0	0,0	0,04	2,6
5	Transportes	0,12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
6	Procesos de combustión no controlados	135,5	0,0	46,9	0,0	4,73	187,1
7	Producción de sustancias químicas y bienes de consumo	0,0	0,605	0,0	77,6	13,32	91,6
8	Varios	0,23	0,0	0,0	0,0	0,001	0,23
9	Evacuación, vertederos	0,0	43,20	0,0	0,0	11,2	43,2
10	Identificación de posibles puntos calientes						
1-9	Total	327,7	43,80	46,9	77,6	38,1	534,1

Cuadro 79: Inventario de liberaciones de PCDD/PCDF para Brunei Darussalam; año de referencia 2001 (DEPR 2003)

Cat	Categorías de fuente	Liberaciones anuales (mg EQT/a)					Total/Todos los medios*
		Aire	Agua	Tierra	Prod.	Resid.	
1	Incineración de desechos	585,0	-	-	-	3,9	588,9
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	0,09	0,002	0	0	0	0,09
3	Generación de energía y calefacción	23,0	-	-	-	-	23,0
4	Producción de productos minerales	18,9	-	-	42,80	-	61,7
5	Transporte	67	-	-	-	-	67,0
6	Procesos de combustión no controlados	48,5	-	30,9	-	0,8	80,2
7	Producción de sustancias químicas y bienes de consumo	0	0	0	0	0	0
8	Varios	6,7	-	-	-	0,01	6,8
9	Evacuación, vertederos	-	23,0	-	0,050	550,8	573,8
10	Identificación de posibles puntos calientes						
1-9	Total	749,2	23,0	30,9	42,85	555,0	1401

* Total de todas las liberaciones de cada sub-categoría

Cuadro 80: Inventario de liberaciones de PCDD/PCDF Líbano; año de referencia 1999/2001 (MoE Líbano 2003)

Cat	Categorías de fuente	Liberaciones anuales (g EQT/a)					
		Aire	Agua	Tierra	Prod.	Resid.	Total
1	Incineración de desechos	11,6	0,0	0,0	0,0	0,1	11,6
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	1,9	0,0	0,0	0,0	4,0	5,90
3	Generación de energía y calefacción	0,35	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35
4	Producción de productos minerales	0,52	0,0	0,0	0,0	0,0	0,55
5	Transporte	2,46	0,0	0,0	0,0	0,0	2,46
6	Procesos de combustión no controlados	21,0	0,0	0,055	0,0	33,0	54,04
7	Producción de sustancias químicas y bienes de consumo	0,70	0,0	0,0	0,024	0,0	0,75
8	Varios	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	Evacuación, vertederos controlados	0,035	0,964	0,0	0,781	0,0	1,78
10	Identificación de posibles puntos calientes						
1-9	Total	38,5	1,0	0,1	0,8	37,1	77,5

Cuadro 81: Inventario de liberaciones preliminar de PCDD/PCDF de Tailandia año de referencia 1999 (PCD 2002)

Cat	Categorías de fuente	Liberaciones anuales (g EQT/a)				
		Aire	Agua	Tierra	Prod.	Resid.
1	Incineración de desechos	247,2	0	0	0	30
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	20,4	0	0	0	1
3	Generación de energía y calefacción	40,2	0	0	0	0
4	Producción de productos minerales	10,0	0	0	0	0,14
5	Transporte.	7,3	0	0	0	0
6	Procesos de combustión no controlados	632,3	0	0	0	292
7	Producción de sustancias químicas y bienes de consumo	0,4	1,35	0	8,4	382
8	Varios	27,2	0	0	0	0
9	Evacuación/vertederos	0	0	0	0	0
10	Identificación de posibles puntos calientes					
1-9	Total	985	1,4	0	8,4	705

Cuadro 82: Inventario de liberaciones de PCDD/PCDF de Polonia, año de referencia 2000* ** (Lassen *et al.* 2003)

Cat	Categorías de fuente	Liberaciones anuales (g EQT/a)				
		Aire	Agua	Tierra	Prod.	Resid.
1	Incineración de desechos	140				86
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	80	0,05?	?		140?
3	Generación de energía y calefacción	62		?	?	55
4	Producción de productos minerales	18				0,63?
5	Transporte	3,6				?
6	Procesos de combustión no controlados	180		6,6?		2101.1??
7	Producción de sustancias químicas y bienes de consumo	0,07	0,04?		11	0,1?
8	Varios	1,7			0,14?	35
9	Evacuación, vertederos	?	1,1?		0,03	?
10	Identificación de posibles puntos calientes					
1-9	Total	490	1,2?	6,6?	11?	530?

* La mayoría de las estimaciones fueron obtenidas de la aplicación del Instrumental; unas pocas se basan en datos propios medidos

** Sólo se dan medianas; la publicación original lista rangos de liberaciones al aire, agua y producto. Un campo vacío indica que la ruta de liberación se considera insignificante

? Indica que la ruta de liberación puede ser significativa, pero no había factor de emisión disponible

? Este signo detrás de un número indica que el valor puede estar subestimado dado que algunas subcategorías no han sido cuantificadas

Cuadro 83: Inventario de liberaciones de PCDD/PCDF de Estonia, año de referencia 2000 (Lassen *et al* 2003)

Cat	Categorías de fuente	Liberaciones anuales (g EQT/a)				
		Aire	Agua	Tierra	Prod.	Resid.
1	Incineración de desechos	0,19				0,47
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos					
3	Generación de energía y calefacción	4,9				5,8
4	Producción de productos minerales	0,39			?	0,06?
5	Transportes	0,04				?
6	Procesos de combustión no controlados	8,1	?	0,12?		4,4?
7	Producción de sustancias químicas y bienes de consumo	0,004?	0,15		0,03	0,6?
8	Varios	0,04			0,002	0,009?
9	Evacuación, vertederos					3,9
10	Identificación de posibles puntos calientes	?				
1-9	Total	14?	0,15?	0,12?	0,03?	15?

* Sólo se dan medianas; la publicación original lista rangos de liberaciones al aire, agua y producto. Un campo vacío indica que la ruta de liberación se considera insignificante.

? Indica que la ruta de liberación puede ser significativa, pero no había factor de emisión disponible

? Este signo detrás de un número indica que el valor puede estar subestimado dado que algunas subcategorías no han sido cuantificadas

Cuadro 84: Inventario de liberaciones de PCDD/PCDF de Latvia, año de referencia 2000 (Lassen *et al* 2003)

Cat	Categorías de fuente	Liberaciones anuales (g EQT/a)				
		Aire	Agua	Tierra	Prod.	Resid.
1	Incineración de desechos	0,98				0,28
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	1,5	?	?	?	7,0?
3	Generación de energía y calefacción	3,1				0,72
4	Producción de productos minerales	0,51	?	?	?	0,01?
5	Transporte	0,5				?
6	Procesos de combustión no controlados	16	?	0,24		22
7	Producción de sustancias químicas y bienes de consumo					0,004
8	Varios	0,02		?		2,0
9	Evacuación, vertederos		0,18			2,0
10	Identificación de posibles puntos calientes	?	?	?		
1-9	Total				?	32?

* Sólo se dan medianas; la publicación original lista rangos de liberaciones al aire y agua. Un campo vacío indica que la ruta de liberación se considera insignificante.

? Indica que la ruta de liberación puede ser significativa, pero no había factor de emisión disponible

? Este signo detrás de un número indica que el valor puede estar subestimado dado que algunas subcategorías no han sido cuantificadas

Cuadro 85: Inventario de liberaciones de PCDD/PCDF de Lituania, año de referencia 2000 (Lassen *et al* 2003)

Cat	Categorías de fuente	Liberaciones anuales (g EQT/a)				
		Aire	Agua	Tierra	Prod.	Resid.
1	Incineración de desechos	0,36?				
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	0,09	?		?	
3	Generación de energía y calefacción	2,6				
4	Producción de productos minerales	0,38	?		?	
5	Transporte	0,07				?
6	Procesos de combustión no controlados	14	?	0,29?		
7	Producción de sustancias químicas y bienes de consumo	?	?		0,42	?
8	Varios	0,08			0,00004?	
9	Evacuación, Vertederos		0,1?		0,02?	
10	Identificación de posibles puntos calientes	?	?	?		
1-9	Total	17?	0,1?	0,29?	0,43?	18?

* Sólo se dan medianas; la publicación original lista rangos de liberaciones al aire, agua y producto. Un campo vacío indica que la ruta de liberación se considera insignificante.

? Indica que la ruta de liberación puede ser significativa, pero no había factor de emisión disponible

? Este signo detrás de un número indica que el valor puede estar subestimado dado que algunas subcategorías no han sido cuantificadas

12 ANEXOS TÉCNICOS

12.1 Factores de Equivalencia de Toxicidad (FET)

Diversos organismos reglamentarios han desarrollado 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 aproximación se basa en la observación de que estos compuestos tienen un mecanismo de acción común, mediado por receptores. Pero la aproximación de considerar los FET tiene limitaciones debido a que se han realizado 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 como solo Equivalente de toxicidad (EQT). Los FET son particularmente útiles para expresar la toxicidad acumulada 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 esquemas: 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 esquemas se muestran en el Cuadro 86. Aquí se muestran solamente los FET para la evaluación del riesgo de seres humanos y mamíferos, aunque 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 86: Factores de Equivalencia de Toxicidad (FET) – comparación entre los dos esquemas más frecuentemente utilizados

Congéneres	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.

12.2 Uso de unidades en las emisiones al aire

Cuando se informan las concentraciones en aire, se debe tener cuidado respecto a las unidades de base dadas. Se aplican las siguientes definiciones:

- m^3 Metro cúbico: es la unidad SI de volumen y se puede usar para expresar el volumen de cualquier sustancia, ya sea sólido, líquido, o gas
- Nm^3 Normal metro cúbico: se refiere al volumen de cualquier gas a 0°C y a 1 atm (101.325 kPa)
En los países de Europa y para emisiones de desechos municipales (también co-combustión de desechos): el Nm^3 se define en las siguientes condiciones: 101.325 kPa (= 1 atm), 273,15 K, de gas seco, y 11 % de oxígeno. Para emisiones de otros tipos de plantas térmicas/combustión, no hay requerimientos de normalización a 11 % de oxígeno.
- Rm^3 en Canadá: Metro cúbico de referencia. Cuando se usa R, las condiciones son 25°C, 1 atm, en seco. La necesidad de corrección de oxígeno debería estar explícitamente establecida, pero a veces no lo está. El estándar que se utiliza en todo Canada es con correcciones al 11 % de oxígeno para incineradores y calderas de industrias de pulpa y papel costeras que queman residuos de madera cargadas de sal. Para otros sectores tales como las plantas de sinterizado, se ha decidido no usar corrección de oxígeno.
- Sm^3 en E.E.U.U: Es el metro cúbico estandar en seco (representado como mces) a 1 atmósfera de presión y 20 grados Celsius (68 grados F). La concentración de contaminante se corrige a algún porcentaje de oxígeno estándar o dióxido de carbono en los gases de combustión en los gases de combustión, generalmente 7 % oxígeno y 12 % de dióxido de carbón.

12.3 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) la masa de 1 tonelada de material de entrada. En ciertos casos sólo y no a 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 87: 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 88: 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 89: 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 90: 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 91: 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 92: Valores calóricos de la biomasa

Tipo de biomasa	Valor calórico
Cáscaras de coco	17–19 MJ/kg
Cáscaras 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

12.4 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 11.2. 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 0,000008;

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.

12.5 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 93.

Cuadro 93: 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 elemental	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 etildiaminotetraacético (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 elemental 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 brillantez.

En la actualidad se ha ido haciendo cada vez más frecuente la designificación 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.