NACIONES UNIDAS

SC

UNEP/POPS/COP.2/INF/5

Distr.: General
30 de enero de 2006

Español
Original: Inglés

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

Conferencia de las Partes en el Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes
Segunda reunión
Ginebra, 1 a 5 de mayo de 2006
Tema 5 b) ii) del programa provisional*

Cuestiones que se someterán al examen de la Conferencia de las Partes o respecto de las cuales deberá adoptar una decisión: Medidas para reducir o eliminar las liberaciones derivadas de la producción no intencional: identificación y cuantificación de liberaciones

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

Nota de la secretaría

Como consta en el documento UNEP/POPS/COP.2/8, la segunda edición del Instrumental normalizado para la determinación y cuantificación de liberaciones de dioxinas y furanos figura en el anexo de la presente nota. Todavía no ha sido oficialmente editada.

* UNEP/POPS/COP.2/1.

** Artículo 5 y anexo C del Convenio de Estocolmo; informe del Comité Intergubernamental de Negociación sobre la labor de su séptimo período de sesiones (UNEP/POPS/INC.7/28), anexo I, decisión INC-7/5; Informe de la Conferencia de las Partes acerca de la labor realizada en su primera reunión (UNEP/POPS/COP.1/31), párrafo 39.

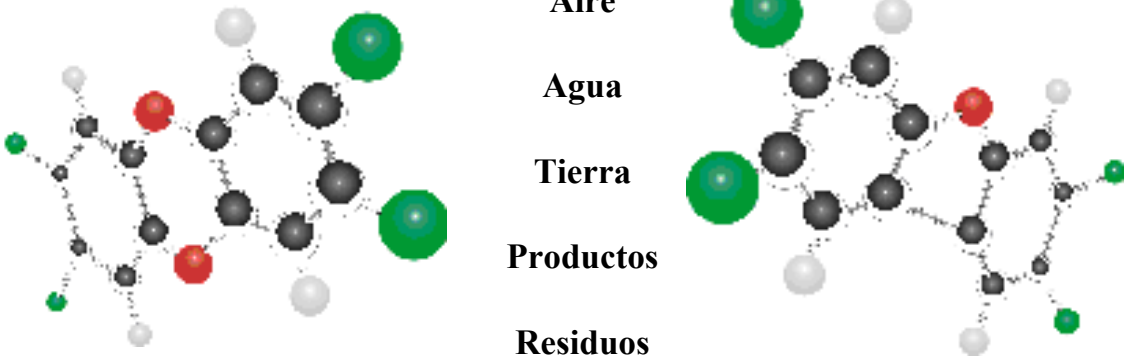
K0650420 160306 160306

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

PROGRAMA DE LAS NACIONES
UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE

PNUMA

Instrumental Normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos



2da edición
Febrero de 2005

Preparado por PNUMA Productos Químicos
Ginebra, Suiza

IOMC PROGRAMA INTERINSTITUCIONAL PARA EL MANEJO ADECUADO DE LOS PRODUCTOS QUIMICOS
Un acuerdo de cooperación entre PNUMA, OIT, FAO, OMS, ONUDI, UNITAR y OCDE

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE

PNUMA

Instrumental Normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos

2da edición
Febrero de 2005

Preparado por PNUMA 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 fue actualizada bajo la coordinación de la Dra. Heidelore Fiedler, de PNUMA Productos Químicos, tomando como base la primera edición de mayo de 2003 y sobre comentarios de las organizaciones gubernamentales y no gubernamentales de acuerdo a la decisión 7/5 de la Séptima Reunión del Comité Intergubernamental de Negociación del Convenio de Estocolmo.

En la carátula: Moléculas de 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-dioxina y tetraclorodibenzo-furano, cortesía de Wellington Labs, Guelph, ONT, Canadá.

Esta publicación se produce dentro del 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.

Material in this publication may be freely quoted or reprinted, but acknowledgement is requested together with a reference to the document number. A copy of the publication containing the quotation or reprint should be sent to UNEP Chemicals.

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,
International Environment House
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, forma parte de la División de Tecnología, Industria y Economía del PNUMA

PNUMA
PRODUCTOS QUIMICOS

Febrero de 2005

Prefacio

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

El Instrumental es flexible y puede ser aplicado a todos los países. Los países sin ningún dato de PCDD/PCDF, encontrarán que el Instrumental resulta útil para barrer las actividades industriales y otras actividades con el objeto de realizar las primeras estimaciones acerca de la escala de las fuentes potenciales de PCDD/PCDF y sus liberaciones. Los países que cuentan con datos medidos pueden, por su parte, usar el Instrumental para revisar y actualizar el alcance de sus inventarios, como así también para buscar coincidencia entre sus datos y los provistos por el Instrumental.

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

La segunda edición del "Instrumental Normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberación de Dioxinas y Furanos" (Instrumental) presenta una actualización de la 1ra. versión editada por el PNUMA Productos Químicos en Mayo de 2003. Esta actualización fue desarrollada en respuesta a la decisión CNI-7/5 del Comité Intergubernamental de Negociación de COP (CIN) en su Septima Sección de Julio de 2003. A través de tal decisión, el CIN "Requiere al Secretariado...preparar y editar una revisión del Instrumental para ser presentado en la primer Reunión de la Conferencia de las Partes". Esta revisión refleja los comentarios de las organizaciones gubernamentales y no gubernamentales.

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.

Se invita a los países a usar el Instrumental para remitir al PNUMA sus propios inventarios, lo que permitirá actualizar 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 COPs (http://www.chem.unep.ch/pops). El PNUMA invita, además, a todos los usuarios del Instrumental a retroalimentar este producto en todos los aspectos.

Ginebra, febrero de 2005

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

Indice

Página

Prefacio 1
Indice i
Indice de Tablas v
Indice de figuras viii
Abreviaturas y acrónimos ix
Resumen Ejecutivo 1
1 Introduccion 5
2 Objetivos y Limitaciones 8
2.1 Objetivos 8
Limitaciones 10
2.3 Lectura adicional 12
3 FORMACIÓN Y LIBERACIÓN DE PCDD Y PCDF 14
3.1 Formación de PCDD/PCDF 14
3.2 Liberaciones directas de PCDD/PCDF 18
3.2.1 Liberaciones a la atmósfera 18
3.2.2 Liberaciones al agua 19
3.2.3 Liberaciones a la tierra 20
3.2.4 Liberaciones en productos 21
3.2.5 Liberaciones en residuos 21
3.2.6 Puntos Calientes Potenciales 23
4 Protocolo para la preparación del inventario 24
4.1 Etapa 1: Matriz de selección: Principales categorías de fuentes 25
4.2 Etapa 2: Identificación de subcategorías 26
4.2.1 Subcategorías de la incineración de desechos 27
4.2.2 Subcategorías de la producción de metales ferrosos y no ferrosos 27
4.2.3 Subcategorías de generación de energía y calor 28
4.2.4 Subcategorías de la Producción de Productos Minerales 29
4.2.5 Subcategorías de transporte 30
4.2.6 Subcategorías de Procesos de Quema a Cielo Abierto 30
4.2.7 Subcategorías de producción y uso de sustancias químicas y bienes de consumo 31
4.2.8 Subcategorías de Misceláneos 32
4.2.9 Subcategorías de disposición final 32
4.2.10 Subcategorías de puntos calientes 33
4.3 Etapa 3: Recopilación de información 34
4.4 Etapa 4: Clasificación de procesos y cuantificación de fuentes 35

4.4.1 Clasificación de procesos ... 36
4.4.2 Cuantificación de fuentes ... 37
4.4.3 Determinación del flujo o tasa de actividad ... 40
4.4.4 Utilización de los factores de emisión por defecto del Instrumental ... 40
4.4.5 Uso de datos de emisión propios ... 41
4.5 Etapa 5: Compilación del inventario ... 41
5 Presentación del inventario ... 42
5.1 Establecimiento de un inventario provisional ... 42
5.2 Informe final ... 43
6 Factores de emisión por defecto ... 45
6.1 Categoría principal 1 – Incineración de desechos ... 45
Pertinente al Artículo 5, Anexo C ... 46
6.1.1. Desechos sólidos municipales ... 46
6.1.2. Incineración de desechos peligrosos ... 50
6.1.3. Incineración de desechos médicos ... 54
6.1.4. Incineración de desechos de fragmentación, fracción ligera ... 57
6.1.5. Incineración de lodos cloacales ... 59
6.1.6. Incineración de desechos de madera y de biomasa ... 62
6.1.7. Combustión de cadáveres de animales (carcasas animales) ... 64
6.2. Categoría principal 2 – Producción de Metales Ferrosos y No Ferrosos ... 66
Pertinente al Artículo 5, Anexo C ... 69
6.2.1 Sinterización del Mineral de Hierro ... 70
6.2.2 Producción de coque ... 73
6.2.3 Plantas de producción de hierro y acero ... 74
6.2.4 Producción de cobre ... 82
6.2.5 Producción de aluminio ... 87
6.2.6 Producción de plomo ... 90
6.2.7 Producción de zinc ... 93
6.2.8 Producción de latón y bronce ... 95
6.2.9 Producción de magnesio ... 97
6.2.10 Producción de otros metales no ferrosos ... 99
6.2.11 Fragmentadoras ... 101
6.2.12 Recuperación térmica de cables ... 103
6.3 Categoría principal 3 – Generación de energía y calor ... 105
Pertinente al Artículo 5, Anexo C ... 105
6.3.1 Centrales de energía de combustibles fósiles ... 106
6.3.2 Centrales de energía de biomasa ... 109
6.3.3 Combustión de gas de rellenamiento sanitario/biogás ... 112
6.3.4 Calefacción y cocina doméstica con biomasa ... 113
6.3.5 Calefacción doméstica y cocina con combustibles fósiles ... 115
6.4 Categoría principal 4 – Productos minerales ... 118
Pertinente al Artículo 5, Anexo C ... 118
6.4.1 Producción de cemento ... 118
6.4.2 Producción de cal ... 123
6.4.3 Producción de ladrillos ... 125

6.4.4 Producción de vidrio 127
6.4.5 Producción de cerámica 128
6.4.6 Mezclado del asfalto 128
6.5. Categoría principal 5 – Transporte 132
Pertinente al Articulo 5, Anexo C 132
6.5.1 Motores de 4 tiempos 133
6.5.2 Motores de 2 tiempos 134
6.5.3 Motores diesel 135
6.5.4 Motores a aceite pesado 136
6.6 Categoría principal 6 – Procesos de Combustión a Cielo Abierto 138
Pertinente al Artículo 5, Anexo C 138
6.6.1 Quema de biomasa 138
6.6.2 Quema de desechos e incendios accidentales 142
6.7 Categoría Principal 7 - Producción y uso de sustancias/productos químicos y bienes de consumo 147
Pertinente al Articulo 5, Anexo C 147
6.7.1 Producción de pasta/pulpa y papel 148
6.7.2 Industria química 158
6.7.3 Industria del petróleo 177
6.7.4 Producción Textil 179
6.7.5 Refinado del cuero 182
6.8 Categoría principal 8 - Misceláneos 183
Pertinente al Articulo 5, Anexo C 183
6.8.1 Desecado de biomasa 183
6.8.2 Crematorios 184
6.8.3 Ahumaderos 186
6.8.4 Limpieza a seco 188
6.8.5 Consumo de tabaco 189
6.9 Categoría principal 9 – Disposición final/rellenamiento sanitario 190
Pertinente al Artículo 5, Anexo C 191
6.9.1 Rellenamientos y vaciaderos a cielo abierto 191
6.9.2 Desagües cloacales y su tratamiento 193
6.9.3 Vertidos a aguas abiertas 196
6.9.4 Compostado 197
6.9.5 Tratamiento de desechos de aceites (no térmicos) 198
6.10 Categoría principal 10 – Puntos calientes 200
6.10.1 Lugares de producción de sustancias orgánicas cloradas 200
6.10.2 Lugares de producción de cloro 200
6.10.3 Lugares de formulación de fenoles clorados 201
6.10.4 Lugares de aplicación de fenoles clorados 201
6.10.5 Fabricación de madera y lugares de tratamiento 201
6.10.6 Transformadores y capacitores con PCB 201
6.10.7 Vaciaderos a cielo abierto/Residuos de categorías 1-9 202
6.10.8 Lugares donde se hayan producido accidentes importantes 203
6.10.9 Dragado de sedimentos 203
6.10.10 Lugares donde hay caolina o arcilla plástica 203

7 Referencias 205
8 Anexo 1: Compilación de todos los factores de emisión 217
9 Anexo 2: Cuestionarios 230
10 Anexo 3: Presentación de los inventarios 244
10 Anexo 3: Presentación de los Inventarios 245
10.1 Ejemplos de Tablas para el Inventario 245
10.2 Inventarios Nacionales de PCDD/PCDF realizados mediante el Instrumental 247
11 Anexos técnicos 249
11.1 Factores de Equivalencia de Toxicidad (FET) 249
11.2 Uso de Unidades en las Emisiones al Aire 251
11.3 Valores Calóricos– Para la Categoría Principal 3 252
11.4 Factores de Conversión de Combustibles Líquidos y Gaseosos – Para las Categorías Principales 3 y 5 255
11.5 Secuencias de Blanqueo– Para la Categoría Principal 7 256

Indice de Tablas

Página

Tabla 1: Emisiones de PCDD/PCDF a la atmosfera de acuerdo a las subcategorías (MoE Jordan 2003) 10
Tabla 2: Matriz de selección – Principales categorías de fuentes 25
Table 3: Subcategorías de la matriz del inventario – Categoría Principal 1 27
Tabla 4: Subcategoría de la matriz del inventario – Categoría Principal 2 28
Table 5: Subcategorías de la matriz del inventario – Categoría Principal 3 29
Tabla 6: Subcategorías de la matriz del inventario – Categoría Principal 4 30
Tabla 7: Subcategorías de la matriz del inventario – Categoría Principal 5 30
Tabla 8: Subcategorías de la matriz del inventario – Categoría Principal 6 31
Tabla 9: Subcategorías de la matriz del inventario – Categoría Principal 7 31
Tabla 10: Subcategorías de la matriz del inventario – Categoría Principal 8 32
Tabla 11: Subcategorías de la matriz del inventario – Categoría Principal 9 33
Tabla 12 Subcategorías de la matriz del inventario – Categoría Principal 10 34
Tabla 13: Subcategorías de la Categoría Principal 1 – Incineración de desechos 46
Tabla 14: Factores de emisión resultantes de la incineración de desechos sólidos municipales 62
Tabla 15: Factores de emisión para la incineración de desechos peligrosos 66
Tabla 16: Factores de emisión para la incineración de desechos médicos 69
Tabla 17: Factores de emisión en la incineración de DFFL 72
Tabla 18: Factores de emisión para la incineración de lodos cloacales 74
Tabla 19: Factores de emisión para la incineración de desechos de madera / biomasa 76
Tabla 20: Factores de emisión para la combustión de cadáveres de animales 78
Tabla 21: Subcategorías de la Categoría Principal 2- Producción de metales ferrosos y no-ferrosos 83
Tabla 22: Factores de emisión para plantas de sinterización de mineral de hierro 85
Tabla 23: Factores de emisión para la producción de coque 87
Tabla 24: Factores de emisión de la industria del acero y de las fundiciones/funderías de hierro 93
Tabla 25: Factores de emisión para la industria del cobre 99
Tabla 26: Factores de emisión de la industria del aluminio 103
Tabla 27: Factores de emisión para la industria del plomo 105
Tabla 28: Factores de emisión para la industria del zinc 108
Tabla 29: Factores de emisión para la industria del latón y del bronce 110
Tabla 30: Factores de emisión en la industria del magnesio 112
Tabla 31: Factores de emisión de procesos térmicos de metales no ferrosos 114
Tabla 32: Factores de emisión para fragmentadoras 116
Tabla 33: Factores de emisión para la recuperación térmica de cables 117

Tabla 34: Subcategorías de la categoría principal de fuentes 3 – Generación de Energía y Calor 119
Tabla 35: Factores de emisión para las plantas de generación de energía y calor; y las plantas de generación de calor/energía en la industria, basada en combustibles fósiles 121
Tabla 36: Factores de emisión para la generación de energía basada en la biomasa 124
Tabla 37: Factores de emisión para la combustión y venteo con llama de biogás/gas de rellenamientos sanitarios 126
Tabla 38: Factores de emisión para calefacción doméstica y cocina basadas en la biomasa 127
Tabla 39: Factores de emisión para la calefacción doméstica basada en combustibles fósiles 130
Tabla 40: Subcategorías de la Categoría Principal 4 – Producción de Productos Minerales 132
Tabla 41: Factores de emisión de la producción de cemento 135
Tabla 42: Factores de emisión en la producción de cal 138
Tabla 43: Factores de emisión en la producción de ladrillos 140
Tabla 44: Factores de emisión de la producción de vidrio 141
Tabla 45: Factores de emisión en el mezclado del asfalto 143
Tabla 46: Factores de emisión para el procesamiento de esquistos bituminoso 145
Tabla 47: Subcategorías de la categoría principal 5 – Transporte 146
Tabla 48: Factores de emisión de motores de 4 tiempos (por ejemplo: automóviles de turismo) 147
Tabla 49: Factores de emisión para los motores de 2 tiempos (por ejemplo, pequeños velomotores) 148
Tabla 50: Factores de emisión para los motores diesel (por ejemplo, camiones) 149
Tabla 51: Factores de emisión para motores a aceite pesado (por ejemplo, barcos) 150
Tabla52: Subcategorías de la Categoría Principal 6 – Procesos de Combustión a Cielo Abierto 152
Tabla 53: Factores de emisión para la quema de biomasa 153
Tabla 54: Factores de emisión de la quema de desechos e incendios accidentales 157
Tabla 55: Subcategorías de la Categoría Principal 7- Producción y uso de sustancias/productos químicos y bienes de consumo 161
Tabla 56: Factores de emisión de la industria de la pasta y el papel: calderas 166
Tabla 57: Factores de emisión para efluentes y lodos de pasta 166
Tabla 58: Factores de emisión de productos de pasta y papel 167
Tabla 59: Concentraciones de PCDF en productos con PCB 178
Tabla 60: Estadísticas de pérdidas a partir de equipos con PCB 179
Tabla 61: Concentraciones de PCDD/PCDF en clorobencenos (Liu *et al*. 2004) 183
Tabla 62: Concentraciones de PCDD/PCDF en clorobencenos (Liu *et al*. 2004) 184
Tabla 63 Factor de emisión para la producción de cloro con electrodos de grafito 185
Tabla 64: Factores de emisión para la industria del EDC/VCM/PVC 187
Tabla 65: Factores de emisión para venteo con llama de gases 192
Tabla 66: Factores de emisión para la industria textil 195
Tabla 67: Factores de emisión de la industria del cuero 196

Tabla 68: Subcategorías de la Categoría Principal 8- Varios 197
Tabla 69: Factores de emisión del desecado de biomasa
* tras el desecado 198
Tabla 70: Factores de emisión de crematorios 199
Tabla 71: Factores de emisión para ahumaderos 201
Tabla 72: Factores de emisión en residuos de limpieza a seco 202
Tabla 73: Factores de emisión del consumo de tabaco 203
Tabla 74: Subcategorías de la Categoría Principal 9- Evacuación 203
Tabla 75: Factores de emisión para rellenos y vaciaderos a cielo abierto/basurales 204
Tabla 76: Factores de emisión de lodos cloacales 207
Tabla 77: Factores de emisión para vertidos a aguas abiertas 211
Tabla 78: Factores de emisión del compostado 212
Tabla 79: Factores de emisión de PCB 216
Tabla 80: Factores de Emisión para la Categoría 1 – Incineración de Desechos 218
Tabla 81: Factores de Emisión para la Categoría 2 – Producción de Metales Ferrosos y Ferrosos 235
Table 82: Factores de Emisión para la Categoría 3 – Generación de Energía y Calor 222
Tabla 83: Factores de emisión para la Categoría 4 – Producción de Productos Minerales 238
Tabla 84: Factores de Emisión para la Categoría 5 – Transporte 224
Tabla 85: Factores de Emisión para la Categoría 6 – Procesos de Quema a cielo abierto 224
Tabla 86: Factores de Emisión para la Categoría 7 – Producción y Uso de Sustancias Químicas y Bienes de Consumo 225
Tabla 87: Factores de Emisión para la Categoría 8 – Misceláneos 227
Tabla 88: Factores de Emisión para la Categoría 9 – Disposición final/ Rellenamiento 228
Tabla 89: Factores de Emisión para Categoría 10- Identificación de puntos Calientes 229

Cuestionario 1 Categoría 1- Incineración de desechos 231
Cuestionario 2: Categoría 2 - Producción de metales ferrosos y no ferrosos 233
Cuestionario 3: Categoría 3 Generación de energía y calefacción 235
Cuestionario 4: Categoría 4 – Produción de minerales 237
Cuestionario 5: Categoría 5 - Transporte 239
Cuestionario 6: Categoría 6 - Procesos de quema a cielo abierto 241
Cuestionarios 7: Categoría 7 – Producción y uso de productos químicos y bienes de consumo (liberaciones al aire y al agua) 257

Tabla 90: Ejemplo de la Hoja de EXCEL que muestra los datos de entrada y salida para las liberaciones al aire, agua, tierra, en productos y residuos para la Categoría 6 (procedente de SEAM 2003) 245
Tabla 91: Ejemplo de inventario nacional de liberaciones de PCDD/PCDF (Paraguay, procedente de SEAM 2003) 246
Tabla 92: Inventarios de liberaciones de PCDD/PCDF hechos con el Instrumental 247
Tabla 93: Factores de Equivalencia de Toxicidad (FET) – comparación entre los dos esquemas más frecuentemente utilizados 250
Tabla 94: Valores calóricos del carbón 267

Tabla 95: Valores calóricos del coque 267
Tabla 96: Valores calóricos del petróleo 267
Tabla 97: Valores calóricos del gas 268
Tabla 98: Valores calóricos de la madera 268
Tabla 99: Valores calóricos de la biomasa 268
Tabla 100: Correlaciones seleccionadas para unidades de energía y potencia 254
Tabla 101: Factores de conversión y equivalentes de energía seleccionados para la Categoría 3 254
Tabla 102: Símbolos utilizados en las etapas de blanqueo 271

Indice de figuras

Página

Error! No table of figures entries found.

Abreviaturas y acrónimos

a	Año, 365 días
AH/ABO	Alto horno/acero básico al oxígeno
AL	Acero líquido
C	Etapa 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. 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	Etapa de blanqueado con dióxido de cloro utilizando una solución acuosa de dióxido de cloro (ClO_2) (producción de pasta y de papel)
DCB	Diclorobenceno
DCE	1,2-dicloroetano
DFFL	Desechos de desguace (o trituración), fracción ligera
DP	Desechos peligrosos
E	Etapa de blanqueado por extracción utilizando hidróxido sólido (NaOH)
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 Emisión Register)
EQT	Equivalente de Toxicidad
EQT-I	Equivalentes de Toxicidad-Internacional

EQT-N	Equivalentes de toxicidad utilizando el esquema nórdico (se usa comúnmente en los países escandinavos)[1]
et al	Del Latín: "y otros"FET Factor de Equivalencia de Toxicidad
FET	Factor de Equivalencia de Toxicidad
FMAM	Fondo para el Medio Ambiente Mundial
GEF	Establecimiento Global del Ambiente (Global Environment Facility)
GLP	Gas licuado de petroleo
h	Hora(s)
H_2SO_4	Acido Sulfúrico (en el contexto de una planta de ácido sulfúrico en la producción de metal no ferroso)
ha	Hectárea(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
IPCS	Programa Internacional en Seguridad en Sustancias Químicas (de la Organización Mundical de la Salud) (International Programme on Chemical Safety)
IPPC	Prevención y Control Integrados de la Contaminación de la Union Europea. (Integrated Pollution Prevention and Control of the European Union)
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

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

Mg	Magnesio
MSW	Desechos sólidos municipales
NA	No aplicable (no es un vector de liberación importante)
Na_2S	Sulfuro de sodio
NaOH	Hidróxido sódico
NCASI	National Council of the Paper Industry) for Air and Steam Improvement, Inc.
ND	No determinado/no datos (en otras palabras: hasta ahora no existen mediciones disponibles)
Nm^3	Metro cúbico normalizado (estándar); volumen de gas ocupado a la presión atmosférica (1,013 mbar) y a 273,15 K (0 °C)
NPI	Nomenclatura Para Informar (NFR: Nomenclature For Report)
NPI/Australia	Inventario Nacional de Contaminantes de Australia (National Pollutant Inventory)
o	*orto*
O	Etapa de blanqueo por oxígeno (producción de pasta y papel)
OCDE	Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico
OMS	Organización Mundial de la Salud
OTAN	Organización del Tratado del Atlántico Norte
OSPAR	Comisión para la Protección del Ambiente Marino del Atlántico Norte-Este (Comisión for the Protection of the Marine Environment)
p	*para*
PARCOM	Comisión París-Oslo
PCB	Bifenilos policlorados
PCD	Departamento de Control de la Contaminación (en el texto, de Tailandia)
PCDD	Dibenzo-*para*-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 quimio-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/
NSCA	Nomenclatura Seleccionada para la Contaminación Atmosférica. En inglés SNAP
SCR	Reducción/reaccion catalitica selectiva
SFT	Autoridad Noruega del Control de la Contaminación
SI	Sistema internacional de Unidades
STP	Sustancias tóxicas persistentes
t	Tonelada (métrica)
TCB	Triclorobenceno
TLC	Totalmente libre de cloro (blanqueo)
tSA	Tonelada secada al aire (de pulpa)
UNCED	Conferencia de Naciones Unidas sobre Ambiente y Desarrollo (acrónimo del inglés United Nations Conference on Environment and Development)
UE	Unión Europea (15 Estados Miembros hasta el 30 de abril de 2004: 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 Commissión 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	10^0 g
mg	miligramo	10^{-3} g
µg	microgramo	10^{-6} g
ng	nanogramo	10^{-9} g
pg	picogramo	10^{-12} g
kJ	Kilojoule	10^3 julios
MJ	Megajoule	10^6 julios
GJ	Gigajoule	10^9 julios
TJ	Terajoule	10^{12} julios
MW	Megawatt	
MWh	Megawatt hora	
Pa	Pascal	
kPa	kilopascal	10^3 Pascal

Unidades no métricas

Galón	1 gal	= 0,1337 ft³ = 0,0038 m³
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 sus liberaciones de PCDDF/PCDF, como así también para guiarlos en el proceso de mejora y refinamiento de tales inventarios. El objetivo del Instrumental es guiar a los que realizan el Inventario de cada país respecto a las técnicas y etapas de este último, suministrando a tal fin ejemplos y parámetros de chequeo para la clasificación. El Instrumental también señala las vías por las cuales los PCDD/PCDF ingresan al ambiente o a otras matrices, caracterizando, por último, a las liberaciones por orden de magnitud y por sectores, como un todo.

En el mundo entero no hay más que un pequeño número de inventarios nacionales que informan acerca de las liberaciones de dibenzo-*p*-dioxinas policloradas y dibenzofuranos policlorados (PCDD/PCDF). Una revisión efectuada por Productos Químicos, PNUMA, en 1999 (Productos Químicos, PNUMA, 1999) sólo identificó 15 inventarios, casi todos ellos preparados en países desarrollados del hemisferio Norte.

El Convenio de Estocolmo sobre Compuestos Orgánicos Persistentes, un tratado global legalmente vinculante, requiere que las Partes minimicen, y cuando resulte factible, eliminen las liberaciones de PCDD/PCDF. Por consiguiente, es preciso cuantificar las fuentes de COP generados en forma no intencional utilizando para su evaluación una metodología consistente, de manera que se pueda hacer un seguimiento o vigilancia de las liberaciones de dioxinas a lo largo del tiempo y entre distintos países.

Los anteriores inventarios de PCDD/PCDF no son satisfactorios para estos propósitos. La mayoria de ellos resultan incompletos, obsoletos o carecen de una estructura uniforme. Los inventarios que no encaran fuentes potencialmente importantes de PCDD/PCDF, tal vez por insuficiencia de información nacional, sugieren erróneamente que dichas fuentes no son significativas y no necesitan controles efectivos. Además, sólo un pequeño número de inventarios se ocupa de otras liberaciones que no sean las efectuadas al aire.

Para asistir a los países en la identificación de fuentes y en la estimación de liberaciones de dioxinas y furanos, PNUMA Productos Químicos ha preparado un “Instrumental normalizado para la identificación y cuantificación de liberaciones de dioxinas y furanos”. De manera complementaria, PNUMA Productos Químicos está entrenando a los paises en el uso del Instrumental como parte de su programa de desarrollo de capacidades.

El “Instrumental” ha sido conformado usando la experiencia acumulada de aquéllos que han compilado inventarios. Ha sido diseñado como una metodología sencilla y normalizada, acompañada por una base de datos que permita reunir inventarios nacionales y regionales de PCDD/PCDF. Se han desarrollado factores de emisión por defecto que están contenidos en el Instrumental para ser empleados por los países que carecen de datos de PCDD/PCDF medidos en sus propias fuentes. Sin embargo, el Instrumental resulta también aplicable a países que tienen sus propios datos medidos y que desearían utilizar sus propios factores de emisión.

La compilación de inventarios debe ser consistente, eficiente en tiempo y recursos, y lo suficientemente precisa como para identificar confiablemente las principales fuentes y las deficiencias de los datos fundamentales. Para aplicar el Instrumental y compilar un inventario

no es necesario realizar pruebas habiéndose diseñado, además, el proceso, para que sea adaptable. La base de datos de factores de emisión y de descripción de procesos puede revisarse y mejorarse a medida que surjan nuevos datos medidos, pudiendo aplcarse las nuevas cifras 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 relevantes que liberan PCDD y PCDF a la atmósfera, el agua y la tierra, como así también con productos y residuos, en un determinado país, permitiendo su examen para identificar los más importantes.
- **Orientación sobre la recopilación de información** de los procesos importantes, con lo que podrá procederse a la clasificación de tales procesos en clases con liberaciones similares.
- **Una base de datos detallada de factores de emisión** que provea datos por defecto adecuados que puedan aplicarse y resulten representativos de la clase en la cual se ha agrupado el correspondiente proceso. Puede actualizarse esta base de datos en el futuro, a medida que vaya disponiéndose de nuevos datos de liberaciones.
- **Orientacion para el armado y presentación de un inventario** utilizando tanto factores de emisión por defecto como cualquier dato específico del país de que se trate, de manera que los inventarios resultantes sean comparables.

La información sobre liberación de PCDD/PCDF se relaciona con los cinco compartimientos generales y/o medios a los cuales se liberan o transfieren los PCDD/PCDF: atmósfera, agua, tierra, residuos y productos. Para una abordaje amplio, debe considerarse todas las liberaciones de PCDD/PCDF de una dada fuente o actividad (pero no debe concluirse que las liberaciones a todos los compartimientos 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 38). La matriz de selección (Tabla I, 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. Un listado de subcategorías indica cuáles son las actividades de procesamiento detalladas para cada una de las categorías principales. Con respecto a cada tipo de proceso, se dan los parámetros fundamentales o las características del mismo, con lo que pueden asignarse liberaciones a todos los medios sobre los que se dispone de datos. Puede utilizarse información relativamente accesible sobre plantas y procesos, o información más detallada derivada de la aplicación de cuestionarios, a fin de 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 de cada país se amoldará a la situación del mismo. En muchos casos, bastará con los datos estadísticos centralizados**.** Otros pueden requerir la realización de cuestionarios planta por planta, para lo que se brindan ejemplos al respecto. Una vez que se disponga de estadísticas sobre 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 una recopilación de datos más detallados.

Con el fin de que los inventarios sean claros, consistentes y comparables, se suministra orientación para la presentación de resultados, los que 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. Ello permite apreciar las lagunas de datos, las incertidumbres y las diferencias que surgen entre los procesos desarrollados 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

Las 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 sobre Compuestos Organicos 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" (Convención de Estocolmo 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 combatir 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 de Concientización regionales y subregionales para informar a los países acerca de los COP y el Convenio de Estocolmo. Una demanda frecuente de los participantes de esos talleres era que se les ayudase a evaluar las liberaciones de PCDD y PCDF en sus países y/o regiones, expresando la inquietud que les causaban los posibles efectos de dichos compuestos, que surgen como subproductos no deseados en cierto número de procesos.

En 1999, PNUMA Productos Químicos revisó los pocos inventarios nacionales de PCDD/PCDF existentes en ese momento (PNUMA 1999). Lamentablemente, estos inventarios no fueron recopilados de manera comparable. Tampoco había 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 conclusión errónea de que se trata de fuentes no significativas. A partir de 1999 y a lo largo del año 2000, PNUMA Productos Químicos puso en práctica un programa de creación de capacidades y llevó a cabo talleres de formación con el fin de ayudar a los países a preparar la convención relativa a los COP. En Enero de 2001, 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, Francés, y Ruso. Con posterioridad, PNUMA y otros han iniciado proyectos para comprobar el Instrumental en la práctica, habiéndose recopilado varios inventarios de liberaciones de dioxinas y furanos mediante su utilización.

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 orientación provisoria en la evaluación de liberaciones actuales y proyectadas de sustancias químicas listadas en el anexo C del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes 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 relativos a cómo puede actualizarse y ampliarse 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 cuenta los comentarios recibidos así como la experiencia en la práctica de la aplicación del Instrumental en los países, para la consideración del Comité Intergubernamental de Negociación en su próxima sesión."

En esta primera edición, que fue publicada en mayo de 2003 y que ha sido traducida en los seis idiomas de las Naciones Unidas, 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.

En julio de 2003, la Séptima Sesión del Comité Intergubernamental de Negociación " Pide al Secretariado... que prepare y emita una versión revisada del Instrumental para someterlo a la primera reunion de la Conferencia de las Partes". Esta segunda edición del Instrumental toma en cuenta los comentarios y la información adicional recibida de los gobiernos y organizaciones no gubernamentales, como así tambien la información suministrada por los participantes en los talleres del PNUMA y la hallada en la literatura publicada. Finalmente, se ha realizado un intercambio de información y armonización entre el contenido del instrumental y el borrador de directrices sobre las mejores técnicas disponibles y la orientación provisoria sobre las mejores practicas ambientales desarrollados por el grupo de expertos en MTD y MPA (SC BAT/BET 2004).

Debe destacarse que esta segunda edición del Instrumental sólo encara las liberaciones de dibenzo-p-dioxinas policloradas y dibenzofuranos policlorados. No comprende fuentes y liberaciones de los otros dos COP producidos no intencionalmente listados en el anexo C del Convenio de Estocolmo, los bifenilos policlorados (PCB) y el hexaclorobenceno (HCB) como subproductos.

El Instrumental esta diseñado para cubrir como mínimo todas las categorías de fuentes y procesos que están listados en el Anexo C, Partes II y III del Convenio de Estocolmo, de los que se sabe que liberan PCDD/PCDF. Si se identificaran como significativas nuevas fuentes adicionales, éstas se reflejarán en futuras actualizaciones. El Instrumental puede ser usado tanto donde no haya datos medidos disponibles como donde se hayan generado datos nacionales medidos y factores de emision.

Los principales objetivos del Instrumental son:

- Ser amplio, 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 sus liberaciones de PCDD/PCDF, como asimismo para guiarlos en el proceso de mejoramiento y refinamiento de dichos inventarios. El objetivo del Instrumental es orientar a los realizadores de los inventarios dentro de cada país respecto de 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 u otras matrices. Por último, el Instrumental es lo suficientemente robusto como para caracterizar liberaciones en órdenes de magnitud y por sectores, como un todo.

Mientras que otras metodologías internacionales disponibles han sido creadas para la evaluación de los impactos sobre medios ambientales individuales, el Instrumental está 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 en residuos). El "Instrumental" está diseñado con el propósito de presentar una metodología sencilla y normalizada, con una base de datos adjunta, que facilite el armado 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 a partir de conjuntos de datos comparables - sobre liberaciones de PCDD/PCDF de las distintas fuentes – puede tenerse una clara imagen global de la escala de las mismas, como paso previo para establecer un orden de prioridades en las medidas dirigidas a controlarlas o reducirlas. La meta de este proceso es lograr la comparabilidad internacional.

La compilación de los inventarios debe hacerse con eficiencia de recursos (es decir, sin que ello exija demasiado tiempo) y debe resultar lo 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. Se puede revisar y mejorar la base de datos sobre factores de emisión en función de la aparición de nuevos datos sobre emisiones o de procesos perfeccionados. Se trata de un tamizado ("screening"), 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 relevantes que liberan PCDD y PCDF, su análisis, y la selección de los más importantes en función de sus liberaciones.

- Orientación para la reunión de información acerca de procesos importantes, de manera de poder agruparlos por clases con emisiones similares.

- Una base de datos sobre factores de emisión detallada y dinámica que suministre datos por defecto adecuados, representativos de clases de procesos.

- Una orientación para el armado 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 el 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.

Los resultados del Instrumental pueden servir como punto de partida para la identificación de fuentes de PCDD/PCDF que son de especial importancia y en la asignación de prioridades entre las fuentes, las que deben ser encaradas en principio por una Parte a fin de cumplir con las obligaciones emergentes del Convenio. El Instrumental genera resultados numéricos, pudiendo usarse estas estimaciones cuantitativas de liberaciones de PCDD/PCDF para asignar prioridades. Tal punto de partida para la asignación de prioridades puede ser un listado de subcategorías como el que se muestra en la Tabla 1, la que representa un ranking de las seis subcategorías de un Inventario de liberaciones nacional comenzando con la subcategoría que tiene el valor más alto (a la atmósfera). En la columna de la derecha se ha calculado la relación de la emisión para cada subcategoría con la emisión global a la atmósfera, presentándose como porcentaje de las emisiones nacionales totales a la atmósfera. Los resultados de este ejemplo muestran que en dicho país existe una gran fuente (subcategoría 6b1 = quemas en rellenamientos/vertederos) que domina el Inventario. La segunda fuente más importante del país es la incineración de desechos hospitalarios. Comparadas a estas dos fuentes, todas las demás resultan de menor importancia. Esta información, obtenida a través de la aplicación del Instrumental, puede constituir una primera orientación para el plan de acción y para la identificación y aplicación de las MTD y MPA para reducir las liberaciones de estas fuentes prioritarias.

Tabla 1: Emisiones de PCDD/PCDF a la atmosfera de acuerdo a las subcategorías (MoE Jordan 2003)

Sub-categorias.	Liberaciones a la atmosfera (g EQT/a)	%
Quemas en rellenamientos/vertederos	49,5	77
Incineración de desechos hospitalarios	8,77	14
Transporte –combustible con plomo- motores 4 tiempos	2,16	3,4
Incendios accidentales (casas, fábricas)	0,922	1,4
Quema de carcasas/restos de animales	0,593	0,9
Quema incontrolada de desechos domésticos	0,470	0,7

Limitaciones

La mayoría de los inventarios disponibles provienen de países industrializados y desarrollados. Una revisión (PNUMA, 1999) identificó 15 inventarios de este tipo. Sin embargo, los mismos no fueron recopilados de manera uniforme ni informados para el mismo año de referencia. Desde entonces, unos pocos inventarios más han sido publicados por otros países. (Fiedler 2003 y sus referencias).

En ciertos casos, las estimaciones de liberaciones sólo fueron realizadas para un conjunto parcial de procesos (por ejemplo, sólo procesos industriales). En otros, se obtenían los factores de emisión a partir de otras publicaciones para suplir las mediciones locales de emisiones, pero en casi todos los casos se reflejaban procesos y factores de emisión derivados de países desarrollados. Resulta comparativamente poco lo que se sabe sobre procesos y tecnologías utilizados en países menos desarrollados, como así también acerca de las emisiones y liberaciones de los equipos de fabricación local tales como quemadores, y de los piensos o materias primas para procesos específicos de cada región.

Un inventario puede suministrar información valiosa sobre la magnitud de las liberaciones a cada medio, como asimismo en productos y residuos, aunque puede destacar solamente las fuentes de posibles impactos, sin brindar una orientación precisa acerca del impacto relativo de dichas liberaciones sobre el ser humano o los ecosistemas, ya que el destino de los PCDD y PCDF varía considerablemente entre una fuente de liberación y otra.

Los países han compilado sus inventarios de liberaciones o emisiones como requerimientos de regulaciones nacionales u otros convenios. Sin embargo, debe subrayarse que estos inventarios pueden agregar información basada en necesidades distintas de las emergentes 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 difiere de los objetivos del Convenio de Estocolmo y del de los inventarios de liberaciones del Convenio. El

Convenio de Estocolmo encara las emisiones de subproductos orgánicos provenientes de fuentes antropogénicas y tiene una cobertura y alcance globales.

El proceso de armar inventarios es complejo y requiere la participación de muchos actores. Para facilitar el uso del Instrumental y posibilitar que los países identifiquen sus fuentes de PCDD/PCDF, estableciendo sus primeros inventarios de liberaciones de dioxinas y furanos, el PNUMA ha organizado talleres de capacitación a nivel sub-regional. También suministra información relevante adicional, cooperando con las otras agencias de implementación del GEF, (PNUD, ONUDI y Banco Mundial) cuando los países implementan sus Planes Nacionales de Aplicación (PNA) bajo el Convenio de Estocolmo sobre COP. El Instrumental trata de identificar rápidamente las principales fuentes de PCDD/PCDF dando, por consiguiente, una imagen general de la escala de las liberaciones y de los procesos o actividades que causan tales liberaciones. Por ello, los inventarios que vayan surgiendo de PCDD/PCDF ayudarán a los países a dirigir sus esfuerzos a la priorización de sus fuentes de liberación, con el objeto de implementar acciones tendientes a minimizar las liberaciones de PCDD/PCDF. Estos Inventarios también ayudarán a señalar la importancia relativa que las dioxinas y furanos han de tener en un plan de acción nacional.

Aunque la mayoría de las concentraciones medidas han sido generadas en países desarrollados y si bien los datos más recientes se refieren a procesos y tecnologías modernas, los factores de emisión presentados en este Instrumental toman en cuenta las circunstancias de procesos menos sofisticados y menos controlados, más antiguos, de tecnología más simple, *etc*. A la hora de extrapolar resultados para "crear" factores de emisión para plantas, procesos y actividades con poco o ningún control, se han tenido en cuenta las experiencias de los países OCDE en cuanto a las mediciones de PCDD/PCDF realizadas en los primeros tiempos. 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 y un proyecto de análisis en Tailandia han demostrado que existe tecnología avanzada en los países en desarrollo y, por lo tanto, que se pueden aplicar los factores de emisión más bajos (PNUMA 2001).

Aunque en el Instrumental se han incluido abundantes categorías de fuentes de PCDD/PCDF, podrían existir otros procesos y/o actividades de los que se sospecha generan y liberan PCDD/PCDF, o donde, en casos particulares, se detectara PCDD/PCDF. Tales actividades pueden ser encuadradas con frecuencia 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, y frente a la masa de desechos quemada 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 del Convenio de Estocolmo sobre Compuestos Orgánicos Persistentes. Está proyectado para incluir a todos los vectores de liberación (atmósfera, 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 o están dirigidos a sectores industriales especiales. Aunque resulte distinta en alcance y cobertura, se puede encontrar mucha información y experiencia en la documentación relacionada con la metodología aplicada en otros lugares. Puede consultarse a la misma como lectura complementaria y para su aplicación dentro del Instrumental. A continuación se dan algunos ejemplos de actividades globales, regionales y nacionales, conjuntamente con la Página Web correspondiente:

- El Protocolo UNECE Aarhus de Compuestos Orgánicos Persistentes (1998) bajo el Convenio de UNECE de1979 sobre Contaminación de Aire Transfronteriza de Largo Alcance (LRTAP): este Convenio está destinado a disminuir la contaminación del aire. La Guía de Inventario de Emisiones EMEP/CORINAIR ha sido preparada 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): El formato de información cuantitativa de las sustancias peligrosas de la quinta Conferencia del Mar del Norte en Bergen 2002 estuvo basado en el Prototipo HARP-HAZ. Los procedimientos de cuantificación armonizada y de información para sustancias peligrosas (HARP-HAZ) fueron desarrollados por Noruega junto con otros estados del Mar del Norte para obtener un informe más transparente, confiable y comparable de los objetivos para las sustancias peligrosas. HARP-HAZ incluye un documento de orientación separado sobre la cuantificación e informe de descargas/emisiones/perdidas de dioxinas, que esta disponibles en :
  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 ..” El sitio de la Web mencionado abajo contiene información valiosa sobre sustancias químicas toxicas tales como programas de Inventario de emisiones y también aporta nexos a otros sitios Web conteniendo datos de PRTR.
  URL de una central de información,(**“**clearinghouse”):
  htpp://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 politicos, como también el público en general necesitan mejor información acerca de IPPC. 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 a través del país.
  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 subproductos no intencionales en ciertos procesos y actividades, tales como aquéllos listados en el Anexo C del Convenio de Estocolmo. Además de formarse como subproductos no intencionales en procesos de fabricación o de disposición final, los PCDD/PCDF pueden también introducirse en los procesos como contaminantes de las materias primas. Por consiguiente, los PCDD/PCDF pueden aparecer aún donde no se forman durante el proceso que está siendo considerado. Sus rutas de formación se pueden dividir en dos grandes categorías: (a) formación en procesos térmicos y (b) formación en procesos químicos industriales (para mayor detalle, ver SC BAT/BEP 2004, PNUMA 2003a, NATO/CCMS 1992a, Hutzinger and Fiedler 1988).

(a) Formación de PCDD/PCDF en procesos térmicos:

Se forman PCDD/PCDF en cantidades trazas en procesos de combustión cuando hay carbón, oxigeno, hidrógeno, y cloro presentes dentro de un rango de temperatura entre 200 °C y 650°C. La formación ocurre *vía* dos mecanismos primarios:

1. La así llamada síntesis *de novo*, en la cual los PCDD/PCDF se forman a partir de estructuras de carbón no-extraíbles (C), básicamente disimiles del producto final (PCDD/PCDF); y

2. Formación de precursores/reacciones *vía* estructuras arilo derivadas ya sea de la oxidación incompleta de aromáticos o de la ciclización de fragmentos de hidrocarburos.

El mecanismo asociado con la síntesis de PCDD/PCDF puede ser homogéneo (las moléculas reaccionan todas en la fase gaseosa o todas en la fase sólida) o heterogéneo (las reacciones tiene lugar entre las moléculas en fase gaseosa y las superficies).

Los PCDD/PCDF también pueden ser destruidos al incinerarlos a suficiente temperatura con un adecuado tiempo de residencia y un apropiado mezclado en la zona de combustión. Las buenas prácticas de combustión incluyen la presencia de las “3 T ”- temperatura, turbulencia, y tiempo de residencia. Es necesario el enfriamiento brusco después de la cámara de combustión para evitar la re-formación de PCDD/PCDF en la zona de post combustión.

Las variables que se sabe afectan la formación de PCDD/PCDF en los procesos térmicos incluyen (SC BAT/BEP 2004):

Tecnología: La formación de PCDD/PCDF puede ocurrir ya sea por combustión deficiente o en cámaras de post-combustión y equipos de control de contaminación atmosférica manejados

deficientemente. Las técnicas de combustión varían desde las muy simples y muy deficientes, tales como quema a cielo abierto, hasta las muy complejas y mejoradas, como la incineración mediante utilización de las mejores técnicas disponibles.

Temperatura: Se ha informado que la formación de PCDD/PCDF en la zona de post-combustión y en los equipos de control de contaminación atmosférica se encuentra en un rango entre 200 °C y 650 °C. Existe consenso general de que el rango de mayor formación está entre 200 °C y 400 °C, con un máximo cerca de 300 °C.

Metales: Se sabe que el cobre, hierro, zinc, aluminio, cromo y manganeso catalizan la formación de PCDD/PCDF.

Azufre y Nitrogeno: Las sustancias químicas que contienen azufre y nitrógeno inhiben la formación de PCDD/PCDF pero pueden generar otros subproductos.

Cloro: El cloro puede estar presente en forma orgánica, inorgánica o elemental. Su presencia en las cenizas volantes o como forma elemental en la fase gaseosa puede ser de especial importancia.

La investigación ha demostrado que otras variables y combinación de condiciones también resultan importantes. Los datos de Gullet *et al.* (2003) a partir de experimentos de quema de desechos bajo condiciones no controladas ha mostrado que la cantidad de PCDD/PCDF generada no depende de un único parámetro. Se han detectado altas concentraciones de PCDD/PCDF cuando se queman desechos domésticos "normales" a cielo abierto. Las concentraciones se incrementaban ya sea cuando el contenido de cloro aumentaba (independientemente de su origen, orgánico o inorgánico), o cuando lo hacía la humedad o la carga, o cuando estaban presentes metales catalíticos.

(b) Formación de PCDD y PCDF en procesos químicos industriales

Al igual que con los procesos térmicos, se necesita carbón, hidrógeno, oxigeno y cloro. En los procesos de manufactura química, se favorece la generación de PCDD y PCDF si se dan una o varias de las condiciones mencionadas más abajo (NATO/CCMS 1992b, Hutzinger y Fiedler 1988):

- Altas temperaturas (> 150ºC)
- Condiciones alcalinas (especialmente durante la purificación)
- Catálisis de metales;
- Radiación ultravioleta (UV) u otras sustancias que generen radicales.

En la manufactura de los productos químicos que contienen cloro se han identificado los siguientes procesos como fuentes de PCDD y PCDF, con una probabilidad decreciente de generación de arriba hacia abajo. Manufactura de:

- Fenoles clorados y sus derivados,
- Aromáticos clorados y sus derivados,
- Sustancias químicas alifaticas cloradas,
- Catalizadores y sustancias químicas inorgánicas clorados

Los PCDD/PCDF persisten en el medio ambiente y pueden transferirse entre unos medios y otros (por ejemplo, deposición desde el aire sobre superficies o a la vegetación, ingestión de alimentos/piensos o tierras por humanos y animales, erosión de partículas contaminadas desde la tierra a las aguas superficiales, *etc*.). Tales transferencias pueden ser importantes para la exposición humana y/o pueden impactar el ambiente. Sin embargo, este Instrumental caracteriza y cuantifica la formación de PCDD/PCDF y las liberaciones solo en la fuente. También incluye previsiones sólo para PCDD/PCDF, no cubriendo los otros dos COP formados no intencionalmente del Anexo C, bifenilos policlorados y hexaclorobenceno.

El Instrumental se ocupa de las liberaciones **directas** de PCDD/PCDF desde las fuentes localizadas en el territorio nacional del país a los siguientes compartimentos y/o medios para los cinco vectores de liberación (Figura 1).

- Atmósfera
- Agua (dulce, océanos, y estuarios; luego, 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.)*.

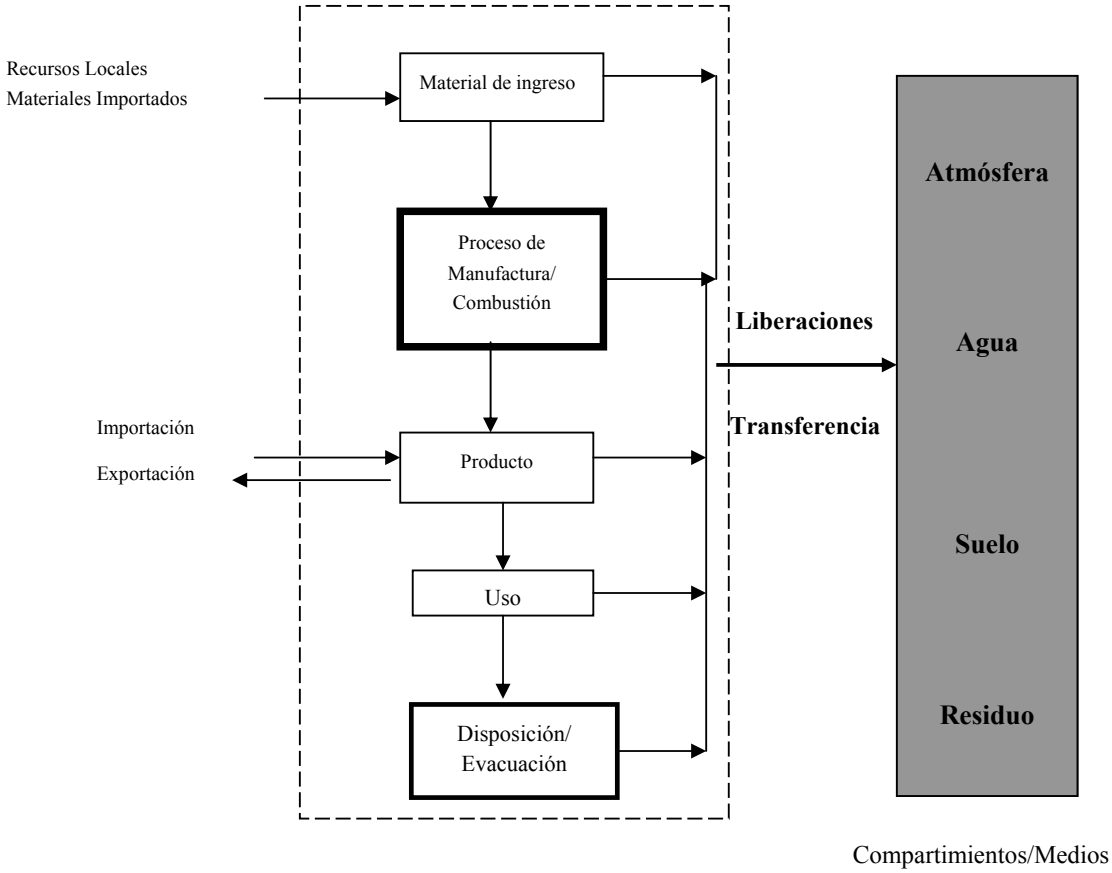


Figura 1: El "ciclo de vida" de PCDD/PCDF.

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 tendrá lugar la recolección de datos. Nota: en esta figura no se incluyen los reservorios pero éstos pueden estar presentes en el compartimiento"tierra".)

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 oxicloración de la mezcla de alimentación para la fabricación de 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 basurales de desechos contaminados, como así también tierras y sedimentos que pueden haber acumulado PCDD/PCDF durante largos períodos de tiempo.

La minimización o eliminación de la formación y liberación de PCDD/PCDF son requerimientos emergentes del Convenio de Estocolmo sobre COP. Para alcanzar este objetivo se requiere que el emprendimiento y promoción de las mejores técnicas disponibles (MTD) y las mejores prácticas ambientales (MPA). Un grupo de expertos sobre MTD y MPA suministrarán directrices y orientación al respecto. Las directrices y la orientación finales serán adoptadas por la Conferencia de las Partes.

3.2 Liberaciones directas de PCDD/PCDF

3.2.1 Liberaciones al aire/atmósfera

Las liberaciones de PCDD/PCDF a la atmósfera se producen ya sea a partir de fuentes fijas o de fuentes difusas / dispersas. Las fuentes fijas están mayoritariamente asociadas a actividades industriales tales como la producción y la manufactura; las difusas o dispersas, en la mayoría de los casos, se relacionan con el uso y aplicación de productos que contienen PCDD/PCDF. Los PCDD/PCDF emitidos a partir de cualquiera de estos dos grandes grupos pueden ser transportados a largas distancias, de forma que pueden ser detectados en la atmósfera en lugares muy distantes de aquéllos donde fueron originalmente liberados.

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

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

Las posibilidades reales de formación de dioxinas y la liberación que verdaderamente se produzca dependerán de las condiciones del proceso y de los controles que se apliquen para evitar la contaminación atmosférica. Para muchos procesos se han desarrollado tecnologías que permiten reducir la formación de PCDD/PCDF y 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 basurales a cielo abierto, vaciaderos de desechos, la aplicación de sustancias químicas contaminadas con dioxinas (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, hayan ingresado en procesos industriales junto con los materiales de entrada o hayan lixiviado 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 conservadores o productos de teñido de textiles, cuero, madera, etc., contaminados con dioxinas;

- Otras descargas de efluentes líquidos procedentes de procesos que se han identificado están asociados a 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, otros textiles y/o detergentes que contengan PCDD/PCDF.

La liberación de efluentes líquidos en forma de lixiviados a aguas superficiales y/o 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 con 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;

- Basurales a cielo abierto y depósitos 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:

1. Descarga de efluentes líquidos de procesos en los que interviene el cloro y/o productos contaminados con PCDD/PCDF, o procesos de combustión, incineración y demás procesos térmicos en los que se han utilizado depuradores húmedos para limpiar los gases de salida;

2. Uso de plaguicidas contaminados con PCDD/PCDF (en particular, el PCP y el 2,4,5-T) y otras sustancias químicas (en particular los PCB);

3. Lixiviados procedentes de lugares de almacenamiento y/o disposición final de materiales contaminados con 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 con 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, a tierra sirve de sumidero para los PCDD/PCDF y, a partir de éste, pueden liberarse para pasar a la cadena alimentaria cuando son captados por las plantas y/o animales.

Los ejemplos incluyen:

- Utilización de productos o desechos contaminados con PCDD/PCDF, por ejemplo, plaguicidas, conservadores de la madera;

- Aplicación de lodos cloacales 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, tales como las procedentes de la quema a cielo abierto sobre el terreno.

El Instrumental no trata la deposición 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 lodos, están clasificados como residuos en la medida que los mismos son generados como tales dentro del proceso. Dichos residuos pueden ser abandonados en el sitio, contaminando posteriormente la tierra, las aguas, *etc.*, pero también pueden ser dispuestos en un vertedero (simple vertedero controlado o relleno sanitario) o ser usados para otras aplicaciones. Tales aplicaciones incluyen, por ejemplo, el uso de las cenizas de fondo en la construcción de caminos, o constituyen materias primas en procesos de recuperación de metales. Siempre que los residuos sólidos estén siendo generados en un proceso, un determinado país podría estar interesado en obtener un mayor conocimiento acerca del destino de los mismos, habida cuenta que podría ser necesario visualizarlos bajo el Artículo 6 del Convenio de Estocolmo o requerir una consideración especial debido a su potencialidad para convertirse en fuente en una etapa posterior.

3.2.4 Liberaciones en productos

En el pasado, las principales fuentes de contaminación ambiental por PCDD/PCDF se relacionaban con la producción y el uso de productos químicos orgánicos clorados y con la utilización de cloro elemental en la industria de pasta y 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:

(a) 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.

(b) 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 conduce al mismo tiempo a beneficios en otros varios compartimentos y medios ambientales.

3.2.5 Liberaciones en residuos

El número de procesos que pueden transferir PCDD/PCDF a desechos o residuos (mayoritariamente sólidos) es prácticamente infinito. De todas formas, se pueden clasificar los tipos de desechos más probables según su origen, ya que los PCDD/PCDF son siempre subproductos. Entre los ejemplos, figuran:

- Basura doméstica, escombros y desperdicios (municipales, industriales, peligrosos, médicos, *etc*.);

- Subproductos de desecho procedentes de procesos de combustión y térmicos (cenizas volantes de equipos de depuración de gases de salida, cenizas depositadas o de fondo, hollín, *etc*.);

- Residuos de producción y productos residuales (lodos y residuos de producción química, lodo cloacal 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 procesos térmicos industriales, como cenizas volantes, cenizas de fondo 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 recogidos a partir de procesos térmicos industriales contienen como subproducto PCDD/PCDF en forma concentrada, de manera tal que 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 mientras que la retención de cenizas volantes por el SCCA es muy eficiente, por lo que se recupera una gran parte del contenido de hierro de las cenizas volantes. Consecuentemente, puede esperarse que la concentración de PCDD/PCDF en las cenizas volantes procedentes de la sinterización sea significativa.

La producción química, especialmente en la que interviene cloro elemental produce desechos con contenido de PCDD/PCDF. Ya se trate de la producción de plaguicidas que contienen cloro como del blanqueado con cloro en la producción de papel, los procesos de producción química basados en el cloro elemental generan estas 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 los desagües cloacales municipales generan corrientes de desechos contaminados con PCDD/PCDF. Los residuos remanentes del tratamiento de estos efluentes - ya sea mecánico, biológico o químico - constituyen los lodos. En muchos casos, estos lodos están contaminados con PCDD/PCDF. En general, los lodos cloacales con contaminaciones más altas de PCDD/PCDF derivan de los niveles de vida más elevados, siendo los productos de consumo la 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 de fondo se generan en cantidades mucho mayores, éstas pueden constituir el mayor vector de liberación de PCDD/PCDF.

La posibilidad de que los residuos causen contaminación ambiental o la exposición a PCDD/PCDF depende en gran medida de cómo se los trate y disponga finalmente. Por ejemplo, mientras que los desechos contaminados procedentes de la industria química pueden ser incinerados, destruyéndose efectivamente todos los PCDD/PCDF presentes**,** el vertido de los residuos generados en un vaciadero 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, si no se efectúan los controles adecuados, se pueden producir liberaciones de PCDD/PCDF a la atmósfera, al agua o en los productos. Aunque la movilidad de los PCDD/PCDF dentro de los residuos es generalmente bastante baja, como la exposición a las partículas de PCDD/PCDF da como resultado típico un alto impacto sobre el hombre y el ambiente, 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 de 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 por lo que, aunque no se los incluya en el Inventario de fuentes de dioxinas con valores numéricos, resulta importante identificarlos.

Los Puntos Calientes pueden consistir en lugares donde se han fabricado o se están fabricando productos contaminados con PCDD/PCDF. Ello 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, dependiendo de las circunstancias de cada sitio en particular. No obstante, es preciso identificar y registrar los puntos calientes. En muchos casos, una vez catalogados, podría no requerirse tomar acciones ulteriores 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 resulta previsible una liberación inminente, se introducirá en el inventario de fuentes, tomándose nota del estado de urgencia y preparándose 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 son encarados por el Artículo 6 del Convenio de Estocolmo sobre COP y, aunque el Convenio no demanda la remediación de los mismos, 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 (atmósfera, agua, tierra, productos, residuos) para cada uno de los procesos identificados. La estimación puede calcularse por la siguiente ecuación básica:

Intensidad de la fuente (emisiones de dioxina por año) = factor de emisión x "tasa de actividad" ***(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 obtenido (por ejemplo, toneladas o litros) – lo que se denomina **factor de emisión -** para cada vector de liberación (atmósfera, agua, tierra, producto, residuo) por la cantidad de material de entrada procesado o producto obtenido (toneladas o litros al año) – lo que se denomina t**asa 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 para clasificar procesos y actividades en clases, a efectos de lo cual 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 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 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. En el Anexo (Capítulo 8.2) se suministran Cuestionarios Normalizados que pueden resultar de utilidad 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 durante las etapas 1 a 4.

Se provee también un formato de presentación normalizado con el objeto de asegurarse que se toman en cuenta todas las fuentes (aunque no puedan ser cuantificadas), que se detectan los vacíos de datos y que los inventarios resultan comparables y transparentes.

1. **Aplicar la Matriz de Selección para identificar las principales categorías de fuentes**
2. **Revisar las subcategorías para identificar las actividades y fuentes existentes en el país**
3. **Reunir información detallada sobre los procesos y clasificarlos en grupos similares aplicando el Cuestionario Normalizado**
4. **Cuantificar las fuentes identificadas valiéndose de factores de emisión medidos / por defecto**
5. **Utilizar la escala nacional para establecer el inventario completo y notificar los resultados utilizando la orientación que se da 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

Las tablas y las figuras se facilitan a modo de hojas de trabajo con el fin de destacar la estructura normalizada del Instrumental, como así también para obtener 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 cinco principales vías de liberación para cada categoría. La matriz gruesa de selección (Tabla 2) permite 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 definidos más arriba.

Tabla 2: Matriz de selección – Principales categorías de fuentes

No.		Principales categorías de fuentes	Atmósfera	Agua	Tierra	Productos	Residuos
1		Incineración de desechos	X				X
2		Producción de metales ferrosos y no ferrosos	X				X
3		Generación de energía y calor	X		X		X
4		Producción de productos minerales	X				X
5		Transporte	X				
6		Procesos de quema a cielo abierto	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		Disposición final	X	X	X		X
10		Identificación de posibles puntos calientes	Probable registracion unicamente luego de una evaluación específica del sitio				

Estas principales categorías de fuentes de PCDD/PCDF son suficientemente amplias como para abarcar una gran variedad de industrias, procesos y/o actividades conocidos como posibles causas de liberaciones de dichas sustancias. Se han previsto las diez categorías principales de fuentes de forma que reúnan ciertas características comunes y presenten una complejidad manejable. Las columnas de la derecha de la Tabla 2 identifican los cinco compartimentos de medios a los cuales se pueden liberar PCDD/PCDF. En este sentido, "X" mayúscula indica la ruta de liberación para cada categoría que se considera predominante. La "x" minúscula, por su parte, denota rutas de liberación adicional que también han sido identificadas hasta el momento.

Puede emplearse la Matriz de Selección gruesa para dar alguna orientación respecto a sectores en los que se requerirá información, lo que puede influir sobre la conformación del equipo de trabajo necesario para recolectar la información inicial acerca de posibles fuentes de PCDD/PCDF existentes en un país. La Matriz de Selección constituirá el punto de partida para el desarrollo de una estrategia orientada a la búsqueda del asesoramiento y pericia que serán necesarios durante la recopilación de información más detallada 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 ha dividido en una serie de subcategorías (que se describen en las secciones 4.2.1. a 4.2.10.)). La lista de subcategorías da la matriz resumida del Inventario de Fuentes de Dioxinas que se va a compilar (véase sección 5.2.).

Una investigación establecerá, para cada una de las subcategorías mencionadas, 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 de rápido acceso (por ejemplo, toneladas al año de desechos incinerados). Lo más adecuado para ello será disponer de información estadística centralizada. Una investigación ulterior permitirá eliminar aquellas subcategorías de las que se tenga seguridad no están presentes. De todas formas, en el inventario se señalará la ausencia del proceso de que se trate.

Cuando se disponga de datos básicos sobre actividad se podrán realizar estimaciones preliminares de emisiones potenciales (véase 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 sea predominante, mientras que las "x" minúsculas muestran otras vías adicionales de liberación que deben tomarse en cuenta.

4.2.1 Subcategorías de la incineración de desechos

En el Instrumental, la incineración de desechos se clasifica en función de los tipos de desechos incinerados (Table). En este contexto, se entiende por incineración la destrucción de desechos en cualquier tipo de horno tecnológico. Las quemas a cielo abierto y las quemas domésticas en barriles o cajas no pertenecen a estas subcategorías y se incluyen en la sección 4.2.6. – Quema a cielo abierto

Table 3: Subcategorías de la matriz del inventario – Categoría Principal 1

			Posibles vías de liberación				
No.		**Subcategorías de las Categorías Principales**	**Atmósfera**	**Agua**	**Tierra**	**Productos**	**Residuos**
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 cloacales	X	X			x
	f	Incineración de maderas de desecho y biomasa de desecho	X				x
	g	Destrucción de carcasas de animales	X				x

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

Las liberaciones se producen principalmente en los residuos, los que comúnmente pueden contener las concentraciones más elevadas de PCDD/PCDF. Las emisiones al aire pueden constituir 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 una gran importancia, ya que pueden ser objeto de transporte a larga distancia y subsecuentemente contaminar la cadena alimentaria. Las liberaciones al agua juegan un rol menor y sólo se producen en los casos en los que se utilizan depuradores húmedos para el tratamiento de los gases de salida y en aquellos otros en que las cenizas descargadas se enfrían con agua, liberándose el efluente. Un tratamiento de aguas de desecho adecuado puede fácilmente transferir los PCDD/PCDF desde los efluentes a los residuos (es decir, desde la fase acuosa a la fase sólida).

4.2.2 Subcategorías de la producción de metales ferrosos y no ferrosos

En la actualidad la producción de metales ferrosos y no ferrosos constituye la principal fuente de PCDD/PCDF en numerosos países europeos. Esta fuente no fue reconocida hasta hace

relativamente poco tiempo, y aún son muchos países los que la ignoran. Esta categoría engloba muchos procesos distintos y gran variedad de puntos de liberación, características que dificultan la clasificación y cuantificación de las liberaciones.

En el Instrumental, esta categoría principal de fuente comprende doce subcategorías, cada una de las cuales se refiere a un proceso específico. Los importantes procesos de producción de metales son, en su mayoría, térmicos y la mayor parte de las liberaciones se produce a la atmósfera a través de los gases de salida y en los residuos mediante los desechos provenientes 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 el agua por PCDD/PCDF.

Tabla 4: Subcategoría de la matriz del inventario – Categoría Principal 2

			Posibles vías de liberación				
No.		**Subcategorías de la Categoría principal**	**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 coque	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 calor

La generación de energía y calefacción a la que aquí se hace referencia está limitada a los procesos de combustión que usan combustibles fósiles y otros materiales. 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 liberación y formación de PCDD/PCDF asociada a ellos. En la Table 5 se citan las correspondientes subcategorías.

Table 5: Subcategorías de la matriz del inventario – Categoría Principal 3

			Posibles vías de liberación				
No.		**Subcategorías de la categoría principal**	**Atmósfera**	**Agua**	**Tierra**	**Productos**	**Residuos**
3		**Generación de energía y calor**	**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	Rellenos/ Botaderos, basurales, combustión de biogás	x				x
	d	Cocinas y calefacción doméstica (biomasa)	x		(x)		X
	e	Calefacción doméstica (combustibles fósiles)	x		(x)		X

En las plantas de generación de energía a combustibles fósiles grandes y bien controladas la formación de PCDD/PCDF es escasa, ya que normalmente poseen una eficiencia de combustión bastante elevada, usan comúnmente combustible que contiene más azufre que cloro lo que inhibe la formación de PCDD/PCDF, y emplean combustibles homogéneos. Sin embargo, 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 usa 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 se emplee como combustible gas de rellenos y/o biogás, debido a la presencia en ellos de constituyentes adicionales indeseables y no bien definidos.

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

4.2.4 Subcategorías de la Producción de Productos 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 subproductos 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, habiéndose encontrado bajas emisiones. La Tabla 6 resume los procesos de producción mineral potencialmente importantes.

Tabla 6: Subcategorías de la matriz del inventario – Categoría Principal 4

			Posibles vías de liberación				
No.		**Subcategorías de la Categoría Principal**	**Atmósfera**	**Agua**	**Tierra**	**Productos**	**Residuos**
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 nafta/gasolina (con o sin plomo), kerosene, mezcla para motores de dos tiempos (normalmente una mezcla de 1:25-1:50 de aceite de motor y nafta/gasolina), combustible diesel (conocido también como fuel oil liviano), y aceite pesado. En la Tabla 7 se muestran las subcategorías. El hecho de que la nafta/gasolina con plomo produzca las emisiones más elevadas se debe a la presencia de limpiadores / depuradores halogenados como aditivos del 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 a la atmósfera. 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 coque, conteniendo elevadas concentraciones de PCDD/PCDF.

Tabla 7: Subcategorías de la matriz del inventario – Categoría Principal 5

			Posibles vías de liberación				
No.		**Subcategorías de la Categoría Principal**	**Atmósfera**	**Agua**	**Tierra**	**Productos**	**Residuos**
5		**Transporte**	**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 Quema a Cielo Abierto

Normalmente, los procesos de quema a cielo abierto son procesos de combustión deficientes y pueden resultar fuentes considerables de PCDD/PCDF. La Tabla 8 diferencia dos categorías. La quema a cielo abierto 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 debidas a: su mala combustión, la presencia de materiales combustibles no homogéneos y deficientemente mezclados, la presencia de precursores clorados, de humedad y de metales catalíticamente activos. En todos los casos, los vectores primarios de liberación son a la atmósfera y en los residuos; pero en ciertas circunstancias también son posibles las liberaciones al agua y a la tierra.

Tabla 8: Subcategorías de la matriz del inventario – Categoría Principal 6

			Posibles vías de liberación				
No.		**Subcategorías de la Categoría Principal**	**Atmósfera**	**Agua**	**Tierra**	**Productos**	**Residuos**
6		**Procesos de Quema a Cielo Abierto**	**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 (Tabla 9).

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).

Tabla 9: Subcategorías de la matriz del inventario – Categoría Principal 7

			Posibles vías de liberación				
No.		**Subcategorías de la Categoría Principal**	**Atmósfera**	**Agua**	**Tierra**	**Productos**	**Residuos**
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, debería ponerse un fuerte énfasis en la investigación detallada de este pequeño número de posibles fuentes que resultan de gran significación por su contribución al problema general de PCDD/PCDF.

4.2.8 Subcategorías de Misceláneos

La Tabla 10 resume algunas de las subcategorías de misceláneos. Los procesos de secado implican el contacto directo de gas caliente con el material a secar. La formación de PCDD/PCDF ocurre sobretodo cuando se usan combustibles contaminados y debido 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, se ha usado como combustible a desechos tales como madera, textiles y cuero usados / tratados u otros materiales contaminados.

Los crematorios pueden ser una fuente de liberación de PCDD/PCDF ya que el proceso de combustión suele ser poco eficiente y los materiales de entrada no son homogéneos. Los 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 a seco constituyen otra fuente de PCDD/PCDF incluida en la categoría de misceláneos, en el que las sustancias químicas que contienen dioxinas (sobre todo PCP y tintes) se concentran luego del proceso. 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.

Tabla 10: Subcategorías de la matriz del inventario – Categoría Principal 8

			Posibles vías de liberación				
No.		**Subcategorías de la Categoría Principal**	**Atmósfera**	**Agua**	**Tierra**	**Productos**	**Residuos**
8		**Misceláneos**	**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 disposición final

La Tabla 11 lista las prácticas no térmicas/no combustivas más significativas de disposición final de desechos que pueden conducir a la liberación de PCDD/PCDF, predominantemente al agua y a la tierra. Estas prácticas incluyen rellenamientos de cualquier tipo de desechos, incluidos lodos cloacales, vertido a cielo abierto de desechos de aceites y vertido de desechos y lodos en aguas abiertas.

Para determinar las tasas de liberación de PCDD/PCDF será preciso determinar también la cantidad de desechos finalmente dispuestos y la concentración de PCDD/PCDF en los mismos. La disposición final conjunta de desechos mezclados puede ser, especialmente, una importante fuente de liberación de PCDD/PCDF. Aunque sólo existe una pequeña base de datos, debería fomentarse la utilización de métodos alternativos de tratamiento y disposición final de desechos.

Tabla 11: Subcategorías de la matriz del inventario – Categoría Principal 9

No.		Subcategorías de la Categoría Principal	Atmósfera	Agua	Tierra	Productos	Residuos
9		**Disposición final**		**X**	**X**		**X**
	a	Rellenamientos y vaciaderos a cielo abierto		X			
	b	Cloacas / tratamientos cloacales	(x)	X	x	X	x
	c	Vertidos en aguas abiertas		X			
	d	Compostado			x	X	
	e	Tratamiento de desechos de aceite (no térmico)	x	X	x	X	x

4.2.10 Subcategorías de puntos calientes

La existencia de puntos calientes es consecuencia directa de las prácticas de disposición final que se describen en la sección 4.2.9 o de una disposición final inadecuada de materiales contaminantes. Las liberaciones a partir de estos sitios pueden estar ocurriendo o puede esperarse que comiencen a producirse si no se toman acciones de remediación.Tabla suministra una lista indicativa de los lugares en los que 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 provenir de actividades anteriores. Las subcategorías f-i corresponden a reservorios típicos en los que durante muchos años se almacenaron, vertieron o acumularon materiales que contienen PCDD/PCDF. En estos casos, la liberación puede estar produciéndose ya, puede ser inminente o puede solamente representar una amenaza potencial para el futuro. La identificación de estos sitios puede ser difícil.

Tabla 12 Subcategorías de la matriz del inventario – Categoría Principal 10

			Posibles vías de liberación				
No.		**Subcategorías de la Categoría Principal**	**Atmósfera**	**Agua**	**Tierra**	**Productos**	**Residuos**
10		**Identificación de posibles puntos calientes**	Registro probable sólo seguido de una evaluación específica del sitio				
	a	Sitios de producción de sustancias orgánicas cloradas			X		
	b	Sitios de producción de cloro			X		
	c	Sitios de preparación de fenoles clorados			X		
	d	Sitios de aplicación de fenoles clorados	x	X	x	x	
	e	Sitios de fabricación y tratamiento de madera		X	X	x	x
	f	Transformadores y capacitores con PCB				x	x
	g	Vaciaderos de desechos / residuos de las categorías 1-9	x	X	X		x
	h	Sitios de accidentes importantes		X	x		x
	i	Dragado de sedimentos					x
	j	Sitios de arcilla caolinítica o plástica			x		

La evaluación específica del sitio de cada uno de los puntos calientes debería determinar su situación actual: amenaza inmediata o posibilidad de liberación en el futuro. En uno u otro caso debería registrarse el sitio.

4.3 Etapa 3: Recopilación de información

La etapa siguiente consiste en reunir información detallada sobre los procesos. Para la evaluación resulta relevante la magnitud y la escala (por ejemplo, toneladas de desechos quemados, toneladas de cobre producidas) como también la evaluación 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 dan los parámetros clave para distinguir entre los procesos altamente emisores y los que sólo producen bajas emisiones.

Habitualmente 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 dicha 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.

Podría caracterizarse a las subcategorías que comprenden fundamentalmente a las grandes plantas 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 calcularse los rangos de liberaciones potenciales aplicando los factores de emisión más bajos y más elevados.

En los cuestionarios ejemplo (véase Sección 9) se incluye la información más importante necesaria para clasificar procesos y subcategorías. Los mismos 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 efectuar un seguimiento activo a fin de lograr una elevada proporción de devolución de cuestionarios completos. Toda recopilación incompleta de datos influirá en los resultados ulteriores reduciendo la calidad general del inventario. Para la etapa de recopilación de datos se recomiendan procedimientos independientes de control y garantía de la calidad. Idealmente, se establecerá para cada sitio 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 o lagunas de datos – obligará a utilizar suposiciones sobre las fuentes acerca de las cuales no se haya podido recoger información específica. Si bien los criterios pueden variar, toda suposición deberá ser transparente para facilitar la estimación de datos 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 estado de cumplimiento con 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 suministran información. Las suposiciones deberían basarse 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 haya disponibilidad de los mismos dentro de un país o región. No obstante, a fin de asegurar la comparabilidad y de facilitar una retroinformación útil sobre la eficacia del proceso, debería llevarse a cabo la clasificación y la aplicación de factores de emisión por defecto incluso cuando se dispone de datos medidos. 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.

Para compilar un inventario será preciso, en casi todos los casos, realizar cierta agrupación (o clasificación) de los procesos de un país o región, ya que no es frecuente que se hallen datos medidos para todos los procesos individuales de un determinado país o región, resultando 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. Para cada clase se provee un conjunto de factores de emisión (secciones 6.1 a 6.10). Dentro de cada subcategoría, un número de clase bajo (clase 1) caracteriza una actividad o proceso que forma o libera altas cantidades de PCDD/PCDF; las condiciones generales son deficientes y los factores de emisión son altos. Con el aumento del numero de la clase (clase 2, clase 3*, etc.),* las condiciones se tornan mejores y la formación y liberación de PCDD/PCDF diminuyen; los factores de emisión son menores.

La información reunida en la etapa 3, mediante la utilización del cuestionario normalizado o mediante otros medios, debería ser suficiente para agrupar los procesos de acuerdo a la descripción 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 desempeño, produciendo liberaciones similares y justificando el uso del mismo factor de emisión. En el Anexo 2 de la Sección 9 se suministran los cuestionarios modelo que podrán ayudar a la recopilación de la información. Como procedimiento general y para clasificar un proceso como "deficiente", "bueno" o "MTD", debería tenerse en consideración lo siguiente:

1. La "parte frontal" de un proceso o tecnología juega un rol importante, por lo que tiene influencia en la selección del numero de clase. Las tecnologías de Clase 1 o "Deficiente" en todos los procesos de alta temperatura tienen las siguientes características (en la mayoría de los casos una combinación de varias): pequeñas cámaras de combustión, bajas temperaturas en los quemadores/cámara de combustión, la cámara es estática, la operación es "batch" (por lotes), *etc.* A medida que el proceso mejora, el tamaño del quemador aumenta, se incrementan la temperatura y la turbulencia, existe una cámara de post-combustión, el ingreso de material es más limpio, mejor mezclado o menor, y la eficiencia de la combustión total es mejor (ver importancia de las 3 T). Como consecuencia de todo ello, disminuirá la formación de PCDD/PCDF.

   En el Instrumental, ésto significa que deberá elegirse una clase mayor – con un factor de emisión mas bajo. En este sentido, los hornos rotativos, los combustores de rejillas móviles, los lechos fluidizados, serán superiores a los combustores/cámaras de combustión estáticos. En algunos casos, las características físicas de los materiales de ingreso o de entrada juegan un cierto rol. El número de clase más alto se aplicará a técnicas y tecnologías que representan MTD/MPA, tratándose típicamente de procesos grandes que operan durante casi todo el año en base a combustibles/alimentación controlados.

2- Igualmente importante son las tecnologías de control después de la "zona caliente" que, en la mayoría de los casos, son las tecnologías y técnicas de limpieza de gases de salida. El Instrumental hace diferencia en función de la presencia y operación de equipos de tal tipo.

La clase 1 no presenta, normalmente, equipo alguno de este tipo. Para remover partículas gruesas y PCDD/PCDF adsorbidos y absorbidos a las mismas, deben contarse con ciclones y precipitadores electrostáticos - en otras palabras: con la presencia de cualquiera de ellos, el proceso podrá pasar a la clase 2. Una ulterior mejora en la limpieza de los gases de salida puede alcanzarse mediante depuradores húmedos, filtros de manga u otras técnicas capaces de eliminar partículas finas. Con la utilización de tales procesos, se eligiría la clase más alta siguiente. En muchos casos, y especialmente en la incineración de desechos, se eligirá la clase más alta / mejor sólo cuando se cuente con un equipo de limpieza de gases de salida sofisticado y diseñado para la remoción/minimización de PCDD/PCDF, tal como inyección de carbón activado (a menudo junto con cal), filtros de carbón activado o catalizadores de dioxinas.

3- La clasificación final se basará en los dos aspectos arriba expuestos, debiendo hacerse notar que no se da una combinación de los dos extremos, es decir: un combustor menor sin control de temperatura no contará con un equipo de limpieza de gases de salida sofisticado, así como no existirá una planta grande operada en forma continua sin filtros o equipos de reducción de contaminación.

4- Para los procesos no-térmicos, la misma combinación de condiciones buenas y deficientes en el extremo inicial - en la mayoría de los casos la unidad de "producción"- y las condiciones buenas y deficientes en el extremo final – a menudo las unidades de destrucción y remoción de PCDD/PCDF tales como filtros de efluentes - determinará la selección de la clase.

Dentro de una subcategoría, los factores de emisión para dos niveles de tecnología diferentes pueden diferir para un dado vector (ejemplo: atmósfera) pero pueden ser los mismos para otro vector (ejemplo: residuos o tierra). Finalmente, se requerirá de suposiciones y de buen criterio para clasificar a las plantas.

Para asegurarse de que se toman en cuenta 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 a nivel nacional. 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, para lo cual puede convenir pedir asesoramiento al PNUMA.

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/DCSM 1988). El Convenio de Estocolmo, sin embargo, requiere el uso de Factores de Equivalencia de Toxicidad, según el estado actual del conocimiento, que 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:

Intensidad de la fuente (Emisiones de dioxina al año) = Factor de emisión x "Tasa de actividad" ***(1)***

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

Intensidad de la fuente (PCDD/PCDF liberadas por año) = Σ Factor de Emisión $_{Atmósfera}$ x Tasa de Actividad
+ Σ Factor de Emisión $_{Agua}$ x Tasa de Actividad
+ Σ Factor de Emisión$_{Tierra}$ x Tasa de Actividad
+ ΣFactor de Emisión $_{Producto}$ x Tasa de Actividad
+ ΣFactor de Emisión $_{Residuo}$ x Tasa de Actividad

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 obtenido 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 obtenido (por ejemplo, toneladas o litros).

Sin embargo, en ciertos casos como, 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 **Concentraciones de Emisiones** o **Liberaciones** por defecto que se consideran típicas de una determinada matriz. Tales casos ocurren, especialmente, con las liberaciones al agua (como descargas/efluentes; están dadas en pg EQT/L) o con las liberaciones en residuos, 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. Allí, 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/m^3) por el **Flujo.**

Se aplica la ecuación 2:

Intensidad de la fuente (Liberaciones de PCDD/PCDF al año) = Concentración de liberación x Flujo (2)

El **flujo** anual es la tasa de flujo volumétrico o másico de gas, líquido o sólido liberado por año (por ejemplo, en m^3/a o t/a). Se calcula como el producto del flujo de masa o volumen por hora a plena carga (por ejemplo, m^3/h o t/h) multiplicado por el número de horas de funcionamiento a plena carga por año (h/a). Es importante ajustar el número en función de la tasa de flujo 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 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:

1. El flujo anual (tasa de flujo volumétrico o másico) o tasa de actividad obtenida como:
    - Producto obtenido (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, m^3 de gas de salida, litros de efluentes líquidos, kilogramos o toneladas de lodos generados, *etc*.).

2. 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/m^3, ng de EQT/litro),

El producto de (1) y (2) arriba mencionados, determina la intensidad de la fuente de cada fuente individual. 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 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 su vez, 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 obtenido o de material de entrada procesado o consumido al año (por ejemplo, t/a, m^3/a, *etc.*);
- La tasa de flujo volumétrico o másico liberada al año (por ejemplo, m^3/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 atmósfera, agua, tierra, productos y residuos (véase 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. Como referencia, consultar las orientaciones sobre Mejores Técnicas Disponibles (MTD) y la orientación provisoria sobre Mejores Prácticas Ambientales (MPA) desarrolladas por el Grupo de Expertos en MTD/MPA (Convenio de Estocolmo 2004). 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 de 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, éstos pueden modificarse 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 con el usuario, manejables, y robustos, fue necesario agregar estos datos originales dentro de las estimaciones de órdenes de magnitud (para la mayoría de las clases, dentro de las subcategorías).

4.4.5 Uso de datos de emisión propios

El Instrumental se puede utilizar en aquellos 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, 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 confiables. Es importante considerar la forma en que se generaron los datos. Si es necesario, se solicitará y examinará información sobre meta - datos y demás información de apoyo. Un requisito previo para la obtención de datos de alta calidad es la aplicación de métodos normalizados de muestreo y análisis, experiencia de laboratorio comprobable y buena documentación. Si no se reúnen esas condiciones, mejor que utilizar 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 señala en el Capítulo 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 todas 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 recursos excesivos;
- 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 en la recopilación 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 recopilación 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 que existan 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 gama 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 mayor información adicional, y puede ser utilizado como orientación acerca de dónde habrán de dirigirse los principales esfuerzos en las próximas etapas de la compilación del inventario.

5.2 Informe final

Se elaborará 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, 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 alcance de los procesos vinculados a las liberaciones e identificar aquellos procesos para los cuales existen importantes vacíos de datos que deben ser completados en el futuro. Encarará asimismo las 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 cobertura y calidad de los datos. Deberán señalarse los casos donde no se disponga de datos medidos o donde no haya información disponible apropiada de la actividad (tales como estadísticas), a fin de desarrollar su seguimiento futuro a medida que se disponga 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 de manera inmediata para las personas a las que están dirigidos.

Los elementos claves de este inventario final basado en la tecnología 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 los 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 a nivel de subcategorías de procesos. Son preferibles los valores numéricos, pero también podrán darse indicaciones sobre la magnitud relativa de las liberaciones (es decir, un ránking o graduación). También deberán ser identificadas para la cuantificación de la liberación las situaciones para las cuales no existan factores de emisión ni existan datos medidos propios. Se identifican asimismo las actividades sin liberaciones. Si un proceso/ actividad no existe en un país, se deberá introducir una frase tal como “Esta actividad no se lleva a cabo 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, tablas 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 liberaciones potenciales a partir de los procesos, brindándose los hallazgos.

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

Datos de apoyo detallados: No debería incluirse en el informe este tipo de datos, ya que el mismo debe ser breve. No obstante, los datos deberían organizarse y conservarse a nivel país. Es importante que a nivel país se recojan y mantengan datos de base detallados de manera que pueda disponerse de ellos para revisión, posterior evaluación y actualización ulterior.

Información incompleta: Los vacíos de datos son frecuentes. 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 las suposiciones conservadoras dan estimaciones muy elevadas, será preciso realizar una nueva investigación.

Ejemplo: la información inicial sobre el proceso indicaba que todas las plantas funcionaban con controles de contaminación, aunque 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. Ésto 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/PDCF. 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. Debería utilizarse la clase más próxima por subcategoría y hacerse la estimación de liberaciones 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, como así también para identificar y aplicar medidas que eviten o reduzcan al mínimo la formación o las liberaciones de PCDD/PCDF. Este Capítulo 6.1 enfoca la incineración de distintos tipos de desechos utilizando ciertas clases de incineradores. En muchos casos, los desechos se queman a cielo abierto – es decir, sin ningún tipo de incinerador tecnológico – lo que se trata en la sección 6.6. Por otro lado, la quema de, por ejemplo, madera u otra biomasa limpia 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 (Tabla 13):

Tabla 13: Subcategorías de la Categoría Principal 1 – Incineración de desechos

			Posibles Rutas de liberación				
No.		Subcategorías	Atmósfera	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 cloacales	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 subparrafo (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 MTA.

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/carcásas 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 de los que la gente se desprende 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, 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 queman por lotes ("batch") hasta los sistemas más grandes de

incineración en masa y altamente sofisticados con rejillas, calderas de recuperación de 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 apilados sobre la tierra o en barriles o tambores (200 litros) de manera incontrolada; esta cuestión se trata en la sección 6.6 – Procesos de quema a cielo abierto.

Normalmente, los DSM se introducen al horno mediante un conducto de alimentación ya sea en forma continua o bien por lotes ("batch"). 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 y evacuar con cierta frecuencia. 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 se enfrían o bien en una caldera de recuperación de calor, o bruscamente mediante inyección de agua o por reducción de temperatura por pérdida de calor radiante. 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 / oxigeno. Consisten en 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 como, por ejemplo, un dispositivo de adsorción por carbón activado o un catalizador DeDiox/NO_x. Como regla general, puede afirmarse que la complejidad y efectividad de un sistema de CCA aumenta con el número de etapas y los distintos tipos de tecnologías empleados.

Los PCDD/PCDF pueden pasar por el incinerador sin destruirse a partir de los desechos de entrada, formarse durante el proceso de combustión o, más a menudo, formarse luego que se ha completado el proceso de combustión y se enfrían los gases de salida. Altos niveles de formación de PCDD/PCDF están asociados con condiciones de combustión deficientes (operación "batch" o 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 ºC) 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 llevado a cabo en Tailandia (PNUMA 2001, Fiedler *et al.* 2002). La planta consistía en una unidad de 250 toneladas por día. 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. Las 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. Estas liberaciones al agua ocurrirán cuando el efluente no se trata en forma adecuada, por ejemplo, cuando no se retienen en filtros las partículas a las que se han adsorbido los PCDD/PCDF o no se retiene el agua que se usa para el enfriamiento de las cenizas. Por consiguiente, las vías de liberación más importantes son al aire y en 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 con otras, los residuos combinados estarán más contaminados que las cenizas depositadas / de fondo solas. En los países con planes de gestión de desechos en vigencia, las cenizas volantes son generalmente enviadas a vertederos controlados. A menudo, las cenizas de fondo / rejilla se usan como materiales secundarios para la construcción como, por ejemplo, la construcción de caminos. Las tecnologías posibles se dividen en cuatro grupos de factores de emisión que se muestran en la Tabla 14.

Tabla 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. La Tabla 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 ("batch") 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 % O_2)[2] y se supone que la instalación en cuestión está en condiciones de conseguirlo. Se puede suponer que la gran mayoría de 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 constituyen 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, fue obtenido a partir de una tasa de flujo específica de gases de salida de unos 10.000 Nm^3/t de DSM y una concentración de 350 ng de EQT-I/Nm^3 (@11 % O_2). 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 Nm^3/t de DSM, lo que se debe a los mejores controles de combustión y al menor exceso de aire, disminuyendo la concentración de PCDD/PCDF a 50 ng de EQT/Nm^3 (@11 % O_2). 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 se incrementa 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/Nm^3(@11 % O_2). Además, la tasa de flujo específica en volumen de gas de salida se reduce a 6.000 Nm^3/t de DSM. La clase 4 corresponde a incineradores de DSM y tecnología de CCA más avanzada (por ejemplo, unidades de adsorción por carbón activado o SCR/DeDiox). Así, sólo 5.000 Nm^3/t de DSM con una concentración menor de 0,1 ng de EQT/Nm^3 (@11 % O_2) serán la norma. (LUA 1997, IFEU 1998).

Las concentraciones del gas de salida (@11 % O_2) del incinerador de desechos sólidos municipales tailandés, se encontraron en el rango de 0,65 a 3,10 ng EQT-I/Nm^3 con un promedio de 1,71 ng EQT-I/Nm^3 (@11 % O_2). Las concentraciones totales de PCDD/PCDF (Cl_4-Cl_8) estaban entre 41,3 y 239 ng EQT-I/Nm^3 con una media de 122 ng/Nm^3(@11 % O_2). La concentración promedio medida de 122 ng PCDD/PCDF/m^3 está por encima de la norma para desechos sólidos municipales de Tailandia que es de 30ng/m^3; quedando la media de 1,7 ng EQT-I/Nm^3 asimismo por encima de la norma Europea que es de 0,1 ng EQT-I/m^3. Las emisiones medidas resultarían en un factor de emisión de 6,1 µg EQT/t de desecho quemado. El Instrumental habría clasificado a este incinerador en la clase 3 y le habría asignado 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, estando la máxima concentración de PCDD/PCDF notificada para el efluente de un depurador antes de la retención de las partículas, por debajo de 200 pg/L. La mayor parte de los PCDD/PCDF está asociada a las partículas y, por consiguiente, son retenidas 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 al tierra

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

6.1.1.4. Liberaciones en productos

Este proceso no da productos, por lo que no habrá factor de emisión en este caso.

6.1.1.5. Liberaciones en residuos

Las concentraciones de PCDD/PCDF en las cenizas volantes resultan sustanciales, aún cuando la masa total generada por tonelada de DSM es normalmente de solo alrededor 1-2 %. Las concentraciones de PCDD/PCDF en las cenizas de fondo son bastante bajas pero la cantidad de este tipo de ceniza generada por tonelada de DSM se aproxima al 10-20 %[3]. Las cenizas volantes y de fondo 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 de fondo se eligió una concentración de 500 ng de EQT/kg de ceniza de fondo[4]. Como estos tipos de incineradores no tienen un sistema de retención para las cenizas volantes, no habrá factor de emisión para las mismas. 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 de fondo 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 se incrementa la eficiencia de la combustión sino que además es 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 de fondo 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 señalan esas características y que entran en dicha corriente de desechos deberán ser considerados como

[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

desechos peligrosos. Éstos incluyen: 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 deben ser considerados como desechos peligrosos todos los materiales contaminados por esos productos, como trapos o papeles, maderas tratadas, residuos de producción, *etc.*

El termino"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 las tecnologías con la que los desechos hospitalarios y los desechos peligrosos son tratados son diferentes. Más aún, para la compilación de un inventario de liberaciones de PCDD/PCDF, la accesibilidad de los datos primarios tales como la localización y la 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 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 ya sea en incineradores de tecnología especial o bien en hornos del tipo del rotativo. 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 pueden incluirse en este grupo otras tecnologías como la oxidación supercrítica de agua, la vitrificación por arco eléctrico, *etc.* que tratan desechos peligrosos (aunque no son necesariamente clasificadas como "incineración"). Como la clasificación de desechos peligrosos depende en gran medida de la legislación específica de cada país y el número de tecnologías diferentes utilizadas para la incineración de los mismos es casi ilimitado, la breve descripción de procesos que sigue se refiere sólo a la tecnología de horno rotativo 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 rotativo con revestimiento refractario por un conducto de alimentación. Los desechos líquidos y los lodos de alto valor calorífico se atomizan en un quemador o en una lanza de combustión situados en la pared frontal del horno rotativo. Los desechos se encienden y arden en el interior del horno rotativo, que normalmente se mantiene a temperaturas superiores a 1.000 ºC. 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, los que dejan el horno rotativo a través de su extremo posterior. Las cenizas vitrificadas se apagan y enfrían en un baño de agua, se separan y se evacuan. Como en la mayor parte de las instalaciones modernas las cenizas de fondo 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 rotativo, los gases de salida entran en una cámara de combustión secundaria donde quemadores adicionales - que queman desechos peligrosos de alto valor calorífico - mantienen una temperatura superior a 1.200 ºC. Además, se inyecta aire para la combustión secundaria, lo que facilita una incineración adicional del gas. Tras abandonar el sistema de combustión en dos etapas, el gas de salida se trata de la misma forma que se ha descrito para la incineración de los DSM. En muchos casos, se considera a los residuos sólidos del horno de incineración de desechos peligrosos como desecho peligroso, y éstos son re-introducidos 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. Ello 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 la Tabla se muestran cuatro grupos de factores de emisión.

Tabla 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 de fondo para las clases 1 y 2. Por otra parte, 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 se aplicará la clase 4 si se impone estrictamente un valor regulatorio de 0,1 ng de EQT/Nm³ (@11 % O_2) – tal como en la legislación europea -, y se puede dar por supuesto que la instalación en cuestión puede alcanzar esa cifra. 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 sobretodo para hornos pequeños (< 500 kg/h) y sencillos que operan en "batch" sin ningún tipo de sistema de CCA instalado en su extremo posterior como, 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 Nm³/t de desechos peligrosos y una concentración de unos 2.000 ng de EQT/Nm³. La clase 2 parte del supuesto de una reducción en la tasa de flujo específica por volumen de gas de salida de 15.000 Nm³/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/Nm³ (@11 % O_2). En la clase 3 aún mejora más la eficiencia de la combustión, mejorando 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/Nm³ (@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 % O_2) (LUA 1997, IFEU 1998, Environment Canada 1999).

6.1.2.2. Liberaciones al agua

Se pueden producir liberaciones al agua cuando se emplean depuradores húmedos para la remoción de partículas. En este caso, la cantidad de PCDD/PCDF liberada mediante este vector puede estimarse mejor utilizando los factores de emisión por defecto que se dan para residuos. La concentración máxima real de PCDD/PCDF hallada en efluentes de depuradores húmedos fue 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 el mismo o se mezclen con éste. La concentración liberada en tales casos será abordada en "Liberaciones en Residuos", Capítulo 6.1.2.5

6.1.2.4. Liberaciones en productos

El proceso no genera productos, por lo que no existen liberaciones de este tipo.

6.1.2.5. Liberaciones en residuos

Para obtener factores de emisión correspondientes a residuos sólo se han tenido en cuenta las cenizas volantes, ya que no se dispone de datos sobre cenizas de fondo para las clases 1 y 2. En cuanto a las clases 3 y 4, puede suponerse que la ceniza de fondo 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 llegan aproximadamente a una concentración de 300.000 ng de EQT/kg de ceniza volante. En la clase 2, esta concentración disminuye 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 proveen 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 en 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 en las actividades médicas, tanto si éstas se llevan a cabo 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 animales. Estos desechos se suelen tratar térmicamente (por incineración o pirólisis) de manera que se destruyan con seguridad virus, bacterias y otros elementos patógenos. Por otro lado, 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 han sido esencialmente clausuradas o, a veces, mejoradas. Basándose en estas experiencias, el termotratamiento de desechos médicos constituye ahora 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 desechos.

Normalmente los desechos médicos se incineran localmente en el hospital o en cualquier otra instalación médica valiéndose para ello de pequeños hornos tipo “batch” (por 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 que funcionan continuamente son extremamente raros, encontrándose la mayor parte de ellos en Europa Occidental y Norteamérica. También son raras las calderas de recuperación de calor a partir de desechos.

Existe disponibilidad de 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, consisteía en 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. Debe hacerse notar que no se contaba con todo el equipamiento con el que 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 (PNUMA 2001, Fiedler *et al.* 2002).

El Instrumental define cuatro clases de factores de emisión a partir de incineradores de desechos médicos (Tabla). Las máximas emisiones de PCDD/PCDF por incineración de estos desechos proceden de operaciones tipo “batch”, 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. Combinado con el elevado valor calorífico y los plásticos halogenados de los desechos, la posibilidad de formación de PCDD/PCDF es generalmente superior a la 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 de fondo). Las liberaciones al agua son menos importantes ya que el equipo de CCA, cuando existe, es prácticamente libre de aguas residuales.

Tabla 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 de tipo "batch", sin sistema CCA	40.000	200 *
2. Combustión de tipo "batch", controlada, sin CCA o CCA mínima	3.000	20 *
3. Combustión de tipo "batch", controlada, buen CCA	525	920 **
4. Combustión controlada continua de alta tecnología, perfeccionado sistema de CCA	1	150 **

* se refiere sólo a las cenizas de fondo que quedan en la cámara de combustión
** se refiere a la combinación de cenizas de fondo 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 de fondo es desconocida, ya que por el momento no se dispone de datos medidos. Por otra parte, 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 cajón pequeño que funcionan intermitentemente (en los cuales se enciende y se deja una carga de desechos) sin cámara de combustión secundaria, ni controles de temperatura y 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 en tipo "batch" (por lotes). Debería aplicarse la clase 3 a plantas controladas tipo "batch" que cuentan con buenos sistemas de CCA, por ejemplo, PES o, preferentemente, filtros de manga. 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 ng de EQT/Nm³ (@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 de si el funcionamiento si es continuo o "batch", 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 encima de los 900 ºC. 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 Nm^3/t de desechos médicos y una concentración de unos 2.000 ng de EQT/Nm^3 (@11 % O_2). La clase 2 parte del supuesto de una reducción a 15.000 Nm^3/t de desechos médicos de la tasa de flujo específica por volumen de gas de salida, gracias a mejores controles de combustión y a menor exceso de aire. En este caso, la concentración de PCDD/PCDF baja a 200 ng de EQT/Nm^3 (@11 % O_2). La clase 3 se basa en datos europeos en los que se ha determinado una concentración de 35 ng de EQT-I/Nm^3 (@11 % O_2) con 15.000 Nm^3/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 10.000Nm^3/t de desechos médicos y se ha medido una concentración inferior a 0,1 ng de EQT/Nm^3 (@11 % O_2) (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 % O_2 – de entre 21,8 y 43 ng EQT-I/Nm^3 para la línea A y de entre 10,7 y 45,0 ng EQT-I/Nm^3 para la línea B; los promedios fueron 33,8 y 28,6 ng EQT-I/Nm^3, 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 (3.000 µg 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 éste o se mezclen con él. La concentración liberada en tales casos será cubierta en “Liberaciones con Residuos” Capítulo 6.1.3.5

6.1.3.4. Liberaciones en productos

El proceso no genera productos, por lo que no hay este tipo de liberaciones.

6.1.3.5. Liberaciones en residuos

Las concentraciones de PCDD/PCDF en las cenizas volantes son considerables. Dada la ausencia de datos sobre concentraciones de PCDD/PCDF en cenizas de fondo, los factores de emisión por defecto facilitados para la categoría de residuos sólo se refiere a liberaciones de PCDD/PCDF vía cenizas volantes. Las concentraciones de PCDD/PCDF en residuos pueden ser elevadas, sobretodo si la combustión es deficiente (como la que se produce en un incinerador sencillo tipo "batch"). 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 poseen una gran eficiencia de combustión, de lo que resulta un contenido de carbono orgánico de aproximadamente 1 % de carbón no quemado, pero también presentan una elevadísima eficiencia de retención de pequeñísimas partículas de cenizas volantes. Se recolecta a las cenizas volantes (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, por lo que 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 in situ, mediante la que se dejaba toda la noche a las cenizas de fondo en la cámara para su lento enfriamiento. Tales condiciones crean altas concentraciones de PCDD/PCDF. Se encontraron concentraciones de cenizas de fondo de 1.390 y 1.980 ng EQT/kg, valores aproximadamente 20 veces más altos que lo esperado para cenizas de fondo correspondientes a la clase 2. (PNUMA 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 vehículos viejos, electrodomésticos, contenedores de graneles, *etc.*, se fragmentan (trituran) con el fin de reducir su volumen así como permitir la separación de materiales recuperables, como metales, 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 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 aguas residuales. Por consiguiente, en el Tabla se dan tres grupos de factores de emisión.

Tabla 17: Factores de emisión en la incineración de DFFL

Clasificación	Factores de emisión - µg de EQT/t DFFL quemados	
	Aire	Residuos
1. Combustión tipo "batch", no controlada, sin sistema de CCA	1.000	ND
2. Combustión tipo "batch", 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 brindados 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 "batch" 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 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 bolsa/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 modalidad "batch". Se puede asumir que la inmensa mayoría de 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 % O_2) 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 Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA) 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, como asimismo 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 % O_2) (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 éste o se mezclen con él. La concentración liberada en tales casos será tratada en "Liberaciones con Residuos", Capítulo 6.1.4.5

6.1.4.4. Liberaciones en productos

El proceso no genera ningún producto, por lo que no hay liberaciones de este tipo.

6.1.4.5. Liberaciones en 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 de 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 sean retenidas en el horno y en los conductos que conducen a la chimenea, así como en ésta 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 una gran eficiencia de 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, por lo que la concentración total no disminuye más (US EPA 1999, LUA 1997, IFEU 1998).

6.1.5. Incineración de lodos cloacales

Los lodos cloacales constituyen el producto de todo tipo de procesos de tratamiento de aguas servidas o residuales, sea cual fuere su origen (como aguas residuales de actividades municipales, agrícolas o industriales). Las aguas residuales 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 adsorbe a los sólidos presentes en dichas aguas. Si los sólidos no son removidos, los PCDD/PCDF se evacuarán junto con los efluentes. La remoción de estos sólidos puede ser efectuada por filtración o floculación, de forma que los PCDD/PCDF son recolectados en los lodos del tratamiento de efluentes [HF 16. Estos lodos, se pueden ya sea incinerar o tratar de otra manera (co-combustión en plantas generadoras de energía; tratamiento por oxidación húmeda, pirólisis,

gasificación, *etc.*), o disponer en rellenamientos sanitarios/vertederos controlados. Esta subsección trata de las liberaciones de PCDD/PCDF procedentes de la incineración de lodos cloacales 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 cloacales es frecuente, en particular en países industrializados. La incineración de lodos procedentes de procesos industriales, como los de la industria de pasta y 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 cloacales 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 cloacal se incinera en hornos de lecho fluidizado circulante o de burbujeo, en los que la formación de PCDD/PCDF se ve limitada por las buenas condiciones de la combustión. Las eficiencias elevadas de remoción de material particulado, que resultan críticas para la operación de hornos de lecho fluidizado circulante, reducen también las emisiones de PCDD/PCDF. Otros tipos de hornos comúnmente utilizados son los hornos de placa vertical rotativa o de hogar abierto, los tipo parrilla o los tipo mufla. Todos estos 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 liberación más importantes son, sobretodo, el aire y los residuos. Las liberaciones al agua se pueden producir cuando se utilizan depuradores húmedos. En el Tabla 18 se muestran los tres grupos de factores de emisión.

Tabla 18: Factores de emisión para la incineración de lodos cloacales

Clasificación	Factores de emisión - µg de EQT/t de lodos cloacales	
	Aire	Residuos
1. Hornos antiguos, operados en "batch", 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 cloacales. 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 % O_2) y una tasa de flujo específica por volumen de gas de salida de unos 12.500 Nm³/t de lodo cloacal quemado, y de un estudio notificado por el Reino Unido que dió 77 ng de EQT/kg para un horno de solera múltiple con PES. La clase 2 consiste en un factor de emisión

determinado en los Países Bajos en plantas de lechos fluidizados con depuradores y PES. La clase 3 corresponde a plantas de lecho fluidizado con sistemas óptimos de control de la contaminación atmosférica que satisfacen en todos los casos los límites de emisión equivalentes a 0,1 ng de EQT-I/Nm³ (@11 % O_2) (de mediciones hechas en Alemania, Canadá y Suiza) (LUA 1997, IFEU 1998, Environment Canada 1999).

6.1.5.2. Liberaciones al agua

No se dispone de datos sobre concentraciones de PCDD/PCDF en el efluente de depuradores de incineradores de lodos cloacales. Sin embargo, puede concluirse que las PCDD/PCD de las plantas de incineración no pasan al agua, puesto que los efluentes procedentes de los depuradores húmedos con frecuencia se tratan y después se reintroducen en la planta de tratamiento de efluentes.

Deberían señalarse las plantas que utilizan depuradores húmedos o aplican simplemente un enfriamiento brusco con agua a los gases de salida o las cenizas de la rejilla, como asimismo el tratamiento y destino de los efluentes. El inventario europeo (EU 1999) informa concentraciones de entre 1,2 y 6,5 pg EQT-I/L para efluentes de depuradores de incineradores de lodos cloacales.

6.1.5.3. Liberaciones a la tierra

No cabe esperar ninguna liberación a la tierra, a no ser que sobre éste se coloquen directamente residuos no tratados o éstos se mezclen con aquél.

6.1.5.4. Liberaciones en productos

El proceso no genera ningún producto; por consiguiente, no hay liberaciones de este tipo.

6.1.5.5. Liberaciones en residuos

Una prueba realizada en el Reino Unido (Dyke et al 1997) con hornos de solera múltiple reveló la existencia de PCDD/PCDF en 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 de la clase 2 son de 0,5 µg de EQT/t, mientras que se estima que las de la clase 3 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 [HF18. 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 la tierra se tratará en la sección 6.6 – Procesos de quema a cielo abierto (Procesos de combustión incontrolados).

La madera y demás biomasa contaminada puede provenir de numerosas actividades antropogénicas. Las principales son las industrias de procesamiento de madera (por ejemplo, materiales de construcción, muebles, materiales de embalaje, juguetes, construcción naviera, construcción en general, *etc.*), incluyéndose también en esta categoría la combustión de restos de construcción. Los desechos de madera / biomasa pueden contener pinturas, revestimientos, plaguicidas, conservadores, agentes anti-incrustantes/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 combustión. Lo más probable es que estas plantas dispongan de sistemas eficientes de control de 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 de placa vertical rotativa 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 la Tabla 19 se exponen las tres clases de factores de emisión.

Tabla 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 en "batch", 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 constituyen 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 incontroladas. La clase 2 corresponde a instalaciones más nuevas y mejor controladas. A esta clase se le ha asignado un factor de emisión por defecto de 10 µg de EQT/t. Por último, en la clase 3, con un factor de emisión por defecto seleccionado de 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 Canadá 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 se depositen residuos no tratados directamente sobre éste, o éstos se mezclen con tierra. La concentración liberada en tales casos será cubierta bajo "Liberación en Residuos", Capítulo 6.1.6.5

6.1.6.4. Liberaciones en productos

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

6.1.6.5. Liberaciones en 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. Las emisiones gaseosas más altas, especialmente en hornos viejos, indican claramente una baja eficiencia de combustión que resulta en mayores concentraciones de carbón no quemado en las cenizas volantes. Por consiguiente, han de esperarse en las cenizas elevadas concentraciones de PCDD/PCDF. Lamentablemente, sólo se ha encontrado un número muy limitado de datos procedentes de Canadá y de Alemania, que indican un amplio rango, desde un valor tan alto como 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, en término medio, del 3 al 10 %, se ha elegido un valor promedio de 5 %. De ahí se determina un factor de emisión por defecto de unos 1.000µg 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 Canadá 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 mismas 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 con relación a las cenizas de fondo, por lo que 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 (carcasas animales)

Los cadáveres de animales se pueden quemar con el objeto de evitar los riesgos que de otra forma podría implicar para la salud pública su putrefacción. El propio proceso de combustión se halla con frecuencia 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 horno típico destinado a la quema de cadáveres de animales. Lo más frecuente es 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 la tierra, habrá una liberación a éste. De todas formas, no se dispone de datos sobre contaminación de la tierra. En la Tabla 20 se dan tres clases de factores de emisión.

Tabla 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 en "batch", 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

El aire constituye el vector predominante de las liberaciones procedentes de la quema de cadáveres de animales. Los factores de emisión por defecto de las tres clases se determinaron sobre la base de 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 de éstos a cielo abierto. 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 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 para 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 en productos

El proceso no genera productos y, por consiguiente, no hay liberaciones de este tipo.

6.1.7.5. Liberaciones en 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, las 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 sumamente 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 al metal de interés y, mediante ciertos procesos, se trata de obtener este metal de interés puro y recuperar al mismo tiempo otros metales valiosos. Estos otros metales tienden a concentrarse en los residuos de los procesos los que, a su vez, 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, se entiende por procesos metalúrgicos primarios aquéllos 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 como materias primas chatarras metálicas (a menudo recubiertas con plásticos y pinturas), baterías usadas (para la producción de plomo), aceites, *etc.* y/o escorias y cenizas volantes de procesos metalúrgicos u otros procesos. En este capitulo, 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 en 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 requieren cloración 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 vía síntesis *de novo* en los hornos y en los sistemas de remoción. Los PCDD/PCDF se adsorben fácilmente sobre materia sólida y pueden ser recogidos y subsiguientemente eliminados como polvo, sólidos de depuradores, y cenizas volantes de filtros de polvo (Fiedler 1998, BREF 2001a).

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 presentes en la chatarra u otras fuentes de carbón tales como combustibles quemados en forma incompleta y reductores (p.ej.: coque), pueden generar PCDD/PCDF al reaccionar con cloruros (inorgánicos) o cloro ligado orgánicamente en el rango de temperatura de 250 a 450 ºC (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/DCSM 1992a, Fiedler 1998, BREF 2001a).

Aunque los PCDD/PCDF se destruyen a altas temperaturas (normalmente por encima de 850 ºC) en presencia de oxígeno, el proceso de síntesis *de novo* tiene lugar a medida que los gases se enfrían a través de la "ventana de re-formación". Esta ventana de temperatura puede estar

presente en los sistemas de remoción de gases y en las partes más frías del horno como, 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 dicha ventana a fin de prevenir la síntesis *de novo*. Se requiere la presencia de suficiente oxígeno en los gases calientes, pudiéndose emplear la inyección de oxígeno para asegurar la combustión completa a los efectos de minimizar la formación potencial de PCDD/PCDF (OTAN/DCSM 1992a, Fiedler 1998, BREF 2001a).

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 constituir una fuente de liberación de dioxinas. Además de los hornos usados para la producción de metal, las etapas de pretratamiento presentan un potencial para la generación de PCDD/PCDF.

Eliminación de revestimientos/recubrimientos y de aceites/grasas: Se aplica a las 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 rotativo a baja temperatura para volatilizar el aceite y el agua. Se emplea calentamiento directo e indirecto del material. Las plantas modernas pueden tener una cámara de postcombustión operada a altas temperaturas (más de 850 ºC) para destruir los productos orgánicos que se producen en el horno, pudiendo luego los gases de salida 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 rotativos.

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 al horno de fundición generan y emiten oxido de azufre como consecuencia de la oxidación. Éste 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 2001a).

La Agencia Nacional Italiana Para Nuevas Tecnologías, la Energía y el Ambiente (ENEA) ha llevado a cabo un proyecto conjunto con el Ministerio de Ambiente y la Asociación Industrial de Brescia (AIB) para caracterizar las liberaciones del sector de metales ferrosos y no ferrosos (ENEA/AIB/MATT 2003). Se generaron y publicaron los factores de emisión típicos para la industria italiana para liberaciones al aire y para residuos.

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

Aunque la información sobre la formación y la liberación de PCDD/PCDF es muy escasa para los hornos de fundición de metal primario, en este Instrumental se ha introducido una clase

separada para considerar también las liberaciones de PCDD/PCDF de estos hornos. Esto se ha hecho en respuesta a la inclusión de hornos de fundición de metal de base en el Borrador de las Directrices para MTD y MPA (SC BAT/BEP 2004).

Los procesos técnicos involucrados en la extracción y refinado de metales de base (cobre, aluminio, plomo, níquel, zinc, cobalto) incluyen:

- Tecnologías pirometalúrgicas que usan calor para separar los metales deseados de los materiales no deseados. Estos procesos explotan las diferencias entre la posible oxidación de constituyentes, el punto de fusión, la presión de vapor, la densidad, y/o la miscibilidad cuando se produce su fundición;

- Tecnologías hidrometalurgicas que usan las diferencias entre la solubilidad y/o las propiedades electroquímicas de los constituyentes mientras cuando se produce la separación de los metales deseados de los no deseados en soluciones acuosas ácidas; y

- Tecnologías vapo-metalúrgicas tales como el "Inco Carbonyl Process" donde las aleaciones de níquel se tratan con monóxido de carbono gaseoso para formar níquel-carbonilo.

Generalmente, las instalaciones de fundición de metales primarios procesan concentrados de mineral. La mayoría de los hornos de fundición primarios tienen la capacidad técnica para suplementar el ingreso de concentrado primario con materiales secundarios (ejemplo: reciclables). Por lo tanto, puede ser difícil diferenciar entre hornos de fundición de metal primario y secundario. Debería destacarse que por razones económicas y ambientales, tales como la recuperación de metales y el reciclado de residuos sólidos, los hornos de fundición de metales secundarios pueden ser la opción de preferencia aunque generalmente los factores de emisión son má altos.

Los procesos hidrometalurgicos no se consideran una fuente de PCDD/PCDF en este Instrumental dado que se cree que la formación de estas sustancias (y otros COP formados no intencionalmente) se origina a través de los procesos metalúrgicos térmicos de alta temperatura. De esta forma, las liberaciones de los procesos hidrometalúrgicos no tienen que ser estimadas al preparar el inventario nacional de liberaciones de PCDD/PCDF.

En esta sección, el Instrumental considera las siguientes sub-categorias (Tabla 21):

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

			Posibles vías de liberación				
No.		6.2.1.1.1. Subcategorías	***Aire***	***Agua***	***Suelo***	***Producto***	***Residuo***
2		**Producción de metales ferrosos y no ferrosos**	**X**				**X**
	a	Sinterización de metal de hierro	X				x
	b	Producción de coque	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

En lo pertinente al Artículo 5, las fuentes en esta categoría pueden ser clasificadas de la siguiente manera:

Las categorías de fuentes de la Parte II del 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 del 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)	Recuperación térmica 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 partículas finas 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 rejillas (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 coque) 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 rejas calientan el material hasta la temperatura requerida (1.100-1.200 ºC), 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 reja, 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/hora, 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 de polvo en un ciclón, un precipitador electrostático, un depurador húmedo o un filtro de tela. En las plantas en las que se han hallado elevadas emisiones de PCDD/PCDF, pueden instalarse sistemas de depuración de alto desempeño, junto con otras medidas dirigidas a disminuir los flujos de gas, para reducirlas.

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 las partículas de polvo finas y reactivas, es responsable aproximadamente de sólo 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 llama, 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 de la correa, la composición del lecho, la altura de éste, el uso de aditivos y el adecuado mantenimiento de la correa de transmisión, de los conductos y del 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 habitualmente 2-3 ng de EQT-I/Nm³. Se comunicaron valores de una determinada planta que se situaban entre 5 y 6 ng de EQT-I/Nm³ (BREF 2000c). Un relevamiento reciente de 94 plantas de sinterizado de mineral de hierro en Europa concluyó que el contenido de cloro de la mezcla de sinterizado crudo tiene un efecto significativo en las emisiones tanto de PCDD/PCDF como de PCB tipo dioxina. Los autores también enfatizan que en Norteamérica las plantas de sinterizado se emplean típicamente para materiales reciclados y no para minerales de hierro. Esta diferencia en la mezcla de materia prima da como resultado un contenido de cloro mayor para las plantas de Norteamérica. Para las plantas de sinterizado convencional que se utilizan para la preparación de mineral de hierro para el alto horno, los contenidos de cloro de la mezcla de sinterizado crudo están generalmente por debajo de 250 mg/kg y son tan bajos como lo que razonablemente se puede alcanzar, dado los contenidos inherentes de cloro de los minerales de hierro, los que normalmente se encuentran en el rango de 50 a 100 mg/kg. Con estas concentraciones de cloro, se espera que la EQT combinada de PCDD/PCDF y PCB (teniendo en consideración OMS-FET para 29 congéneres) esté por debajo de 1,5 ng EQT/Nm^3 (Fisher *et al*. 2004).

En la Tabla 22 se exponen tres clases de factores de emisión.

Tabla 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	Suelo	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 aceite 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 debería ser registrada 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 intentos completos 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 de 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 han 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, casos en los que se requiere se generen datos a partir de la medición.

Debería señalarse, en función de datos alemanes (LUA 1997), que el tamizado y triturado en caliente pueden agregar un adicional de 1 µg de EQT/t de sinterizado y que 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 la tierra. Deberá tomarse nota de todo vertido de residuos a la tierra.

6.2.1.4 Liberaciones en 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 es que ahí sea destruido. Por consiguiente, no se considera que haya liberación en los productos.

6.2.1.5 Liberaciones en residuos

Se espera que el residuo principal se encuentre bajo la forma de polvo recolectado en los dispositivos de control de 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, datos que están dentro del rango de 29 a 90 ng de EQT-I/kg. Sólo se evacúa 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). Los datos medidos en Alemania en 1993/94 se ubicaban 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 proceso. 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 coque**

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

La liberación de PCDD/PCDF a partir de la producción de coque no ha sido extensivamente estudiada. Los factores de emisión suministrados están basados en una planta que usaba postcombustión y control de 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 distintass. 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 laTabla 23 se muestran dos clases.

Tabla 23: Factores de emisión para la producción de coque

Clasificación	Factores de emisión– µg de EQT/t de coque producido				
	Aire	Agua	Suelo	Productos	Residuos
1. Sin limpieza del gas	3	0,06[1]	NA	ND	ND
2. CCA con postcombustión/ retención del polvo	0,3	0,06[1]	NA	ND	ND

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

La clase 1 se aplicará a las instalaciones que no utilizan ningún tipo de dispositivo de retención de 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 / coque, 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.

Se utiliza el factor de emisión de la clase 1 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 húmeda. 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 en productos

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

6.2.2.5 Liberaciones en residuos

Los residuos pueden provenir de los lodos del tratamiento de agua y de la recolección de sólidos. 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, “pellets” (partículas esféricas), chatarra, carbón, cal, piedra caliza (en ciertos casos también aceites pesados y plásticos), aditivos y auxiliares. Por otra parte, esta industria consume mucha energía. Más de la mitad de la masa que ingresa se transforma en egresos, en forma de gases de salida, de desechos sólidos o productos secundarios. Las emisiones más destacadas son las que se producen al aire, predominando las emisiones de las plantas de sinterización por sobre el total de emisiones en lo que respecta a la mayoría 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. Se utilizan actualmente cuatro vías para la producción de acero: la clásica del alto horno / horno de oxígeno básico, la fusión directa de 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 "pellets" (partículas esféricas). 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).

Se incluyen en esta sección los procesos de galvanizado de inmersión en caliente, ya que su objetivo es proteger al acero de la corrosión.

Para la fusión de metales en las fundiciones/funderías se emplean 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 más de un tipo de horno (US-EPA 1998b).

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

En las acerías integradas, 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 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 "pellets" (partículas esféricas). El sinterizado 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 coque 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 de hierro (mineral de hierro en trozos, sinterizado y/o "pellets"), aditivos (formadores de escoria como piedra caliza) y agentes reductores (coque). En el alto horno, el mineral de hierro se reduce a arrabio utilizando la reacción del coque de la planta de horno de coque – esta es la razón por la cual se ubican a los hornos de coque en este sector de producción de metales ferrosos y no-ferrosos- y el 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"). 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. En el fondo del horno se recogen el hierro líquido y la escoria los que, desde allí, son colados.

Aunque recircula gran cantidad de agua de refrigeración, apenas hay efluentes acuosos. 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 "pellets" (partículas esféricas) 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 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. Un HBO va siempre seguido de 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 le 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 en el que por una abertura lateral se introducen alternativamente coque y el metal de alimentación, de manera que el coque se quema, fundiendo al 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 ºC), mientras que para los 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 órgano halogenados aromáticos, como las dibenzo-*p*-dioxinas y los dibenzofuranos policlorados (PCDD/PCDF), clorobencenos, 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 de entre 60 y 80 t (rango: 25-400 t) y los períodos entre coladas son de desde 35 minutos a dos horas. Los hornos de arco eléctrico se operan como un proceso "batch" y funden la carga entre 1600 ºC y 1670 ºC (BSE 2002). Se emiten contaminantes gaseosos que pueden salir a través de un sistema de ductos. Además, puede haber emisiones fugitivas que constituyan una gran parte de las emisiones totales.

Los **hornos de tambor rotativo** funcionan según un proceso "batch". 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 los cuales 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.

En el proceso de galvanización por inmersión en caliente, el acero o el hierro limpio y libre de oxido se sumerge en zinc fundido para crear un recubrimiento de zinc. Al hacer de esto, el zinc se liga metálicamente a la superficie de acero/hierro, protegiendo de esta forma la superficie de la corrosión (Fabrellas *et al*. 2003). El paso critico con respecto a la formación y liberación de PCDD/PCDF en el galvanizado por inmersión en caliente es la inmersión del acero/hierro limpio en un baño de zinc, proceso que ocurre a alrededor de los 450 ºC. Antes del proceso de galvanizado se llevan a cabo generalmente etapas de limpieza y de preparación de la

superficie. La limpieza elimina la suciedad, grasa, herrumbre, incrustaciones, *etc*., de la superficie del hierro. Normalmente, el desengrasado se realiza por inmersión del acero / hierro en una solución desengrasante ácida o alcalina, el metal lava luego y finalmente se sumerge en ácido clorhídrico a la temperatura ambiente para eliminar incrustaciones y herrumbre. Después del enjuague, el material se somete a un proceso de decapado con 30% de cloruro de amonio y zinc a alrededor de 65-80 ºC. El acero / hierro limpio se sumerge entonces en el zinc fundido (450 ºC), normalmente por 4-5 minutos. Los procedimientos post galvanizado incluyen el enfriamiento brusco con agua o enfriamiento con aire.

La formación de PCDD/PCDF en el proceso de galvanización por inmersión en caliente se puede explicar por las siguientes características: existencia de grasa, suciedad, adhesivos que aportan fuentes de carbono, partículas, metales o sus sales que actúan como catalizadores, el cloro adicional que se introduce en el proceso por el agente fundente (Cl_2Zn-$ClNH_4$) y la temperatura de alrededor de 450 ºC en la ventana de formación de PCDD/PCDF (Fabrellas *et al*. 2003). Ya en el Inventario de Emisiones Europeo del año 1997 (LUA 1997), la galvanización por inmersión caliente fue cuantificada en los inventarios nacionales de Alemania y Suiza, y posteriormente en el inventario de emisiones danés (Hansen 2001)

El estudio Italiano (ENEA/AIB/MATT 2003) encontró factores de emisión ligeramente más altos al aire y en residuos pero dentro del mismo orden de magnitud, por ejemplo, FE_{aire} 4,8g EQT/t de AL (acero líquido) para la clase 2 (en lugar de 3g EQT/t de AL) y 0,26g EQT/t de AL (en lugar de 0,1g EQT/t de AL) para la clase 3. Los $FE_{residuo}$ eran de 24g EQT/t de AL y 4,1 g EQT/t de AL, para la clase 2 y 3, respectivamente (en lugar de 15 y 1,5g EQT/t de AL como se muestra en la Tabla 24).

Se desarrollaron las siguientes clases de factores de emisión que se muestran en laTabla 24

Tabla 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	Suelo	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 rotativo 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
Plantas de galvanización de Inmersión en caliente	**Factores de emisión-µg EQT/t de Hierro/Acero galvanizado**				
1. Instalaciones sin SCCA	0,06	NA	NA	NA	ND
2. instalaciones sin etapa de desengrasado, buen SCCA (filtros de mangas)	0,05	NA	NA	NA	2.000
3. Instalaciones con etapa de desengrasado, buen SCCA (filtro de manga)	0,02	NA	NA	NA	1.000

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, pudiendo estar presente una importante fracción de los gases y de los PCDD/PCDF en las emisiones fugitivas más que en los gases de chimenea. Las emisiones parecen aumentar en gran medida con los materiales de alimentación en base de chatarras mixtas de mala calidad, en particular cuando se alimentan residuos procedentes del trabajado del metal que incluyen aceites de corte. El precalentamiento de la chatarra, para mejorar la eficiencia energética, puede aumentar asimismo las emisiones, habiéndose llegado a medir concentraciones de 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). Basándose en los datos europeos se ha utilizado un factor de conversión de 940kg de arrabio/t de AL

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 presentan, generalmente, factores de emisión considerablemente bajos, ligeramente superiores a los de los altos hornos (con un límite superior de 0,06 µg de EQT-I/t de AL, basándose en datos medidos).

Para los hornos de arco eléctrico la mayor parte de los datos de emisión medidos se refieren a plantas que utilizan 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 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 brusco 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 en 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, utilizándose un factor de 1 µg de EQT/t para las plantas dotadas de filtros de tela.

Una vez más, las pocas pruebas realizadas con hornos de tambor rotativo arrojaron niveles más elevados, aplicándose un factor de 4,3 µg de EQT/t cuando se trata de plantas dotadas de filtros de tela para la limpieza de gas.

Si se usan cubilotes de aire frío u hornos de tambor rotativo 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.

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

Para las plantas de galvanizado por inmersión en caliente, como para cualquier otra planta térmica, la presencia o ausencia de equipos de limpieza de gases de salida es un factor determinante para la magnitud de las emisiones de PCDD/PCDF al aire. Algunas plantas no poseen dispositivos de limpieza de gases de salida mientras que otras cuentan con filtros de mangas. En Alemania, y sin mayores especificaciones, se midieron concentraciones de PCDD/PCDF entre 0,007 y 0,132 ng EQT-I/Nm^3 en los gases de salida de cuatro instalaciones (LUA 1997). La media geométrica fue de 0,016 ng EQT-I/Nm^3. El inventario danés utilizó los datos de Alemania y un volumen de emisión de 33.000 Nm^3 por tonelada de hierro / acero galvanizado a fin de estimar sus emisiones nacionales.

6.2.3.2 Liberaciones al agua

Las liberaciones al agua pueden darse en los casos en los que se utilicen depuradores húmedos o enfriamiento con 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 en 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 en residuos

Los principales residuos de interés son la escoria y el polvo recogido en los sistemas de tratamiento de 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 alcanza 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 inoxidables.

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), pudiendo las liberaciones resultar 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 la Tabla 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 pueden reutilizar en la propia planta o utilizar externamente como material de construcción (US-EPA 1998b).

Las concentraciones de PCDD/PCDF en las cenizas volantes de las plantas de galvanización por inmersión en caliente que se midieron estuvieron entre 2,15-9,6 ng EQT-I/kg de ceniza con una media geométrica de 3,9 ng EQT-I/kg de ceniza volante (datos de Alemania en LUA 1997). No se pueden extraer ningún factor de emisión de estos datos. El estudio español sí obtuvo un factor de emisión en el rango de 487-8.075µg EQT-I/t de acero galvanizado para plantas sin etapa de desengrasado y de 127-1804 µg EQT-I/t de acero galvanizado para plantas con etapa de desengrasado (Fabrellas *et al*. 2003).

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 dichas sustancias.

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, dependientes del tipo de minerales a tratar, ya sean estos óxidos o sulfuros, pudiendo ser producido a partir de concentrados primarios y otros materiales, ya sea por la vía pirometalúrgica o por la vía hidrometalúrgica(BREF 2001a, 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 ºC. 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 en sulfuros de hierro y cobre 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 ºC y 1300 ºC.

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

Los hornos de fundición en baño incluyen: reverberatorio, eléctrico, SIA Smelt, Noranda, Mitsubishi, Teniente, Bayin, Vanyucov. Todos los procesos cuentan con que la torrefacción/tostación y el proceso de fundición tengan 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/tostación y la fundición del concentrado seco en partículas.

Se usan dos tipos de procesos de **convertidor**: el proceso "batch" (por lotes) convencional (los más comunes, por ejemplo son: Convertidor Peirce-Smith, convertidor tipo Hoboken) y el proceso de conversión continua (ejemplo: Kennecott/Outukumpu horno flash) horno Mitsubishi y convertidor Noranda). Los Convertidores Rotativos con Soplado Superior (Top Blown Rotary Converters) han sido usados en el pasado para la conversión "batch" 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 incluyen la adición de aire y luego un reductor para reducir el oxigeno 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. Puede encontrarse una visión general de las materias primas secundarias para la producción de cobre en el documento de referencia MTD de la UE (BREF) acerca de la producción de metales no ferrosos (BREF 2001a). Como los materiales de alimentación secundaria pueden contener materia orgánica, también se aplican métodos de desengrasado y de eliminación de recubrimientos/revestimientos, con el objeto de minimizar la formación de PCDD/PCDF en las etapas subsiguientes. Las etapas usadas para la producción de cobre secundario generalmente son similares a las de la producción de cobre primario, pero las materias primas se hallan habitualmente en forma oxidada o metálica y, por lo tanto, la fusión de los materiales secundarios emplea condiciones reductoras.

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

El cobre refinado se produce a partir de materias primas primarias y secundarias en las refinerías de cobre; su producto es cátodo de cobre. Éste 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 con varios propósitos, tales como torrefacción/tostación o calcinación de materias primas, fusión y refinado de metales, y 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 2001a):

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

Hornos para Fundición: Horno de fundición "flash" para cobre, hornos de fundición en baño, hornos reverberatorios [(a) para fundición, 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 rotativos o convertidores;

Hornos de Refinación y Fusión: Hornos de inducción, Hornos de columna / eje vertical, hornos rotativos.

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

Hasta ahora, sólo 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.

Cuando se recopiló este instrumental no se había suministrado ningún dato de emisiones o liberaciones de PCDD/PCDF a partir de fundiciones de cobre primario puro ni se habían encontrado en ningún otro sitio. En algunos países como Chile, entre otros, las fundiciones de cobre primario usan sólo minerales y concentrados y no se mezclan con materiales secundarios. En otros países como Alemania, Suecia y Canadá, entre otros, las fundiciones de cobre primario reciben cargas que incluyen chatarra y otros materiales reciclados que se introducen en estas fundiciones de cobre "primario" a tasas que van desde 15% a 40% (COCHILCO 2004). Las liberaciones de las fundiciones de cobre primario que reciclaban materiales secundarios como chatarra de cobre u otros residuos se pueden estimar aplicando el factor de emisión para la clase 6 (Tabla 25).

Para las fundiciones de cobre primario como las actuales, entre otras, las fundiciones de cobre chilenas, la probabilidad de formar PCDD/PCDF en la producción de cobre primario parece ser muy baja o no existente. Estas fundiciones primarias usan materiales crudos limpios y emplean tanto el proceso de fundición de base (con hornos como el Teniente o el Noranda) como la fundición "flash" (con horno Outokumpu). El cobre blanco o los concentrados de los hornos se convierten en ampolla de cobre en una atmósfera rica en óxigeno utilizando el Convertidor Peirce- Smith. Las temperaturas típicas en el proceso de fundido están bastante por encima de las temperaturas críticas informadas de formación de PCDD/PCDF: en el Teniente, los gases alcanzan los 1.260 ºC en una atmósfera rica en dióxido de azufre (@ 25%), el cobre blanco líquido llega a 1.250 ºC y las escorias líquidas a 1.240 ºC. En el horno "flash" Outokumpu la temperatura está a alrededor de 1.260 ºC y los gases salen en el rango de 1.300ºC-1.350ºC. El Convertidor Peirce-Smith opera en un rango de temperatura de 1.150ºC-1.250ºC. El refinado de la ampolla de cobre - para eliminar azufre y oxigeno - tiene lugar en hornos rotativos a una temperatura operacional de alrededor de 1.200 ºC. Las escorias aún tienen altos contenidos de cobre (4%-10%) y se tratan en el horno Teniente, en el horno de arco eléctrico o en plantas de flotación de escoria a temperaturas por encima de 1.200 ºC. La purificación de los gases que se originan en los hornos de fundición y los convertidores se realiza mediante un enfriamiento brusco seguido por precipitadores electrostáticos, torres de lavado y depuradores húmedos. Las plantas de ácido sulfúrico (plantas de H_2SO_4) aplican convertidores catalíticos (COCHILCO 2004).

Para armonizar este Instrumental y el Borrador de Directrices sobre MTD y Orientación Preliminar sobre MPA para el Convenio de Estocolmo (SC BAT/BEP 2004), donde se dan consideraciones de MTD para fundiciones de metales primarios, se suministra una clase 6 en esta edición del Instrumental. Sin embargo, en ausencia de datos medidos no habrá aporte de factores de emisión por defecto.

Tabla 25: Factores de emisión para la industria del cobre

Clasificación	Factores de emisión – µg de EQT/t de cobre				
	Aire	Agua	Suelo	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, bien controlado, con materiales de alimentación secundarios	0,01	ND	NA	NA	ND
6. Fundidor de cobre primario puro sin materiales de alimentación secundario	ND	ND	NA	NA	NA

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 está 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, arrojó 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/Nm³ (LUA 1997).

Las instalaciones para la fusión y vaciado de cobre y sus aleaciones, como el latón, dieron emisiones de entre 0,003 y 1,22 ng de EQT-I/Nm³, con una media geométrica de 0,11 ng de EQT/Nm³ (datos de Alemania, LUA 1997). En la compilación de plantas Europeas realizada por la Oficina del IPPC, se informaron emisiones de < 0,1ng EQT-I/Nm³ (BREF 2001a). 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 de entre 0,01 y 0,001ng EQT/Nm³ (BREF 2001a). La misma fuente informa - sin mayores especificaciones - 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 <5µg y, para los hornos de columna/eje vertical de carga superior y los hornos rotativos, de <10µg 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 procesado 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 rápido enfriamiento brusco con agua antes de los filtros de tela y utilización de carbón activado para el tratamiento de los gases de salida.

Los factores de emeision de la clase 4 consideran la fundición y moldeado de cobre y aleaciones de cobre

Los factores de emisión de la clase 5 y la clase 6 consideran los así llamados hornos de fundición de cobre primario. Se dispone de resultados medidos de PCDD/PCDF de Alemania (Meyer-Wulf C.1996) y Suecia (LUA 1997). No obstante, debería destacarse que estas plantas, así como aquellas de Canadá, no son hornos de fundición de cobre primario "puro" ya que procesan cantidades significativas de materiales reciclables (hornos de fundición de cobre 2004). Los datos medidos en Alemania en tales hornos de fundición de cobre "primario", que usan cantidades considerables de materiales secundario en la alimentación (hasta 40%) en los hornos de fundición "flash" y en los convertidores de mata de cobre, han dado emisiones de 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 (LUA 1997). Meyer-Wulf (1996) informó concentraciones en el gas crudo después de la fundición primaria de entre 0,004 ng EQT-I/Nm^3 y 0,3 ng EQT-I/Nm^3, mientras que se obtuvieron concentraciones mayores cuando había PVC presente en los materiales de reciclado. Los gases purificados después de la planta de sulfúrico eran no cuantificables o del orden de 0,001 ng EQT-I/Nm^3. 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/tostación utilizados para la desulfurizacion del mineral. El volumen del gas residual era de 5.000 Nm³ por tonelada de cobre producido. Por otro lado, se informó, a partir de una fundición de cobre primario en Suecia que recicla cantidades considerables de materiales secundarios y que producía 2.000 Nm³/t de gases residuales, una concentración de 11 ng EQT-I/m³. De los resultados de las mediciones antes señalados, se dedujeron factores de emisión entre 0,25 µg EQT-I/t (según resultados de Alemania) y 22 µg EQT-I/t (según resultados de Suecia). El inventario de Bélgica tomó un factor de 10 µg EQT-I/t para estimar sus liberaciones nacionales (LUA 1997). Los datos en el rango superior se asimilaron más a los de las clases 2 y 3. El factor de emisión de la clase 5 debería tomarse para plantas bien controladas. Para la clase 6, correspondiente a los hornos de fundición de cobre primario "puro", no hay factores de emisión disponibles actualmente.

6.2.4.2 Liberaciones al agua

No se dispone de datos que permitan estimar las liberaciones al agua. Éstas pueden ocurrir 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 en productos

No se espera ninguna liberación en productos.

6.2.4.5 Liberaciones en residuos

Pueden hallarse PCDD/PCDF en los residuos sólidos de los procesos, siendo los más importantes los provenientes 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 46.000t de cobre 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 mas detalladas. Tratándose de plantas de alta tecnología, puede utilizarse un factor de emisión más bajo, de 300 µg de EQT/t.

Debería destacarse que los residuos sólidos de los hornos de fundición de cobre pueden ser reciclados internamente o pueden ser transferidos a otras plantas de recuperación de metales secundarios. En tales casos, los residuos sólidos constituyen intermediarios y la liberación de PCDD/PCDF a partir de éstos no será tenida en cuenta en el inventario nacional de liberación de PCDD/PCDF.

6.2.5 Producción de aluminio

El aluminio se puede producir a partir de mineral de aluminio, más comúnmente bauxita, o a partir de chatarra. El primer método se conoce habitualmente como producción primaria, mientras que el segundo como producción secundaria.

El mineral de aluminio (por ejemplo: bauxita) se refina en trihidrato de óxido de aluminio (alúmina) a través del Proceso Bayer. Después se reduce electrolíticamente pasando a aluminio metálico a través del Proceso Hall-Héroult que utiliza o bien ánodos de generación en continuo, ánodos Soderberg o ánodos pre-cocidos. El uso de ánodos pre-cocidos representa el proceso más moderno (para información adicional, ver SC BAT/BEP 2004). Generalmente se piensa que la producción de aluminio primario no es una fuente significativa de COP producidos en forma no intencional. Sin embargo, las liberaciones y formación de PCDD/PCDF son posibles a través de los electrodos a base de grafito usados en los procesos de fundición electrolítica. También un estudio del 2001 encontró altas liberaciones de PCDD/PCDF al aire y a la tierra a partir de plantas de aluminio primario en Krasnoyarsk, Rusia (Kucherenko et al. 2001).

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 recae en el procesamiento térmico de los materiales de chatarra.

Básicamente, todo el aluminio utilizado 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. Puede producirse el aluminio secundario en diversos hornos, empleándose los hornos de tambor rotativo cuando se agrega sal, por ejemplo, criolita (fluoruro sódico alumínico), 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 sobretodo en fundiciones/funderías en las que se usa como material, de alimentación chatarra libre de óxido. El aluminio fundido en el horno se escurre para su refinado, aleaciones o mantenimiento de calor 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 hay presencia de contaminantes orgánicos y cloro, como así también en el momento del refinado (donde pueden emplearse hexacloroetano o cloro) y en ciertos pretratamientos como la limpieza térmica de la chatarra. Los hornos donde se realiza la fusión suelen tener capacidades entre 0,5 y 0,7 t.

Con gran frecuencia, las virutas son sometidas a un tratamiento térmico o de secado con el fin de reducir 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 rotativo 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).

La mayoría de la información que se usó para obtener los factores de emisión del Borrador de Instrumental (Instrumental 2001) y de la 1ª edición del mismo (Instrumental 2003) era relativamente antigua. Algunos de los factores de emisión han sido actualizados a la luz de datos medidos presentados en los estudios más recientes de Italia (ENEA/AIB/MATT 2003).

Se han desarrollado las siguientes clases de factores de emisión que se muestran en laTabla 26

Tabla 26: Factores de emisión de la industria del aluminio

Clasificación	Factores de emisión – µg de EQT/t de aluminio				
	Aire	Agua	Suelo	Productos	Residuos
1. Procesamiento térmico de chatarra de Al, tratamiento mínimo de material de entrada y simple retención del polvo	100	ND	NA	NA	200
2. Procesamiento térmico del Al, pre-tratamiento de la chatarra, buenos controles, filtros con inyección de cal	35	ND	NA	NA	400
3. Procesamiento térmico de Al , pre-tratamiento de la chatarra, buenos controles, filtros de mangas con inyección de cal	3.5	ND	NA	NA	100
4. Control de PCDD/PCDF óptimo – sistemas de postcombustión, inyección de	0,5	ND	NA	NA	100

cal, filtros de tela y carbón activado					
5. Desecado de raspaduras / viruta (plantas simples)	5	NA	NA	NA	NA
6. Eliminación de aceites/desengrasado térmico de virutas, hornos rotativos, sistemas de postcombustion, filtros de tela	0,3	NA	NA	NA	NA
7. Producción de aluminio primario puro	ND	NA	NA	NA	ND

El factor de clase 1 deberá ser usado para las plantas que no poseen ningún equipo de retención o en las que éste equipo sea muy simple; los de la clase 2 deberán serlo para plantas que poseen sistemas de postcombustión y filtros de tela; la clase 4 deberá emplearse para 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; las clases 5 y 6 se refieren al tratamiento de virutas y raspaduras; mientras que la clase 7 se refiere a la producción de aluminio primario por electrolisis.

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 hexacloroetano (como agente degasificante) pueden provocar, todos ellos, la liberación de PCDD/PCDF al aire.

Las emisiones al aire varían ampliamente, dependiendo de la naturaleza de la chatarra, la limpieza previa del producto de entrada y el tipo de horno o de sistema de limpieza de gas que se aplique.

Los hornos con tecnologías más antiguas y provistos de filtros de tela dan emisiones de 146 a 233 µg de EQT/t de producto. Las concentraciones y los volúmenes del gas de salida varían considerablemente; se han comunicado concentraciones hasta de 10 ng de EQT-I/m³ (SCEP 1994). Más elevadas parecen ser las emisiones de los hornos de tambor que utilizan viruta de aluminio. 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 ciclones o filtros básicos de tela, se deberá usar un factor de emisión de 100 µg de EQT/t del producto.

Para los sistemas mejor controlados que usan sistemas de 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 3, 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 estudio italiano dio un valor de 5,2 g EQT/t de Al. El factor de emisión de la clase 4 debería ser aplicado a plantas bien equipadas con tecnologías de reducción de dioxinas y con sistemas de depuración de gases de salida optimizados.

Los factores de emisión de las clases 5 y 6 consideran a las plantas de eliminación de aceites y secado de virutas de aluminio: el factor de emisión de la clase 5 de 5 µg EQT/t se aplica al secado de virutas y raspaduras de aluminio en hornos de tambor rotativo o equipo similar (EAA 2003) y el factor de emisión de la clase 6 se aplica a la eliminación térmica del aceite de

virutas en hornos rotativos con sistemas de postcombustión y filtros de mangas (ENEA/AIB/MATT 2003).

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 en productos

No se espera ninguna liberación en productos.

6.2.5.5 Liberaciones en residuos

Se espera que los residuos del proceso contengan PCDD/PCDF. La contaminación más alta se anticipa 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 rotativo 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 rotativo (UBAVIE 2000).

En el polvo del filtro se han registrado concentraciones de PCDD/PCDF de 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 de producto para la clase 2 (particulados finos). El estudio italiano arrojó 183 g EQT/t y, de esta forma, el factor de emisión ha sido cambiado a 200 g EQT/t de Al (ENEA/AIB/MATT 2003). Para realizar una estimación inicial con respecto a las plantas de clase 1 y 2 se usa un sólo factor, resultando 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

Existen dos vías principales para la producción de plomo primario a partir de minerales en forma de sulfuros: sinterización / fundición y fundición directa. Las emisiones a partir de la fundición directa son bajas (SCEP 1994) y no se van a tener en cuenta en adelante. No se dispone de datos sobre liberaciones a partir de la producción de plomo primario por sinterización/fundición.

Se recuperan cantidades considerables de plomo de materiales de chatarra, en particular baterías de vehículos. Se utilizan diversos diseños de horno, incluidos los hornos rotativos, los reverberatorios, los de crisol, los hornos de columna / eje vertical, los altos hornos y los hornos eléctricos. Pueden utilizarse procesos de fundición directa continua.

Las emisiones de PCDD/PCDF pueden relacionarse con la existencia de gran cantidad de materia orgánica en 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 secundario dentro del proyecto de Análisis y Muestreo de Dioxinas de Tailandia (PNUMA 2001, Fiedler *et al.* 2002). La compañía opera dos hornos rotativos 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 rotativo, 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, por ejemplo, campana de ventilación de la puerta de alimentación del horno, campana de ventilación de la ollas de vaciado de escoria, ollas de refinería para vaciado del producto final, campanas de ventilación del procesamiento de chatarra cruda, horno de fundición de ceniza y la olla de vaciado de escoria fundida de ceniza.

Tabla 27: Factores de emisión para la industria del plomo

Clasificación	Factores de emisión – µg de EQT/t de plomo				
	Aire	Agua	Suelo	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, algún de SCCA	8	ND	NA	NA	50
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
4.Producción de plomo primario	ND	NA	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), como así también en los Estados Unidos de Norteamérica (EE.UU.) (US-EPA, 2000). En estos países, el PVC generalmente se separaba de las baterías y las instalaciones estudiadas disponían de filtros de tela para la retención de polvo, contando también algunas con 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 EE.UU. se determinaron los siguientes factores de emisión para varios tipos de hornos de fundición de plomo secundario (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 rotativos =

0,24-0,66 µg EQT/t de plomo. Las emisiones al aire fueron aproximadamente 10 veces más altas antes del ingreso a cualquier depurador/SCCA que en el aire ya purificado. El promedio de las emisiones fue 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 rotativos 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 fueron de 0,14-0,27 ng EQT/Nm³ en hornos rotativos; 0,59 ng EQT/Nm³ en un horno de columna / eje vertical; y 0,09-0,18 ng EQT/Nm³ en hornos rotativos cortos. Un horno de fundición para plomo reciclado de baterías de auto usados presentaba emisiones de entre 0,2 y 0,3 ng EQT/Nm³. El informe no brinda los factores de emisión promedio para la industria del plomo secundario en Alemania (LUA 1997). El estudio italiano informó un factor de emisión de 5,0 µg EQT/t de Pb para la producción de plomo secundario a partir de baterías pretratadas de vehículos en hornos rotativos equipados con depuradores húmedos. Una planta con estas emisiones clasificaría como clase 2 y, de esta forma, el factor de emisión coincide bien con el propuesto en la Tabla 27.

Las concentraciones medidas en un horno de fundición de plomo secundario en Tailandia (horno rotativo con sistema de postcombustión, ciclón y filtro de mangas) estuvieron 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 en otro de 0,06 a 0,11 ng EQT-I/m³ con una media de 0,089 ng EQT-I/m³ para otra línea que sólo operaba el horno rotativo con el contenido de 19 % de O_2. 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 la Tabla 27 (PNUMA 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 existe la posibilidad de 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).

Para la producción de plomo primario, aun no hay un factor de emisión disponible.

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 en productos

No se espera PCDD/PCDF en el plomo refinado.

6.2.6.5 Liberaciones en residuos

En los gases de salida del tratamiento de residuos habrá PCDD/PCDF presentes. En pruebas realizadas en Alemania (SCEP 1994), se informaron concentraciones de entre 2.600 y 3.100 ng de EQT/kg en los polvos de un horno de eje vertical / columna. Toda utilización de residuos como materia prima para otros procesos puede resultar en una transferencia de PCDD/PCDF.

Del estudio de ENEA (ENEA/AIB/MATT 2003) se obtuvo un factor de emisión de 50 g EQT/t de plomo.

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 generarse 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 rotativos (LUA 1997). Para la recuperación de zinc pueden utilizarse varios materiales de chatarra, así como materias primas secundarias - como el polvo resultante de la producción de aleaciones de cobre - de la fabricación de acero en arco eléctrico (por ejemplo: polvo del filtro y lodos), además de 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 rotativo 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 ºC 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 fundición del zinc puede producirse con adición de fundentes que incluyen 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).

Tabla 28: Factores de emisión para la industria del zinc

Clasificación	Factores de emisión – µg de EQT/t de zinc				
	Aire	Agua	Suelo	Productos	Residuos
1. Horno sin SCCA	1.000	ND	NA	NA	ND
2. Hornos de briquetado en caliente/ rotativos, 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. Fundición del zinc	0,3	ND	NA	NA	NA
5. producción de zinc primario	ND	ND	NA	NA	ND

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 deberían contar con 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 rotativos. 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 al suelo

No se espera ninguna liberación a la tierra.

6.2.7.4 Liberaciones en productos

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

6.2.7.5 Liberaciones en 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 brilloso, duro y amarillo que consiste en una aleación de cobre (55 %-90 %) y de zinc (10 %-45 %). Las propiedades del 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-fusion 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 bronces son más duros que el cobre y los latones. El bronce, a menudo se funde y moldea para hacer estatuas. La mayoría de los bronces 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.

Existe disponibilidad de datos medidos de PCDD/PCDF a partir de la producción de bronce provenientes de un programa de muestreo en Tailandia (PNUMA 2001, Fiedler *et al.* 2002). La planta consistía de un horno de fusión pequeño, de tipo “batch” (de lotes), para la producción de latón primario y secundario. El latón del fundidor 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 de bajo contenido de azufre y 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 (Tabla 29).

Tabla 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	Suelo	Productos	Residuos
1. Eliminación térmica de aceites de virutas,	2,5	NA	NA	NA	NA

sistema de postcombustion, depurador húmedo					
2. Hornos de fusión sencillos	10	ND	NA	NA	ND
3. Chatarra mezclada, hornos de inducción, filtros de tela	3,5	ND	NA	NA	125
2. Equipos sofisticados, como hornos de inducción con SCCA	0,1	ND	NA	NA	ND

6.2.8.1 Liberaciones al aire

Las emisiones al aire pueden proceder del proceso de fundición y de la fusión de la chatarra mixta. Las concentraciones en chimenea para el fundidor de latón secundario de Tailandia estuvieron 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 O_2. Esta concentración corresponde a un factor de emisión de 11µg EQT-I/t de latón (11µg OMS-EQT/t).

El factor de emisión de la clase 1 se aplicará a los hornos de fundición sencillos provistos de algún tipo de tecnología de tratamiento 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 mangas 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 en productos

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

6.2.8.5 Liberaciones en residuos

Se puede esperar que los residuos procedentes de la depuración de gases y de los lodos de depuradores húmedos, cuando existan, contengan 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 fueron bastante altas, 8.683 y 8.567 ng EQT-I/kg m.s, respectivamente; 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 fue 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 fundamentalmente 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 que lo contienen.

El proceso de electrólisis es el más utilizado y 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 ferrosilicio, 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 de la dolomita a menudo se usan hornos verticales o rotativos.

Pruebas realizadas en una planta en Noruega que producía magnesio electrolítico a partir de dolomita y salmuera como materias primas, indicaron que el principal proceso causante de la formación de PCDD/PCDF era un horno que convertía los "pellets" (partículas esféricas) de MgO y coque 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 ("cloruración") 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 requieren ser removidos del gas de salida, lo que puede realizarse empleando un sistema de limpieza húmedo. Ésto da consecuentemente como resultado un agua de lavado contaminada que de por sí requiere un tratamiento de efluentes eficiente (BREF 2001a).

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 en 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 coque 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-Nórdico 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 500g de EQT-N (Oehme 1989).

Tabla 30: Factores de emisión en la industria del magnesio

Clasificación	Factores de emisión – µg de EQT/t de magnesio				
	Aire	Agua	Suelo	Productos	Residuos
1. Producción mediante termotratamiento	250	9.000	NA	NA	0

de MgO/C en Cl_2 – sin tratamiento del efluente, tratamiento limitado del gas					
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 utilizando procesos electrolíticos de cloración son bastante inciertos. Los PCDD/PCDF se forman y se liberan a partir de un horno de cloración donde el óxido de magnesio se convierte en cloruro de magnesio. El documento EU BREF informa los siguientes datos: se hallaron 0,8 ng EQT/Nm³ en el tratamiento de los gases de salida de la cloración (FE = 12 µg EQT/t); se determinó un factor de emisión de 28 µg EQT/t para los gases de venteo de la cloración; las concentraciones en el recinto de la electrólisis y la cloración arrojaron un factor de emisión de 13 µg EQT/t. (BREF 2001a).

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 2001ª).

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, sobretodo, del tratamiento que se aplique a los efluentes.

No hay información suficiente para estimar las liberaciones a partir de procesos, salvo para aquellos que incluyen un termotratamiento de MgO/coque en Cl_2.

Para los procesos que se realizan en plantas con un tratamiento de agua completo (incluida una remoción de sólidos de gran eficiencia), se ha estimado un factor de emisión de menos de 1 g de EQT al año, tomando como base liberaciones notificadas a fines de los años noventa por una planta noruega. Antes de que se instalase el sistema de tratamiento de agua, las liberaciones a este medio se calcularon en 500 g de EQT al año, siendo 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 emplea 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 a partir de las plantas europeas (BREF 2001ª).

6.2.9.3 Liberaciones a la tierra

Pueden producirse liberaciones a la tierra cuando parte del agua tratada se libera en un charco o laguna. Se hace una estimación de las cantidades en la sección sobre residuos (6.2.9.5)

6.2.9.4 Liberaciones en productos

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

6.2.9.5 Liberaciones en 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 un charco o laguna, lo que constituirá una liberación de residuos a la 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 con contenido de PCDD/PCDF (BREF 2001a).

Se dispone de muy poca información sobre concentraciones de PCDD/PCDF en residuos resultantes de este proceso o sobre las cantidades de residuos producidas. Sólo pueden hacerse estimaciones iniciales.

Se parte del supuesto de que si no hay tratamiento con agua, no hay 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 de 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 son complejos y no han sido estudiados 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, provocó 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 este metal (Bröker *et al.* 1999).

Otros procesos térmicos de metales pueden liberar PCDD/PCDF y las emisiones se verán 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, aún cuando los datos disponibles sean insuficientes para suministrar debidamente los factores de emisión. 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 en residuos. Se sugiere que, cuando se investiguen los procesos de producción, se tome nota del proceso térmico, se registre el tipo de limpieza de los gases y se consignen los niveles de contaminación encontrados en los materiales de alimentación. También deberá tomarse debida cuenta del uso de Cl_2 o de hexacloroetano para el refinado, como así también de 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.

Tabla 31: Factores de emisión de procesos térmicos de metales no ferrosos

Clasificación	Factores de emisión – µg de EQT/t del producto				
	Aire	Agua	Suelo	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 en instalaciones con control deficiente de los materiales de entrada, lo que redudará en 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/m³ (clase 2) a decenas de ng/m³ (clase 1).

6.2.10.2 Liberaciones al agua

Cuando se descargan efluentes pueden producirse liberaciones al agua. Deberá tomarse nota de la presencia y fuente de los efluentes.

6.2.10.3 Liberaciones a la tierra

No se esperan liberaciones a la tierra, a no ser que se viertan residuos sobre éste.

6.2.10.4 Liberaciones en productos

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

6.2.10.5 Liberaciones en 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

Cuando se habla de fragmentadoras, a veces llamadas desguazadoras, generalmente se hace referencia a la de los automóviles. Debido a que estas maquinas son capaces de "tragar" automóviles completos de una sola vez y cortarlos en pequeños trozos de metal del tamaño de un puño, también pueden aceptar otros materiales de ingreso. En la práctica, mucha chatarra liviana como bicicletas, muebles de oficina, máquinas expendedoras, y los los así llamados bienes de consumo de la línea blanca, ejemplo: heladeras/refrigeradores, cocinas, maquinas de lavar, *etc*., y los bienes de consumo de línea marrón, por ejemplo: televisores, radios, *etc*., son ingresados dentro de las fragmentadoras (Nijkerk y Dalmijn 2001). Estas son máquinas a gran escala, equipadas interiormente con uno o más yunques y barras quebradoras, revestidas con láminas que llevan aleaciones de acero. Un motor eléctrico conduce el rotor con martillos de aleación de acero de libre balanceo. Debajo de la fragmentadora, una cazuela vibratoria recibe el material fragmentado descargado a través de las rejas. 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 la Sección 6.1.4.

Antes de la etapa de trituración existe un sistema de carga o canal de alimentación y un sistema de dosificación para alimentar gradualmente los materiales a la fragmentadora. Posterior al desguace existe un sistema de recolección del polvo de trituración o una unidad de depuración de polvo que puede consistir en ciclones o lavadores Venturi y bandas de salida que separan los materiales fragmentados de la salida en base a sus propiedades magnéticas, por su tamaño, *etc.* (Nijkerk y Dalmijn 2001).

Las plantas fragmentadoras para el tratamiento de los vehículos usados al término de su vida útil se listan en el Anexo C de la Convención como una fuente potencial de formación y liberación no intencional de COP. Sin embargo, actualmente no hay suficiente evidencia de que en este proceso mecánico los PCDDD/PCDF o los PCB se formen nuevamente. Los datos disponibles indican que los PCDD/PCDF y los PCB liberados de las plantas fragmentadoras proceden de la producción industrial e intencional de PCB, habiendo sido introducidos éstos con los aceites, fluidos dieléctricos, etc. contenidos en estos vehículos o bienes de consumo. Las fragmentadoras simplemente ponen en libertad a estos contaminantes. (SC BAT/BEP 2004).

Teniendo en consideración la advertencia anterior, y sobre la base del hecho de que existen pocos datos disponibles, solo se utiliza una única clase de factores de emisión para las liberaciones de los procesos de desguace (Tabla 32).

Tabla 32: Factores de emisión para fragmentadoras

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

6.2.11.2 Liberaciones al aire

Las emisiones pueden surgir por la presencia de PCB y PCDD/PCDF contenidos en el material de entrada a las plantas fragmentadoras, tales como vehículos a motor, equipo eléctrico doméstico u otros artefactos eléctricos, que se liberan al aire durante la destrucción mecánica. Sobre la base de los datos facilitados por SCEP (1994), se ha desarrollado un factor de emisión de 0,2 µg de EQT/t (concentración de 0,04-0,4 ng de EQT/m³). De un estudio reciente realizado en tres fragmentadoras de Flandes (Bélgica) que estaban equipadas, al menos, con ciclones, se obtuvieron emisiones de PCDD/PCDF por debajo de 0,1 ng EQT/Nm3 (en 9 de 10 medidas) (François *et al*. 2004).

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 en productos

Es probable que los productos tengan cierto nivel de contaminación, pero no es posible estimarla.

6.2.11.5 Liberaciones en 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. Es probable que el metal recuperado 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 es considerada 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. Los sitios en que ocurre este proceso se identifican habitualmente debido a los residuos remanentes.

Se han desarrollado las clases de factores de emisión que se muestran en laTabla 33, los que se basan en la masa total de material quemado, que es una combinación de cable de cobre más el revestimiento plástico.

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

Clasificación	Factores de emisión – µg de EQT/t de material				
	Aire	Agua	Suelo	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, *etc.*, 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 lo hacen 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 de hasta de 500 µg de EQT/t fueron empleados 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 provistos de sistema de postcombustión que queman motores eléctricos, zapatas de frenos y objetos semejantes, 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 de sistemas de depuración húmeda en esas plantas, como así 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 mismo. 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, siendo preciso identificar dichos lugares como posibles puntos calientes.

6.2.12.4 Liberaciones en productos

No se espera ninguna liberación en el cobre producido.

6.2.12.5 Liberaciones en 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 y calor

En la categoría de generación de energía y calefacción se incluyen las centrales eléctricas, los lugares en que se desarrollan combustiones industriales (hornos) y las instalaciones destinadas a la calefacción de locales, pero sólo las que se alimentan con combustibles fósiles (incluida la combustión conjunta con hasta con un 1/3 de desechos), biogás - incluido el gas de rellenamientos sanitarios - y biomasa. En laTabla 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 la tierra si se vierten los residuos sobre la tierra.

Tabla 34: Subcategorías de la categoría principal de fuentes 3 – Generación de Energía y Calor

No.		Subcategorías de la Categoría principal	Aire	Agua	Suelo	Productos	Residuos
3		Generación de energía y calor	X		(X)		X
	a	Centrales eléctricas de combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas, lutita bituminosa y cocombustión de desechos)	x				X
	b	Centrales eléctricas de biomasa (madera, paja, otras biomasas)	x				X
	c	Vertederos, combustión de biogás	x				X
	d	Calefacción doméstica y cocina con biomasa (madera, otras biomasas)	x		(x)		X
	e	Calefacción doméstica y cocina con combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas)	x		(x)		X

Como el objetivo de estas plantas es la generación de calor o de energía, 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 las emisiones de PCDD/PCDF se preferiía 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 del valor calórico de 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 Sección11.3, se exponen las tablas que permiten transformar los valores calóricos en masas.

Pertinente al Artículo 5, Anexo C

En lo 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 del 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 del 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 mayoría 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 combustión conjunta (co-combustión) con 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 tal que aporten 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) a 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 co-combustión de desechos, en particular CDD o lodos. La escoria fundida en el fondo de la caldera aporta temperaturas lo suficientemente elevadas como para oxidar por completo todos los constituyentes orgánicos de los desechos. Pero también en este caso todos los contaminantes se liberan con los gases de escape.

Para la generación de energía también se consume aceite pesado o fueloil pesado, el que se quema generalmente en quemadores especialmente diseñados que se incorporan a las paredes de la caldera. La formación de PCDD/PCDF se ve favorecida durante la co-combustión 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 o ninguna ceniza. Sólo si se queman conjuntamente desechos líquidos o lodos, pueden formarse concentraciones más elevadas de PCDD/PCDF.

En la algunos países como Australia, Brasil, Canadá, China, Estonia, Francia, Rusia, Reino Unido (en Escocia), Sudáfrica, España, Suecia y EE.UU. existen grandes cantidades de lutita bituminosa (para la definición, ver Sección 6.4.7 - Procesamiento de esquisto o lutita bituminosa), que se puede convertir a aceite bituminoso, una sustancia similar al petroleo. En Estonia, por ejemplo, mas del 90% de la electricidad del país se genera a partir del esquisto bituminoso (Schleicher 2004a).

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 en 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 que cuentan con depuradores húmedos y el agua no se recircula dentro de los mismos. Deben incluirse las liberaciones al agua en tales casos. Cuando se separan de los efluentes, los lodos de tales depuradores deben tratarse 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 la Tabla 35

Tabla 35: Factores de emisión para las plantas de generación de energía y calor; y las plantas de generación de calor/energía en la industria, basada en combustibles fósiles

Clasificación	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. Plantas de generación de energía que queman esquisto bituminoso	1,5	ND	*
4. Calderas de energía que queman aceite ligero/ gas natural	0,5	ND	ND

* Las liberaciones con residuos pueden ser calculados sobre base másica (ver Sección 6.3.1.5)

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 despreciables. 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, resultando, en la mayoría 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 de Alemania se situaban entre 0,004 y 0,2 µg de EQT/t (0,09 y 7,1 µg de EQT/TJ) y los 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 se basa en emisiones medidas en dos plantas de energía de Estonia que quemaba esquisto bituminoso y que dieron emisiones entre 2,3 y 24 pg EQT-I/Nm^3 (@ 10% O_2). La concentración comparativamente alta de 400 pg EQT/Nm3 (@10% O2) no ha sido tenida en cuenta a la hora de determinar el factor de emisión, debido a problemas operacionales en la planta (Schleicher *et al*. 2004). El factor de emisión de la Clase 5 provino de los valores promedio informados entre 0,5 y 1,5µg EQT/TJ (LUA 1997, IFEU 1998, Environment Canadá 1999).

6.3.1.2 Liberaciones al agua

No se espera ninguna liberación al agua. Sin embargo, en los casos en que hay depuradores húmedos instalados 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 la tierra, a no ser que residuos sin tratar se coloquen directamente sobre el mismo o se mezclen con él.

6.3.1.4 Liberaciones en productos

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

6.3.1.5 Liberaciones en 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 incinerados conjuntamente.

En Estonia, donde las plantas de energía utilizan esquisto bituminoso como combustible, se han analizado las PCDD/PCDF en las cenizas volantes de plantas térmicas equipadas con precipitadores electroestáticos. Las concentraciones en estas cenizas volantes variaban entre concentraciones no cuantificables y 1,66 ng EQT-I/kg de ceniza seca (incluido el LOQ para el calculo de la EQT) (Schleicher *et al*. 2004a, Roots 2001). Los datos no permiten la determinación del factor de emisión, por lo que los países que desean cuantificar la liberaciones de las plantas que generan energía usando como combustible esquisto bituminoso y que están equipadas con PES, podrían multiplicar la media de las dos medidas mencionadas (=1,2 g EQT/t de ceniza volate de PES) por las masa de cenizas volantes recogidas en esas plantas.

Para realizar una estimación preliminar pueden utilizarse datos obtenidos en el Reino Unido sobre PCDD/PCDF en residuos provenientes de la combustión industrial del carbón (Dyke et al 1997, EC 1999). Las concentraciones en cenizas volantes fueron de 0,23 a 8,7 ng de EQT/kg de ceniza mientras que en las cenizas de rejilla fueron de 0,02 a 13,5 ng de EQT/kg. Las concentraciones en el hollín furon 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 obtuvo 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 fundamentalmente 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, "pellets" (partículas esféricas) 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 de obtener 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 biomasa para la generación de energía se realiza esencialmente en dos tipos generales de calderas que se distinguen por la forma en que 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 laTabla 36. Se pueden producir liberaciones al agua en plantas que cuentan con depuradores húmedos y el agua no se recircula dentro de los mismos. En estos casos se deben incluir las liberaciones al agua. Los lodos de tales depuradores, cuando se separen de los efluentes, se considerarán bajo la denominación “Residuos.”

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

Clasificación	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 despreciables ya que la cantidad total de cenizas en la biomasa se sitúa entre 0,5 % (madera) y 1 % (otras biomasas). Además, la eficiencia de retención de partículas aumenta con la calidad del sistema de CCA empleado en la planta.

Para ayudar en la estimación de la cantidad de biomasa quemada se puede usar la siguiente aproximación para la combustión de bagazo: se generan 3 kg de bagazo por cada kg de azúcar (Choong Kwet Yive 2004). Se debe tener en cuenta que la masa de bagazo tiene que convertirse en energía (TJ) para estimar la liberación anual de PCDD/PCDF. En la Sección 11.3 - valores calóricos- para la Categoría principal 3, se ha sugerido un valor calórico entre 8MJ/kg y 10MJ/kg de bagazo.

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 estuvieron en el rango de entre 17 y 54 μg de EQT/t. Los datos notificados por 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 éste o se mezclen con él.

6.3.2.4 Liberaciones en productos

El proceso no genera productos y, por consiguiente, no hay ninguna liberación de este tipo.

6.3.2.5 Liberaciones en 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 de fondo y de 30-23.300 ng de EQT/kg en las cenizas volantes. Dado que los valores comunicados para las cenizas de fondo 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 gas de rellenamiento sanitario/biogás

Tanto el gas de rellenamiento sanitario/vertedero como el biogás se generan a partir de la digestión anaeróbica de materia orgánica. El gas resultante está constituido por una mezcla de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y amoníaco (NH_3), fracciones menores de gases combustibles y una importante fracción de agua (H_2O). La parte combustible del gas suele ser del 50 % y su valor calórico de 15–25 MJ/kg dependiendo del origen del gas. La combustión de gas de rellenamiento sanitario y de 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 a gas o en motores/turbinas a gas. Ambos sistemas son muy semejantes a sus correspondientes modelos alimentados a gas natural. El proceso de combustión se halla 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 laTabla 37.

Tabla 37: Factores de emisión para la combustión y venteo con llama de biogás/gas de rellenamientos sanitarios

Clasificación	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

La combustión de gas de rellenamientos sanitarios y biogás tiene como único vector a las liberaciones al aire. El factor de emisión por defecto fue obtenido a partir de valores medios notificados que iban desde 7,6 y 8,4 μg de EQT/TJ de biogás quemado para los estudios de Alemania y Reino Unido, respectivamente (LUA 1997, IFEU 1998, Environment Canadá 1999). Las emisiones de los estudios de Alemania iban desde 0,001 a 0,28 ng EQT-I/m^3, y las medidas en Holanda dieron 0,07 ng EQT-I/m^3 (LUA 1997). Un estudio reciente de Bélgica informó concentraciones de PCDD/PCDF por debajo de 0,1 g EQT-I/Nm^3 (@5% O2) para medidas de biogás quemado con llama en cinco vertederos (Idezak *et al*. 2004).

6.3.3.2 Liberaciones al agua

No se espera ninguna liberación al agua.

6.3.3.3 Liberaciones a la tierra

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

6.3.3.4 Liberaciones en productos

El proceso no genera ningún producto de manera que no hay liberaciones de este tipo.

6.3.3.5 Liberaciones en residuos

No se producen liberaciones en residuos ya que la combustión de gas de rellenamiento sanitario 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: paja, turba, *etc*. Sólo dos categorías se definen dentro de esta subcategoría y la principal diferencia entre ellas es la pureza del combustible. No se hizo esta diferenciación respecto a generación de electricidad y energía en sectores público e industrial, donde la utilización de biomasa contaminada, por ejemplo, madera, se considera como disposición final de desechos de madera. De esta forma, la diferencia se hace entre la biomasa virgen y 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 calefacción residencial y cocina se quema en muy diversos dispositivos, desde pequeñas estufas, hogares, hornillos o cocinas hasta las estufas y hornos de leña grandes, elaborados y altamente sofisticados. La combustión de biomasa para calefacción doméstica y cocina se realiza predominantemente en dispositivos cuya eficiencia de combustión va aumentando a medida que en los distintos países va incrementándose el producto bruto nacional y el grado de desarrollo.

Los PCDD/PCDF se forman como resultado de la combustión incompleta, típica de todos estos pequeños dispositivos que carecen de controles de combustión o que lo tienen, pero en forma limitada. Las liberaciones al agua y en los productos resultan insignificantes. Las liberaciones a la tierra sólo pueden producirse cuando el proceso de combustión se desarrolla directamente sobre él - este caso se trata en la Sección 6.6 – Procesos de combustión a cielo abierto - o los residuos de este proceso se dejan en el mismo. 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 laTabla 38.

Tabla 38: Factores de emisión para calefacción doméstica y cocina basadas en la biomasa

Clasificación	Factores de emisión - µg de EQT/TJ de Biomasa quemada		Concentración - µg de EQT/kg de ceniza
	Aire	Suelo	Residuos

1. Estufas alimentadas por madera/biomasa contaminada	1.500	ND	1.000
2. Estufas alimentadas por madera virgen/ biomasa	100	ND	10

Los datos disponibles para el cálculo de los factores de emisión para biomasa distinta a la madera son muy limitados. Los factores de emisión de las liberaciones en residuos se basan en concentraciones medidas en la ceniza (y no están relacionadas con el valor calórico del combustible). Se debe tener en cuenta que cuando se use la planilla EXCEL para estimar las liberaciones anuales de la Categoría 3, se tienen que calcular en forma separada las liberaciones en residuos.

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.

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

6.3.4.4 Liberaciones en productos

El proceso no genera productos, de manera que no se puede producir ninguna liberación de este tipo.

6.3.4.5 Liberaciones en residuos

Los PCDD/PCDF en el residuo de cenizas van desde unos pocos nanogramos hasta varios miles de ng de EQT/kg (o µg EQT/t). 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: ellos determinaron un promedio de 1.000 ng de EQT-I/kg para la ceniza generada de madera contaminada y de 10 ng de EQT-I/kg para la ceniza generada de madera limpia. No se encontraron resultados basados en EQT para la turba como combustible. Sin embargo, en una publicación de Mehrag y Kilkam (2003) se encontró un valor de 60,6 ng PCDD/PCDF (homólogos desde tetra a octo-clorados) por kg de ceniza de turba en una muestra del siglo 19. Se sugiere la aplicación del factor de emisión de la clase 2 para la ceniza de turba. La utilización de este factor no subestimaría la liberación.

Como el cálculo de las liberaciones en residuos está basado en la masa de ceniza generada en los procesos de combustión, se necesita estimar el total de la masa de ceniza generada por año.

6.3.5 Calefacción doméstica y cocina con combustibles fósiles

Los combustibles fósiles se usan extensivamente para la calefacción doméstica, sobretodo en países desarrollados y con 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 en que se transporta y libera el calor. Los llamados sistemas de calefacción central, que normalmente usan petróleo o gas como combustible, se basan en un gran hogar para calentar el agua, la que luego es circulada por todo el edificio liberando su calor en numerosos radiadores descentralizados. Estos modernos sistemas son normalmente muy eficientes y logran una combustión bastante limpia de manera que no dejan, o apenas lo hacen, residuo para evacuar. El segundo tipo de sistema de calefacción se basa fundamentalmente 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 ceniza de fondo que debe evacuarse. Algunos de estos sistemas también pueden funcionar con petróleo.

Los estudios realizados en Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, Países Bajos, Polonia, Reino Unido, Suecia y Suiza han permitido calcular cuatro grupos de emisiones, que se muestran en laTabla 39.

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

Clasiñficación	Factores de emisión - µg de EQT/TJ de combustible fósil quemado Aire	Concentraciones– ng de EQT/kg de ceniza Residuos
1. Estufas de carbón con alto contenido de cloro	15.000	30.000
2. Estufas de carbón	100	5.000
3. Estufas de petróleo	10	NA
4. Estufas de gas natural	1,5	NA

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

6.3.5.1 Liberaciones al aire

Las liberaciones al aire son el vector predominante para la combustión de combustibles fósiles. Para el carbón se proponen dos clases de factores de emisión, ya que hay dos rangos distintos de PCDD/PCDF en las emisiones publicadas en la literatura. El factor de emisión por defecto para la clase 2 se obtuvo a partir de valores medios comunicados entre 1,6 y 50 µg de EQT/t de carbón quemado, que fueron informados por la mayoría de los países europeos. Es importante señalar que los valores informados para la combustión de carbón doméstico son claramente consistentes en el rango entre 1 y 7 µg EQT/t de carbón quemado. De esta forma, se eligió un valor promedio de 3 µg EQT/t para el carbón típico. Se puede calcular un factor de emisión por defecto de 100 µg EQT/TJ en base al valor promedio de 30 MJ/kg para el carbón. Por otro lado, un estudio austríaco informó un valor mucho más alto, de 0,91 mg EQT/t como también es alto el valor de Suiza de 230 ng de EQT/GJ. (LUA 1997). No obstante, recientemente fueron informados factores de emisión en el rango mencionado para residencias pequeñas cuando se quemaba carbón procedente de Polonia. Kubica *et al*. (2004) informaron factores de emisión entre 108,5 µg EQT/t y 663,9 µg EQT-I/t de carbón quemado. Estos altos valores se pueden explicar por el alto contenido de cloro - rango que va desde trazas a 0,4 % y con un máximo de hasta de 1,5% de cloro - en el carbón procedente de Polonia. Para un promedio de 400 µg EQT-I/t de carbón quemado y con un promedio de valor calórico de 25 MJ/kg de carbón bituminoso procedente de Polonia (y para carbones de otras regiones con similares especificaciones), se asignó un factor de emisión por defecto de clase 1, de 15.000 g EQT/TJ.

El factor de emisión por defecto para la clase 3 se obtuvo a partir de los valores comunicados que iban de 0,04 a 2 µg de EQT/t. El valor de 0,04 mg de EQT/t procedente del estudio austríaco, parece ser extraordinariamente elevado, mientras que el suizo, de 0,5 ng de EQT/GJ es extremamente 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 4 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 en productos

El proceso no genera productos, de manera que no se puede producir ninguna liberación de este tipo.

6.3.5.5 Liberaciones en 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 de entre 4 y 42.000 ng de EQT/kg de ceniza (Dumler *et al.* 1995). En el Instrumental, y como primera estimación, se deberá usar un factor de emisión de 5.000 ng de EQT/kg de ceniza. Para el carbón procedente de Polonia, con alto contenido de cloro, no se encontró ningún factor de emisión. Sin embargo, para una primera aproximación se pudieron usar los valores más altos de los datos medidos de Dumler *et al*. (1995) para los residuos de la clase 1.

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, por ejemplo, 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 rotativos 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 la Tabla 40, serán incluidas en el inventario de dioxinas y furanos.

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

			Posibles vías de liberación				
No.		**Subcategorías de la Categoría Principal**	**Aire**	**Agua**	**Tierra**	**Productos**	**Residuos**
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
	g	Pirolisis de esquisto bituminoso	X				x

Pertinente al Artículo 5, Anexo C

En lo 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 del 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 ºC 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 2000b).

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 precalcinador (o, más raramente, en un horno seco largo). El proceso seco requiere menos energía que el húmedo. Hoy en día la mayoría de los hornos de clinker europeos utilizan el proceso seco (WBCSD 2004). La tecnología más antigua utiliza el proceso húmedo donde las materia 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. Se necesita en el proceso húmedo una mayor cantidad de calor por tonelada de clinker producida que en otros procesos, lo que se debe a la necesidad de evaporar el agua adicional.

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 tamaño de partícula apropiado y las adecuadas propiedades químicas. La harina cruda se convierte en escoria (clinker) de cemento por piroprocesado en hornos rotativos (desde 50 m de longitud y desde 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. Los hornos de clinker rotativos largos más antiguos pueden llegar a tener más de 200m de longitud (BREF 2001b). 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 rotativos 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 precalcinación debajo del precalentador, inmediatamente antes del punto donde las materias primas entran en el horno. La utilización del proceso húmedo, en el que la mezcla molida se mezcla con agua y se introduce en el horno a modo de lodo, utiliza un 40 % aproximadamente más de energía que el proceso en seco. Los procesos semi-secos y semi-húmedos usan precalentadores de rejilla, habitualmente conocidos como Hornos Lepol.

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, siendo luego 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 coque de petróleo. En muchos casos a los combustibles fósiles se les añaden diversos desechos como combustibles alternativos. Los desechos usados pueden ser: aceites de desecho, solventes, algunos desechos industriales, alimento animal y, en ciertos casos, también desechos

peligrosos. La mayor parte de ellos se queman en el quemador del extremo caliente del horno. 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 a principios de los años noventa, se ha visto que las emisiones más elevadas proceden de ciertos hornos donde se queman desechos peligrosos (EPA 1998). Sin embargo, investigaciones posteriores y más detalladas 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.

Recientemente, la fundación para la Investigación Científica e Industrial (SINTEF, Oslo, Noruega) completó un extenso estudio sobre emisiones de PCDD/PCDF en hornos de cemento. Este estudio aporta el grupo de datos disponibles más actualizado y completo. Estos se recopilaron a partir de literatura publicada e informes de empresas individuales (WBCSD 2004).

En la mayoría de los casos, las medidas primarias (procesos de optimización integrados) han demostrado ser suficientes para cumplir con un limite de emisión de 0,1 ng EQT-I/Nm^3 (@ 10% O2) en las instalaciones modernas existentes. Las siguientes medidas primarias son consideradas las más críticas:

- Enfriamiento rápido de los gases de escape del horno a menos de 200 ºC en los hornos húmedos (ya incluido en los hornos con precalentamiento y en los que poseen precalcinación);

- Un límite en las materias que ingresan en la mezcla de alimentación si estas incluyen compuestos orgánicos.

- No utilización de combustible alternativo durante la puesta en marcha y durante la parada del horno.

- La estabilización y monitoreo de los parámetros de proceso:

    - Homogeneidad de las materias primas y combustibles

    - Dosaje regular

    - Exceso de oxigeno

Dado que las medidas primarias recomendadas ya se llevan a cabo en la práctica, la mayoría de los hornos cementeros modernos pueden alcanzar un límite de emisión de 0,1 ng EQT/Nm^3, por lo que en este Instrumental, debería estar clasificados en la clase 3. El co-procesamiento de las materias primas o los combustibles alternativos ingresados por el quemador principal o por el precalcinador o precalentador no influye ni cambia la emisión de PCDD/PCDF (BREF 2001b, WBCSD 2004). El informe de SINTEF también muestra que muchos hornos cementeros en los países en vías de desarrollo pueden alcanzar el límite de 0,1 ng EQT/m^3

La última conclusión se apoya en el programa de muestreo y análisis de dioxinas de Tailandia, donde se tomaron y analizaron muestras de PCDD/PCDF de dos hornos rotativos en una moderna planta de cemento bien operada. Las muestras se tomaron de dos hornos operando en condiciones normales (con carga completa y quemando con una mezcla de lignito y coque de petróleo como combustibles primario y secundario) y co-incinerando lo siguiente, (a)

neumáticos usados y (b) desechos industriales que incluyen desechos de aceites (PNUMA 2001, Fiedler *et al.* 2002).

Se ha indicado que, por ejemplo, en Asia, los hornos de torre vertical (VSK) se usan para producir clinker. Estas plantas son relativamente pequeñas con una capacidad diaria que va desde 50 t/d hasta aproximadamente 300 t/d (NEC 1999, van Oss 1997). Sin embargo, no se han encontrado mediciones de concentraciones de PCDD/PCDF. Por lo tanto para el propósito de este instrumental y por ser una primera estimación de liberación, se aplicará a estas plantas el mismo factor de emisión desarrollado para los viejos hornos de proceso húmedo (Clase 2). Se espera que pronto se contará con factores de emisión disponibles basados en mediciones reales.

Se desarrollaron las siguientes clases de factores de emisión (Tabla 41). Como se puede ver, no hay factor de emisión para liberaciones en residuos. Normalmente, el polvo de las plantas de cemento se reintroduce en el horno con las materias primas.

Tabla 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 de eje vertical	5,0	ND	ND	ND	ND
2. Hornos húmedos antiguos, PES a temperatura >300 °C	5,0	ND	ND	ND	NA
3. Hornos rotativos, PES/filtro de tela temperatura 200-300 °C	0,6	ND	NA	ND	NA
4. Hornos húmedos, PES/filtro de tela, temperatura <200°C, hornos secos con precalentador o precalcinador, T<200 ºC	0,05	ND	NA	ND	NA

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. Los hornos modernos producen entre 1.500 y 2.500 m³/tonelada de clinker (BREF 2001b).

El estudio de SINTEF (WBSCD 2004) se basó en más de 1.700 mediciones de PCDD/PCDF desde principios de 1990 hasta el presente. Este estudio resume las emisiones al aire procedentes de hornos de proceso seco y húmedo, de plantas que utilizan combustibles fósiles y materias primas "naturales" y de plantas que utilizan materias primas y combustibles alternativos. Estas materias primas y combustibles alternativos incluyen residuos que eran co-incinerados en el quemador principal, a la entrada del horno rotativo o en el precalentador o precalcinador. En muchos países, ésta es la práctica usual. La mayoría de datos informados tienen concentraciones de PCDD/PCDF bastante por debajo de 0,1 ng EQT/m^3; las emisiones de los hornos de proceso seco pueden ser ligeramente más bajas que la de los que utilizan proceso húmedo. Las emisiones en este rango corresponden a factores de emisión por debajo de 0,05 g EQT/t de cemento y, por lo tanto, estas plantas son consideradas MTD y este factor

de emisión representa la clase 4. Sin embargo, el estudio de SINTEF también incluye algunos datos antiguos - de EE.UU. - que tenían una emisión de hasta 25,8 ng EQT/m^3 que corresponde a un factor de emisión de 16,7 g EQT/t de cemento.

En Tailandia, se encontraron concentraciones muy bajas de PCDD/PCDF en la campaña de muestreo en una planta de cemento que usa el proceso seco. Durante la operación normal (lignito/coque de petróleo y carga completa), las emisiones en chimenea estaban todas por debajo de 0,02 ng EQT-I/Nm³ y tan bajas 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 µg EQT/t de escoria para la operación normal y 0,005 y 0,003µg EQT/t de escoria en el caso de co-combustión 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 (PNUMA 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 de 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.

Para el propósito de este Instrumental, se aplicó un factor de emisión promedio de 5 µg EQT/t a los hornos antiguos y con colectores de polvo que operan a temperaturas de 300ºC (tomados de los datos antiguos de EE.UU.) para la clase 2. Cuando el colector de polvo trabaja entre 200 y 300 ºC, se aplica un factor de emisión promedio de 0,6 µg de EQT/t de cemento (clase 3). Para plantas modernas, si la temperatura del colector de polvo se mantiene por debajo de 200 ºC, se aplica un factor de emisión de 0,05 µg de EQT/t de cemento (clase 4). Como no hay datos medidos disponibles para PCDD/PCDF en hornos de eje vertical, no se pudo calcular un factor de emisión. Provisoriamente se ha incorporado en la clase 1 con el mismo factor de emisión asignado a los hornos de proceso húmedo viejos.

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 la 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 en 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 en residuos

Debería mencionarse que los polvos que se recolectan en los sistemas de control de contaminación atmosférica, normalmente precipitadores electroestáticos (PES) o ciclones, consisten principalmente de las materias primas que ingresan en el horno (al final del quemador secundario). El resto de polvo corresponde a los que están en las emisiones del horno que han pasado la zona caliente. Normalmente, los polvos de los ciclones/PES o los provenientes de los filtros de mangas se reintroducen en el horno. Por lo tanto, la Tabla 41 no contiene ningún factor de emisión por defecto para residuos.

En el caso en que los residuos sólidos que provienen del equipo de limpieza de los gases de salida no se reciclen al horno, la estimación inicial de PCDD/PCDF en el CKD estaría basada en la suposición de que se generan aproximadamente 30 kg de CKD por tonelada de clinker (0,03% de la producción de clinker). Este valor se basa en un informe que dio 0,4 millones de toneladas de polvo resultantes de la producción de 13,5 millones de toneladas de clinker/cemento (Dyke *et al.* 1997).

Se espera que las concentraciones de PCDD/PCDF en el polvo del horno de cemento sean variables y se ha informado un rango de concentraciones que van desde 0,001 a 30 ng EQT/kg para hornos de Reino Unido (Dyke *et al*. 1997) y de 1 a 40 ng de EQT/kg según las pruebas alemanas (SCEP 1994).

6.4.2 Producción de cal

La cal se utiliza en un amplio rango de productos. La cal viva es óxido cálcico (CaO) producido por la descarbonatación de la piedra caliza ($CaCO_3$). La cal apagada es cal viva con cierto contenido de agua y está constituida principalmente por hidróxido de calcio ($Ca(OH)_2$). 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 ºC. 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 proveen 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):

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

2. Mantener la cal viva a temperaturas suficientemente elevadas (de unos 1.200-1.300 °C) para ajustar su reactividad.

La mayor parte de los hornos o bien son hornos de columna vertical o son hornos rotativos. 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 rotativos y tres de eje 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 eje vertical anulares estuvieron 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 u 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 rotativos y uno de eje 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 altas concentraciones de PCDD/PCDF han podido ser explicadas, ya sea por el contenido de éstas en las materias primas y/o combustibles utilizados o por condiciones de combustión inferiores a la óptima, lo que subraya la importancia que tiene el control sobre las entradas al horno y el mantenimiento del funcionamiento estable (BREF 2000d).

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

Tabla 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. Sin control de polvo y/o mediante uso de combustible deficientes, contaminados	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 emisión de la 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 provenientes de varios hornos alemanes (SCEP 1994). Un factor de emisión de 0,07 µg 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 rotativos y uno de eje vertical, en Suecia, entre los años 1989 y 1993) mostraron concentraciones medidas de entre 4,1 y 42 ng EQT-N/Nm³. 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 de controlar los ingresos al horno y de mantener una operación estable del mismo (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 µg de EQT/t de cal producida cuando el control del horno sea limitado y el sistema de retención del polvo sea elemental (ciclón) o no exista.

6.4.2.2 Liberaciones al agua

No se espera ninguna liberación al agua. Todo efluente que se identifique se 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 la tierra. No se dispone de información de los niveles de PCDD/PCDF en ellos que permitan hacer una estimación de las liberaciones a la tierra.

6.4.2.4 Liberaciones en 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 en 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 fabrican, fundamentalmente, a partir de arcilla, adicionándosele a ésta algunos materiales con los que se obtiene la porosidad y demás características deseadas. En la producción industrial se utilizan habitualmente hornos tipo túnel en los que se alcanzan temperaturas de unos 1.000 ºC. En estos sistemas se emplean como combustibles petróleo o gas y, en algunos casos, se presta atención a la limpieza del gas con remoción de floruros.

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

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

Tabla 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. Sin control de polvo y/o mediante uso de combustible deficientes, contaminados	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 en 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 dichos controles son defectuosos y se queman desechos o combustibles de mala calidad; en ese caso, deberá aplicarse la clase 1.

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 en productos

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

6.4.3.5 Liberaciones en residuos

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

6.4.4 Producción de vidrio

Los hornos utilizados para la fabricación de vidrio pueden funcionar de manera continua o intermitente. Los combustibles habitualmente utilizados son el petróleo y el gas. Las materias primas son fundamentalmente arena, piedra caliza, dolomita y sosa. Puede, además, agregarse una amplia variedad de otros materiales para alcanzar las propiedades deseadas como color, claridad y pureza. Tambiés es posible adicionar 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 dispone 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 contaminación sean más laxas, las emisiones resulten más elevadas. La falta de control sobre los combustibles utilizados, la limpieza de los vidrios reciclados o la gestión de la contaminación aplicados puede dar lugar a emisiones mucho más elevadas.

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

Tabla 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. Sin control de polvo y/o mediante uso de combustible deficientes, contaminados	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, aunque 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 gestión 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 en productos

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

6.4.4.5 Liberaciones en residuos

En los residuos procedentes de los sistemas de depuración de gas utilizados en la manufactura del 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 (Tabla 45):

Tabla 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, combustibles deficientes	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 o cuando se utilizan combustibles deficientes o contaminados. 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 en algunas se 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 promedio 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 capturan aproximadamente el 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 la tierra pero no se dispone de datos sobre niveles de PCDD/PCDF en ella.

6.4.6.4 Liberaciones en productos

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

6.4.6.5 Liberaciones en 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.

6.4.7 Procesamiento de aceite bituminoso

El esquisto es una roca sedimentaria de grano fino, cuyos constituyentes originales son arcillas y esquistos de barros. Aceite bituminoso es el término general que se aplica a un grupo de esquistos, de color negro definido a marrón oscuro, suficientemente ricos en materiales bituminosos (llamados kerogeno) como para dar petróleo por destilación. El kerogeno del aceite bituminoso puede convertirse en petróleo a través de pirolisis. Durante la pirolisis, el aceite bituminoso se calienta a 500ºC en ausencia de aire, el kerogeno se convierte en petróleo y se separa, proceso llamado de producción de retorta.

El termino aceite bituminoso es un nombre inapropiado. No contiene aceite ni es lo que comúnmente se denomina esquisto. El material orgánico es principalmente kerogeno y el "esquisto" es usualmente una roca dura llamada marga. Apropiadamente procesado, el kerogeno se puede convertir en una sustancia un poco parecida al petróleo. Sin embargo, el aceite bituminoso no se convierte en petróleo por procesos naturales y, por lo tanto, tiene que ser calentado a temperaturas elevadas para lograrlo (WEC 2004).

Hay dos aproximaciones convencionales para el procesamiento de aceite bituminoso (WEC 2004): en el primero, el esquisto se fracciona in-situ y se calienta para obtener gases y líquidos; en el segundo es por la explotación mineral, el transporte y el calentamiento del esquisto hasta alrededor de 450ºC, por adición de hidrógeno al producto resultante, y disposición y estabilización de los residuos.

El aceite bituminoso ha sido quemado directamente como combustible de grado muy bajo, con un muy alto contenido de ceniza, en unos pocos países como Estonia, cuya economía energética se encuentra dominada por el esquisto. Para los factores de emisión en plantas de energía que utilizan aceite bituminoso, ver sección 6.3.1.

Los factores de emisión que se muestran en la Tabla 46 fueron tomados de la planta de Estonia según lo descrito por Schleicher et al. 2004b. El aceite bituminoso que ingresa se calienta con los gases de salida calientes, se separa en ciclones y se mezcla con cenizas calientes para obtener así la temperatura de reacción de al menos de 480 ºC. El kerogeno es fraccionado en gas, petróleo condensable y residuo sólido. La descomposición del kerogeno comienza a alrededor de 300 ºC y se realiza mas rápidamente a mayores temperaturas (480-520 ºC). La fase vapor se enfría para dar una fracción de petróleo y una fase gaseosa. El gas es normalmente quemado en una planta de generación de energía y la fracción de petróleo posteriormente se fracciona a aceite pesado, aceite liviano, diesel y nafta / gasolina. Una parte

sustancial del petróleo se usa para abastecer la planta de generación de energía de Estonia. El residuo sólido es quemado a continuación con exceso de aire en un horno especial a 750-800 ºC.

Tabla 46: factores de emisión para el procesamiento

Clasificación	Factores de emisión - µ EQT/t de esquisto bituminoso				
	Aire	Agua	Tierra	Producto	Residuos µgEQT/t de ceniza
1. fraccionamiento térmico (proceso1)	ND	ND	ND	ND	ND
2. Pirolisis de aceite bituminoso	0,003	NA	ND	0,07	2

6.4.7.1 Liberaciones al aire

Para la planta de Estonia, se informaron dos grupos de datos de emisión: 0,40-4,8 pg EQT-I/m^3 (@6% O_2) y 0,23-4,2 pg EQT-I/m^3 (@6%O_2). Los factores de emisión correspondientes que se calcularon estuvieron entre 0,2 y 3,5 ng EQT-I/t de aceite bituminoso. Para el propósito de este Instrumental, se eligió un factor de emisión preliminar de 0,003 µg EQT/t aceite bituminoso (Schleicher et al. 2004b).

6.4.7.2 Liberaciones al agua

No se informa ninguna liberación al agua. En el caso en que se liberen efluentes, se debería tomar nota de esta fuente en el proceso.

6.4.7.3 Liberaciones a la tierra

No se esperan liberaciones a la tierra. Todos los sólidos se encuentran comprendido en la Sección 6.4.7.5 – Liberaciones con residuos.

6.4.7.4 Liberaciones en producto

Estonia ha analizado dos muestras de lutita bituminosa

6.4.7.5 Liberaciones en 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 – Transporte

Los combustibles más utilizados para el transporte son la nafta / 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 la Tabla 47, siendo los principios guía el tipo de combustible y el tipo de motor de combustión. Hay un mercado creciente de otros combustibles para los cuales, hasta el momento, no hay mediciones de dioxinas disponibles. Para ubicar las liberaciones de estos combustibles, se proponen las siguientes asignaciones:

- Para automóviles a GLP: tomar el factor de emisión para motores de cuatro tiempos con catalizador (categoría 5a3) (Tabla 48)

- Para mezclas aceite / gas o nafta / gasolina: deberá ser aplicado el factor de emisión para aceite diesel (categoría 5c) (Tabla 50)

Hasta ahora, la ocurrencia de PCDD/PCDF no ha sido informada para aeronaves. No pudo detectarse ningún incremento en las concentraciones o cambios en los patrones de PCDD/PCDF mediante un programa de biomonitoreo 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).

Tabla 47: Subcategorías de la categoría principal 5 – Transporte

			Posibles vías de liberación				
No.		**Subcategorías de la Categoría Principal**	**Aire**	**Agua**	**Tierra**	**Productos**	**Residuos**
5		**Transporte**	**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 Articulo 5, Anexo C

En lo pertinente a lo dispuesto en el Articulo 5, las fuentes en esta categoría se pueden clasificar como sigue:

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

	Categoría de fuente	Sección en el Instrumental
(h)	Vehículos de motor, particularmente aquellos que queman nafta/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 a nafta / 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 subproducto indeseado. Las emisiones más elevadas se han asociado a los limpiadores clorados que se utilizan en la nafta / gasolina con plomo. Pero cuando se utiliza la nafta / 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 resultan 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 (Tabla 48):

Tabla 48: 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*	2,2	NA	NA	NA	NA
2. Combustible sin plomo, sin catalizador*	0,1	NA	NA	NA	NA
3 Combustible sin plomo, con catalizador*	0	NA	NA	NA	NA

* 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

Las emisiones varían durante las distintas fases, por ejemplo en el arranque o en 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 los diversos países. El consumo de combustibles con plomo ha disminuido espectacularmente en Europa, Japón, y Norteamérica como resultado de la legislación, sin embargo, en otros países sigue utilizándose el combustible con plomo. El abandono de la nafta / gasolina con plomo y la adopción de convertidores catalíticos, como requiere la Directriz Europea 94/12/EG o leyes similares de los EE.UU. o Japón, significará que los motores a nafta / gasolina de 4 tiempos llegarán a ser una fuente casi despreciable 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 nafta / gasolina utilizada 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, 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 fundamentalmente para los pequeños motores. Al igual que sucede con todos los procesos de combustión, el motor de 2 tiempos también produce PCDD/PCDF como subproducto 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 la Tabla 49.

Tabla 49: 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*	3,5	NA	NA	NA	NA
2. Combustible sin plomo, sin catalizador*	2,5	NA	NA	NA	NA

* 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

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, sobretodo, 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. Lamentablemente, 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 en 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 estos motores. Hay sólo una clase de factor de emisión para motores diesel.

Tabla 50: 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*	0,1	NA	NA	NA	ND

* 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

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 se han medido los autos de pasajeros y camiones; no hay datos para otros usos (*i.e.*, vehículos de construcción, vehículos de granja, equipo estacionario). En EE.UU. hay dos estudios en caño de escape, a partir de los cuales el "Californian Air Resourse Board" notificó un factor de emisión relativamente alto de 676 pg EQT-I/km; correspondiente a 3,2 µg EQT-I/t de diesel-oil, asumiendo un consumo de 1L de diesel-oil para una distancia de 5,5 km recorrido (CARB 1987). En el otro estudio, para un camión pesado ensayado, Gullet and Ryan(1997) determinaron un rango de factores de emisión de 3,0 a 96,8 pg EQT- I/km (valor medio de 29,0 pg EQT- I/km); correspondientes a entre 0,014 y 0,453 µg EQT-I/t de diesel-oil con una media de 0,14 µg EQT-I/t de Diesel

Marklund *et al.* (1990), con un límite de detección de 100 pg EQT-I/L, no pudieron cuantificar emisiones de PCDD/PCDF al realizar ensayos en un camión. Schwin *et al.*(1991) y Hutzinger *et al.* (1992) informaron factores de emisión de 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 limite 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.

Kim *et al.* (2003) investigaron emisiones de PCDD/PCDF de motores Diesel en EE.UU. en modo D-13 a tasas de carga entre 25% y 75% a velocidad constante (2.400 rpm). Las concentraciones másicas para las tres diferentes cargas de 14,4, 6,9 y 6,4 pg EQT-I/m^3 se convierten en los siguientes factores de emisión: 2,0, 0,6 y 0,5 pg EQT-I/L de diesel-oil (correspondiente a 0,002 y 0,001 g EQT/t de Diesel), que son mas bajos que aquellos informados por los estudios de CARB, US-EPA y las universidades de Alemania (CARB 1987, Gullett y Ryan 1997, Schwind et al. 1991, Hutzinger et al. 1992).

El Ministerio de Ambiente de Japón publicó emisiones de automóviles y camiones a diesel-oil que iban desde 0,36 pg EQT/L a 174 pg EQT/L diesel-oil, dando como resultado factores de emisión basados en masa, desde 0,004 g EQT/t a 0,2 g EQT/t Diesel (MoE Japan 2003).

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

Ante el problema que plantean los camiones pesados movidos por aceite diesel, la EPA de los EE.UU. propone exigir que todos estos vehículos estén equipados con filtros de partículas, lo que reducirá significativamente las emisiones, resultando en emisiones comparables a aquéllas que producen los automóviles a nafta / gasolina con convertidor catalítico.

6.5.3.2 Liberaciones en 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 que se necesita mayor investigación para determinar qué concentraciones de PCDD/PCDF presentan realmente.

6.5.4 Motores a aceite pesado

Los motores a 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 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 desechos de aceites que son frecuentemente quemados en motores (estacionarios o en barcos) serán incluidos en esta subcategoría.

Tabla 51: Factores de emisión para motores a 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 en el arranque o en el calentamiento del motor. Aquí, se considera la condición de estado estacionario.

6.5.4.1 Liberaciones al aire

Los motores a aceite pesado emiten PCDD/PCDF al aire. Lamentablemente, se dispone de muy escasos datos procedentes de mediciones aisladas realizadas en Europa y Norteamérica. Estudios realizados en Canadá, EE.UU., Países Bajos y Suecia comunican normalmente concentraciones de 3 a 6 µg de EQT por tonelada de combustible.

Están disponibles datos medidos provenientes de Austria para el quemado de desechos de aceites reciclados, donde las emisiones de un pequeño incinerador dieron concentraciones de 0,02 ng EQT/Nm³ (@11 % O_2) equivalente a un factor de emisión de 0,37 µg EQT/t de desecho de aceite quemado (LUA 1997). Datos alemanes provenientes de dos instalaciones de quemado pequeñas y de 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 4µg EQT/t de aceite quemado.

6.5.4.2 Liberaciones en residuos

Es probable que los residuos de los motores de aceite pesado contengan PCDD/PCDF, 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 a Cielo Abierto

Los procesos de combustión o quema a cielo abierto considerados en esta sección son la quema de residuos de cosecha, árboles o arbustos, al aire libre, dónde no se usa ningún incinerador, estufa o caldera. Esta categoría también incluye la disposición final informal de desechos en barriles o al aire libre como también quemas en rellenamientos/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 y no homogéneos, a los precursores clorados, a la humedad y a los metales catalíticamente activos. Este Instrumental diferencia entre dos subcategorías mayoritarias (Tabla 52).

Tabla52: Subcategorías de la Categoría Principal 6 – Procesos de Combustión a Cielo Abierto .

			Posibles vías de liberación				
No.		**Subcategorías de la Categoría Principal**	**Aire**	**Agua**	**Tierra**	**Productos**	**Residuos**
6		**Procesos de Combustión a Cielo Abierto**	**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

En lo 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 del Anexo C, incluyen:

	Categoría de fuente	Sección en el Instrumental
(a)	Quema a cielo abierto de residuos incluída la quema en rellenamientos/vertederos	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 y calderas de diferentes plantas). Esta subcategoría incluye los incendios forestales (deliberados y accidentales), como también la quema de praderas, ó residuos de cosechas como el de la paja a campo abierto. Las quemas antes de la cosecha constituyen una práctica común en algunos cultivos, como es el caso de la caña de azúcar, para facilitar su cosecha. La quema del campo, rastrojos, zanjas, una vez finalizada la cosecha, es una práctica común para la remoción de residuos, el control de malezas, y para la liberación de nutrientes para el próximo ciclo de cultivo. Se trata de una herramienta rápida, que ahorra mano de obra en la disposición de los residuos de cosecha, como en el caso de la producción de la caña de azúcar y el arroz. Debe señalarse que los incendios de bosques, arbustos, y pastizales pueden ser deliberados y

accidentales. Los incendios deliberados serían, por ejemplo, las quemas controladas prescriptas para zonas boscosas y de pastoreo donde se utilizan las mismas para cumplir con los objetivos de gestión, como limpieza de vegetación para mantenimiento de servidumbres de paso o el uso del fuego para beneficio de los recursos (reciclado de nutrientes) o aún para combatir otros fuegos. La ignición en fuegos accidentales puede ser causada por rayos, cigarrillos encendidos, reflejos de lentes, etc. En algunos países, millones de hectáreas de pastizales/matorrales se utilizan en función de los métodos de quema y tala (en Filipinas cerca de 11,4 millones de hectáreas (ha) sostienen a 17- 18 millones de personas).

Se establecieron las siguientes clases de procesos y sus correspondientes factores de emisión (Tabla 53). Los factores de emisión más altos se han aplicado cuando las condiciones indicaban que se podía favorecer la formación de PCDD/PCDF. Estas condiciones pueden deberse a la calidad del fuego - el que resulta más deficiente cuanto mayor humedad haya, peor ventilado esté y/o las temperaturas sean más bajas - o a los materiales quemados. En este último caso, el termino "impactado" se suele usar cuando, por ejemplo, la biomasa ha sido tratada con pesticidas que contienen precursores de dioxina o catalizadores para la formación de dioxina.

Tabla 53: Factores de emisión para la quema de biomasa

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

Para estimar las liberaciones de PCDD/PCDF de quemas de biomasa, los países podrían aplicar la aproximación que se usó para Francia – y ajustar los números de acuerdo a sus condiciones

climáticas y de vegetación. En el inventario de Francia se usaron las siguientes aproximaciones para estimar las liberaciones de PCDD/PCDF de los incendios forestales (Béguier 2004):

- Los bosques/vegetación se han clasificado de acuerdo a las zonas climáticas dando como resultado zonas templadas y mediterráneas (sur de Francia):

- En la zona templada, los bosques normalmente tienen 20 kg de biomasa por metro cuadrado (20 kg/m^2) correspondiente a 200 t/ha. En la zona Mediterránea, la biomasa es de 4 kg/m^2 o 40t/ha;

- En la zona templada y en promedio, el 20% de la vegetación se elimina por incendios, o sea 40 t/ha. En la zona Mediterránea, los incendios son más eficientes, con un promedio de eficiencia del 25%; de esta forma, los incendios al sur de Francia generaran PCDD/PCDF de 10t de biomasa por hectárea afectada por el fuego.

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

Para la quema previa a la cosecha de la caña de azúcar puede emplearse la siguiente aproximación para estimar la cantidad de biomasa quemada: cerca de 300 kg de biomasa se queman por cada tonelada de azúcar producida (Choong Kwet Yive 2004).

Por otro lado, para la quema posterior a la cosecha, los países del Sudeste asiático utilizaron la siguiente aproximación para estimar la masa de paja de arroz quemada: se generan 25% peso en peso de residuos de cosecha para el arroz. En otras palabras: 250 kg de paja de arroz se generaron por tonelada de arroz (refinado) producido.

Se reconoce que la vegetación varía entre las distintas regiones dependiendo de las especies, la geografía, y el clima. En consecuencia, de acuerdo a las condiciones locales, la forma en que se desarrolla el incendio de un bosque o biomasa 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 -, en este Instrumental no se puede realizar ninguna distinción de acuerdo a las diferentes especies arbóreas o especies de cultivo. Se necesita realizar más experimentos de combustión de esos tipos de biomasa para generar más datos.

La mejor fuente de información sobre dónde ocurren los incendios en un determinado país son 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 encontrando 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 alimentadas a 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 troncos cortados y secos, 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 a 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 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 cuenta 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 ≈ 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). El factor de emisión para la paja de trigo estuvo en el rango de 0,337 a 0,602 µg EQT/t de paja quemada y aquél para la paja de arroz 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 fueron 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 la tierra o incorporarse a su superficie constituyendo una liberación al mismo.

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 la tierra. 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 en productos

No se espera ningún producto.

6.6.1.5 Liberaciones en residuos

Se supone que los residuos van a liberarse a la 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 rellenamientos/vertederos – tanto si se trata de incendios deliberados o accidentales, incendios de edificios, como asimismo de automóviles y vehículos similares. Se seleccionaron para su consideración las categorías que se muestran en el (Tabla 54). Para las clases de 2 a 5, se debería optar por tomar el factor de emisión para el residuo o para la tierra, según las circunstancias locales.

Tabla 54: 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 en rellenamientos/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 (por vehículo)]	NA	18 (por vehículo)
5. Quema de madera a cielo abierto (construcción/demolición)	60	ND	[10]	NA	10

Por quema no controlada de desechos domésticos se debería incluir a todos los casos en los que se queman desechos sin ningún tipo de control de contaminación y, por consiguiente, todas las quemas a cielo abierto de montones/pilas, barriles o quemas domésticas. La quema de desechos en rellenamientos/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 que 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 están involucrados ciertos precursores químicos, pero no hay suficiente información para evaluar liberaciones a partir de incendios de sustancias químicas como una categoría diferente, por lo que 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 limitados datos disponibles, se dan los factores de emisión presentados. Los vehículos involucrados pueden variar considerablemente, pudiendo también esperarse que varíen las emisiones. Las cifras que aquí se exponen constituyen sólo estimaciones iniciales.

En algunos países, se quema una cantidad considerable de madera, tanto la usada en la construcción como la procedente de la demolición, 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 quemaron desechos domésticos en un barril (US-EPA 1997a, 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 de entre 9 µg EQT-OMS/t y 148 µg de EQT-OMS/t (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). Al aumentar el contenido de cloro orgánico se encontraron las más altas emisiones, 3.543 y 6.655 µg EQT-OMS/t, (PVC; hasta 7,5 % en el desecho), como así también ocurrió cuando se contó con 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, como asimismo a la presencia de alto contenido de cloro inorgánico (como $CaCl_2$), generaron altas emisiones de PCDD/PCDF (hasta 992 µg EQT-OMS/t). Una de las quemas experimentales con 0 % de PVC dió concentraciones más altas que uno de los dos experimentos con alto contenido de cobre. El valor medio de 25 experimentos arrojó 706 µg EQT-OMS/t y la mediana dió 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 rellenamientos. A estos incendios se les han atribuido elevados niveles de PCDD/PCDF, lo cual es de esperar dadas las deficientes condiciones de combustión y el hecho de 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 medirlas, y los estudios realizados tienden a basarse en simulaciones en 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 (en función de un resumen efectuado por Carroll 1996). Estos factores surgían de resultados obtenidos en 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 ésto 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 (Vikelsoe 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 de 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 automóvil viejo (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 auto 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 automóviles viejos, 49,5 % a los 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 de la demolición, quemándose fundamentalmente madera, aunque 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 este tipo 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 la tierra ya que los residuos provenientes del fuego quedan en su lugar, sobre la tierra. En este Instrumental, se

propone el mismo factor de emisión para tierra y para residuos; cuando los países estimen las liberaciones nacionales, deberían aplicar el que corresponda a la situación local.

6.6.2.4 Liberaciones en productos

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

6.6.2.5 Liberaciones en residuos

Es factible que los residuos de todos los tipos de fuego considerados en esta sección contengan PCDD/PCDF. Las cantidades variarán según las condiciones del fuego y la naturaleza de los materiales, pudiendo los residuos pueden quedar en el lugar o ser retirados. En este Instrumental, se propone el mismo factor de emisión para tierra y para residuos; cuando los países estimen las liberaciones nacionales, deberían aplicar el que corresponda a la situación local

Un factor de emisión indicativo de 600 µg de EQT/t de material quemado es usado para la quema a cielo abierto 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. Se ha medido un amplio rango de concentraciones 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) dieron cantidades de PCDD/PCDF en los residuos, habiéndose 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 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/productos químicos 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 efectuados a partir de datos medidos y de información sobre características para estimar/cuantificar las liberaciones de PCDD/PCDF a partir de las diversas actividades del sector. Además, esta sección da breves descripciones de los procesos que aquí interesan con miras a conseguir una comprensión general de las industrias. Se entenderá mejor así 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 más especializada.

Como puede verse en la Tabla 55, existen cinco subcategorías principales. Puede observarse asimismo que las liberaciones de PCDD/PCDF pueden surgir a través de diversas vías, de las que resultará la contaminación del aire, del agua y de la tierra, o en los productos. Por otro lado, 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.

Tabla 55: Subcategorías de la Categoría Principal 7- Producción y uso de sustancias/productos químicos 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 oxicloración)	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 Articulo 5, Anexo C

En lo pertinente a lo dispuesto en el Articulo 5, las fuentes en esta categoría se pueden clasificar como sigue:

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

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

Las categorías de fuentes de la Parte III del 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 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 en base a 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 habida cuenta que existen parámetros comunes, por ejemplo, las materias primas, los procesos pueden descomponerse en varias clases. Aunque la madera es lo más usado como materia prima para la fabricación de pulpa, debería destacarse que fibras distintas a la madera, como la paja de cereal y diversos tipos de caña, se emplean como materia prima para la producción de pasta y papel. Estas fibras representan el 6,5-11 % de la producción de pasta virgen del mundo. En los países en vías de desarrollo o en países con pocas fuentes forestales, las fibras diferentes a la madera sirven de materia prima a más del 35% de la producción total de pasta (Blanco *et al*. 2004). Uno de los mayores productores de pulpa/papel a partir de fibras alternativas a la madera es China. Los datos suministrados por Zheng *et al*. provienen de una gran fabrica en China de pasta a base de fibra diferente a la madera (Zheng *et al*. 2001, Zheng *et al.* 1997).

Debe hacerse notar que la información acerca de estas fibras distintas a la madera es escasa y los procesos pueden diferir. La mayoría de las fabricas de pasta en base a las mismas son de baja capacidad y los sistemas de recuperación no son ni económica ni técnicamente viables al presente. La principal dificultad con el uso de fibras alternativas a la madera es la presencia de sílice en los licores agotados de la fabricación de pulpa, los que pueden causar problemas en dicha fabricación de la pulpa/pasta y en los ciclos de recuperación química, además de producir un drenaje deficiente durante la fabricación del papel. Estos licores no pueden ser tratados por

los sistemas tradicionales debido a su alto contenido de compuestos inorgánicos y su bajo valor calórico. Se requiere investigación en este campo (Blanco et al. 2004).

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 cartón 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 en el agua de procesamiento (las fábricas de pasta modernas funcionan libres de efluentes);
- Emisiones en el lodo de la pasta, que se puede aplicar a la tierra, incinerar o disponer en rellenamientos/vertederos;
- Emisiones en productos (= pasta, papel), que pasan al mercado como productos.

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 energía mecánica a la matriz; por ejemplo, se presionan los troncos/trozas contra una muela rotatoria con la acción simultánea de agua o se extraen las fibras de 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 al sulfito

Se utiliza un licor ácido de cocción que se basa en una solución acuosa de dióxido de azufre (SO_2) y una base, como calcio, sodio, magnesio 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 uso de calcio y magnesio es obsoleto en Europa porque, aunque es más barato, las sustancias químicas de la cocción no se pueden recuperar. El proceso que utiliza sodio es el dominante en Europa debido a que permite la recuperación de las sustancias químicas. El proceso al 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 tipo de maderas/fibras y da una celulosa de elevada resistencia a la tracción. El proceso Kraft utiliza una solución alcalina de base sódica (licor) constituida

por sulfuro sódico (Na_2S) e hidróxido sódico (NaOH) en solución al 10 %. Las sustancias químicas de la fabricación de pulpa 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 el ácido peracético como sustancia química blanqueante. El aumento de la sustitución de 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:

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. El blanqueo con cloro e hipoclorito representaban, en el año 2000, alrededor del 25 % del mercado mundial de pasta blanqueada.

2. Blanqueo libre de cloro elemental (BLC)

   El blanqueo BLC es una secuencia de blanqueo, constituida 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, o también hipoclorito). El blanqueo libre de cloro elemental permite reducir los niveles de PCDD/PCDF. En el 2000, 67% del mercado mundial estaba abastecido por pulpa producida por este método.

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 el 2000, la pulpa producida por este método abastecía el 7 % del mercado mundial de pasta blanqueada.

4. Blanqueado de pastas mecánicas

   El blanqueado de la pasta mecánica es completamente distinto al 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 se torna amarillo. La operación de retención de lignito se desarrolla en una o dos etapas, utilizando ditionito sódico ($Na_2S_2O_3$), peróxido ($H_2 O_2$) o una combinación de los dos.

   En la industria del blanqueo de pasta, existen mezclas de los procesos de blanqueado mencionados. Por ejemplo, algunos, como los fabricantes de pasta en Chile, usan cantidades pequeñas de gas cloro (Cl_2, cloro libre) en la primera etapa de blanqueo en el proceso TLC con bajo contenido de lignina después del proceso de cocción. En este proceso, hay una baja aplicación de múltiplos de Cl_2 en la primer etapa de blanqueo ($\leq$

0,1% Cl_2). Este tipo se refleja en el Instrumental como de clase 3 (ver Tabla 57 y Tabla 58) (CORMA 2004).

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 ºC. 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. Como se refleja en la Tabla 56 no hay factor de emisión para liberaciones de PCDD/PCDD en residuos ya que las cenizas de la cadera de licor negro se reciclan y vuelven a ingresar al proceso.

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 %. Se disponen nuevos datos de China para fibras distintas de la madera, pero la información aportada no es suficiente para convertir las concentraciones medidas que se encuentran en los efluentes líquidos en factores de emisión en tSA. De esta forma, las liberaciones con los efluentes tienen que ser estimadas a partir de las concentraciones medidas y de los volúmenes descargados al ambiente. Además, no se pueden aportar factores de emisión con el grado de detalle como los que se disponen para el blanqueo de la madera (Zheng et al. 2001).

Los factores de emisión aplicables a la industria de la pasta y el papel se elegirán según se muestra en la Tabla 56 y en la Tabla 58.

Tabla 56: Factores de emisión de la industria de la pasta y el papel: calderas

	Factor de emisión	
	µg de EQT/tAS Aire	µg de EQT/t de ceniza Residuos
1. Calderas de licor negro,	0,07	NA
2. Calderas de lodos y madera/ de cortezas	0,2	50

Las emisiones anuales con los efluentes residuales 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 las tablas 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 la Tabla 57 pueden verse las concentraciones de PCDD/PCDF para las diferentes clases. Estos factores de emisión para las plantas de fibras de madera parten del supuesto de que todas las plantas disponen de instalaciones de tratamiento de efluentes que producen lodos y efluentes con escasos sólidos suspendidos. Para el ejemplo de fibra distinta de madera, la concentración se relaciona con el efluente crudo antes del tratamiento.

Tabla 57: Factores de emisión para efluentes y lodos de pasta

	Factores de emisión			
	Agua		Residuos = Lodos	
Clasificación	µg de EQT/tSA	pg de EQT/L	µg de EQT/tSA	µg de EQT/t en lodos
1. Proceso Kraft, gas cloro, fibra distinta de madera, tratamiento con PCP	ND	300	ND	ND
2. Proceso Kraft, tecnología antigua (Cl_2)	4,5	70	4,5	100
3. Tecnología mixta (TLC pero parcialmente Cl2 en la primer etapa	1,0	15	1,5	30
4.papeles al sulfito, tecnología antigua (libre de cloro)				
5. Proceso Kraft, tecnología moderna (Cl O_2)	0,06	2	0,2	10
6. papeles al Sulfito, nueva tecnología (ClO_2,TLC)				
7. Pasta termomecánica	ND	ND	ND	ND
8. Papel reciclado de desecho de papel contaminado*		30		
9. Papel reciclado de papeles modernos	ND	ND	ND	ND

* Efluentes líquidos del sistema de destintado

Tabla 58: Factores de emisión de productos de pasta y papel

Clasificación	Factores de emisión µg de EQT/t de producto
1. Pastas Kraft de fibras distintas de madera, posiblemente impactadas por PCP, gas Cl_2 de blanqueo	30
2. Pasta y papel Kraft de fibras primarias, blanqueo sin cloro	8
3. tecnología mixta (TLC pero Cl_2 parcialmente en la primer etapa)	3
4. Papeles al sulfito, tecnología antigua (sin cloro)	1
5. Papeles Kraft, nueva tecnología (ClO_2, TLC), papel no blanqueado	0,5
6. Papeles al sulfito, nueva tecnología (ClO_2, TLC)	0,1
7. Pulpa termomecánica	1
8. Papel reciclado de desechos de papel contaminado	10
9. Papel reciclado de papeles modernos	3

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 para las 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 la Columbia Británica (Canadá), donde las fábricas de pasta utilizan madera cargada de sal. Para las calderas de licor negro de las industrias que procesan pasta a partir de fibras distintas a la madera no se ha encontrado información sobre concentraciones de PCDD/PCDF. De esta forma, en la actualidad se tiene que suponer que se aplican los mismos factores de emisión que para las plantas que procesan madera. Sin embargo debe destacarse que las plantas que procesan fibras alternativas a la madera no tienen calderas de recuperación.

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 en la chimenea 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 0,07 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 las calderas para madera (calderas con PES), la US-EPA (1998) ha notificado emisiones de 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.

En Canadá, las calderas que utilizan como combustibles troncos/trozas cargados de sal (desechos de madera) pertenecen a fabricas que operan en zonas costeras. Una caldera típica consta de un horno de combustión, sobrecalentadores de vapor, un banco de generación, un economizador, un calentador de aire, multiciclones, precipitadores electrostáticos o depuradores húmedos, y una chimenea. El combustible a base de troncos/trozas tiene 0,06 % - 2,2 % de NaCl y 49%-66% de humedad. Las emisiones en chimenea caen dentro de un rango comprendido entre 0,01 ng EQT/m^3 y 2,8 ng EQT/m^3 (@11 % O_2) (Duo and Leclerc 2004). Los ensayos llevados a cabo en una caldera de lecho fluidizado alimentada con troncos dieron un promedio de emisiones de PCDD/PCDF de 0,295 ng EQT/Nm^3 (@ 11 % O2). Luego de co-incinerar con 5% de neumáticos (conteniendo 1,6 % de azufre), las emisiones se redujeron a un promedio de 0,119 ng EQT/Nm^3 (@ 11 % O_2). El combustible a base de troncos/trozas ensayado tenía entre 0,072-0,585 % de cloro (Duo *et al*. 2002, Duo *et al.* 2003).

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 rotativo trabaja a temperaturas de 800 ºC 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 Nm^3/t de pasta. Aquí, los factores de emisión que se usan 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 que se puede ver en la sección 6.3. CORMA (2004) informó factores de emisión de entre 0,16 y 0,43 µg EQT/t de alimentación para caldera de corteza (clase 2); de esta forma, se sugiere un factor de emisión por defecto de 0,02 µg EQT/t de alimentación para este Instrumental.

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 al 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 (15-20m^3/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 m^3 de agua/t de pasta); en la Unión Europea el consumo de agua ha variado entre 15 y 100 m^3/t. El consumo de agua puede reducirse aumentando la recirculación interna. Normalmente las descargas de aguas residuales son de 20-40 m^3 por tonelada de pasta. Para el Instrumental se utilizará un factor de 30 m^3 de agua por tonelada de pasta producida.

Las concentraciones en los efluentes oscilaron 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 Cl_2 en la primera etapa de blanqueo por ClO_2 reduce espectacularmente la formación de 2,3,7,8-Cl_4DD y 2,3,7,8-Cl_4DF (hasta por debajo de los límites de detección de 0,3-0,9 pg/L).

Los datos obtenidos y publicados por el NCASI [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 el Vapor, Inc.) (1998) en los EE.UU., 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-Cl_4DD y 2,3,7,8-Cl_4DF en los efluentes de las fábricas de pasta. Los resultados mostraron que en ninguna de las muestras podía hallarse 2,3,7,8-Cl_4DD en concentraciones superiores a la directriz propuesta de 10 pg/L. El 2,3,7,8-Cl_4DF 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 dióxido 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 troncos/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 fabricas chinas de pulpa y papel que blanquean fibras distintas a la madera se han informado concentraciones mucho más altas que en las fabricas de pasta de papel de Europa y de América (Zheng *et al*. 2000). Las concentraciones de los PCDD/PCDF en las aguas de desecho de una fabrica de pasta en China que usa una secuencia de blanqueo C-E-H fue de 316 pg EQT-I/L, siendo la concentración de 2,3,7,8-Cl_4DD de 230 pg/L y la de 2,3,7,8-Cl_4DF de 122 pg/L.

En las fábricas mecánicas de pasta y papel (fábricas integradas, PTM), los sistemas de agua están bastante cerrados, en general, de manera que se mantengan las altas temperaturas que requiere el procesado. Por consiguiente, los volúmenes de aguas residuales son bajos, de 5-10 m^3/tSA. No se encontraron factores de emisión.

6.7.1.3 Liberaciones en 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 Cl_2 por ClO_2 se obtiene una reducción de 2,3,7,8-Cl_4DD y 2,3,7,8-Cl_4DF 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 ClO_2. Con números kappa elevados y con ClO_2 poco puro (es decir, elevada impureza de Cl_2) 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 la concentración mediana, aplicando la "antigua tecnología," es 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.

Las pastas blanqueadas chinas exhibían concentraciones altas de PCDD/PCDF (Zheng *et al.* 1997, Zheng *et al*. 2000). Zheng *et al*. (2000) informaron concentraciones de 24,7 ng EQT-I/kg de pasta para una secuencia de blanqueo C-E-H con un patrón típico de blanqueo con cloro de (2,3,7,8-Cl_4DF=13,6 ng/kg y 2,3,7,8-Cl_4DD=2,0 ng/kg pero concentraciones altas de 1,2,3,7,8-Cl_5DD=29,8 ng/kg y Cl_6DD=35,8 ng/kg). Zheng *et al*. (1997) también encontraron altas concentraciones en cinco pastas blanqueadas provenientes de fibras distintas a la madera que estaban en el rango de 33,5 ng EQT-I/kg hasta 43,9 ng EQT-I/kg. Estas muestras estaban caracterizadas por muy altas concentraciones de 2,3,7,8-Cl_4DD, 1,2,3,7,8-Cl_5DD y 1,2,3,4,7,8-Cl_6DD pero tenían 2,3,7,8-Cl_4DF y Cl_5DF sustituidas no cuantificables.

La PTM (pasta termo-mecánica) contiene concentraciones próximas a 1 μg de EQT/t de pasta (de Wit 1989) y entre 0,17 ng EQT-I /kg y 1,65 ng EQT-I/kg (Santl *et al.* 1994a). El factor de emisión de la PTM es de 1 μg de EQT/t de pasta.

La pasta al sulfito no blanqueada contiene bajas concentraciones de PCDD/PCDF. El factor de emisión para la pasta al sulfito es de 0,1 μg de EQT/t de pasta.

Papeles reciclados a partir de papeles con bajo contenido de PCDD/PCDF tienen un factor de emisión de 3 μg EQT/t según la información suministrada por CORMA (2004) y la pasta/papel reciclada de fuentes impactadas, ejemplo: desechos de papel con alto contenido PCDD/PCDF, tienen un factor de emisión de 10 μg EQT/t según datos de Santl *et al*. (1994a, 1994b).

El reemplazo en la primera etapa de blanqueo del Cl_2 por ClO_2 reducirá espectacularmente la formación de 2,3,7,8-Cl_4DD y 2,3,7,8-Cl_4DF hasta valores de 0,1-0,3 pg/g de pasta blanqueada, lo que corresponde a 0,1-0,3 μg/t de pasta blanqueada.

Las concentraciones de PCDD/PCDF en papel Kraft blanqueado que emplea cloro libre (Cl2 gas) 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 al 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 para papeles reciclados provenientes de pasta fabricada usando el viejo proceso Kraft o de 3 μg EQT/t para papeles reciclados de los primarios fabricados con tecnologías de blanqueo modernas.

6.7.1.4 Liberaciones en residuos

Los principales residuos de las fábricas de pasta y papel desde el punto de vista de la liberación de dioxina son los lodos de la pasta 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 blanqueada Además, por cada tonelada de pasta se generan 40-70 kg de desechos inorgánicos. 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 rellenamientos/vertederos y el represamiento en superficie, la aplicación a la tierra, el reciclado (compostado, lechos para animales) o la incineración.

Las concentraciones en los lodos de pasta utilizando las secuencias antiguas de blanqueado se sitúan entre 2 ng de EQT/kg y 370 ng de EQT/kg de materia seca, con una mediana de 93 ng de EQT/kg de 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 concentración en el lodo, de 100 ng de EQT-I/kg de lodo la que, multiplicada por la masa total de lodo evacuado por año, permite calcular 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 Cl_4DD y Cl_4DF 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. En este Instrumental, se aplicará para los lodos de destintado combinados con los de fibra, un factor de emisión de 30 μg EQT/Kg de lodo.

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, bio-sólidos). Estos desechos pueden evacuarse en rellenamientos/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 bajas, del orden de 0,1 ng de EQT-I/m³; también la co-combustión 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 de combustible fósiles que co-incineran lodos, se aplicarán los de la sección 6.3.1.

En un estudio Canadiense realizado en caldera que utilizaba como combustible trozas cargadas de sal, las concentraciones en la ceniza fueron de 3,80 µg EQT/kg de ceniza para las operaciones normales y de 2,63 µg EQT/kg para la condición de co-incineración de neumáticos (Duo *et al*. 2003, Duo *et al*. 2002).

Para el Instrumental y las calderas de corteza/madera, se aplica el mismo factor de emisión que el usado para la quema de madera en la Sección 6.3. Los datos procedentes de CORMA (2004) suministraron un factores de emisión de 48 µg EQT/t de ceniza para caldera de corteza.

La disposición de cenizas debería monitorearse y deberían incluirse las liberaciones potenciales al ambiente (incontroladas, dispersión en tierra) o excluirse (vertederos).

6.7.2 Industria química

Históricamente, las primeras observaciones de contaminación por dioxinas y furanos correspondieron 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 generación de PCDD y PCDF los procesos que a continuación se citan según un orden de probabilidades decreciente, de arriba abajo:

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 mismos procesos de manufactura como, por ejemplo: 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.

Se debe hacer notar que las condiciones que favorecen la formación de PCDD/PCDF en procesos industriales químicos húmedos son diferentes de aquellas que favorecen la formación de PCDD/PCDF en procesos térmicos. Para los procesos de manufactura química que involucran cloro, la generación de PCDD y PCDF se encuentra favorecida cuando están presentes una o varias de las siguientes condiciones (para mayor información sobre los mecanismos de formación de PCDD/PCDF, ver PNUMA Productos Químicos 2003a, NATO/CCMS 1992b).

- Altas temperaturas (>150 °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 tales compuestos. 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 encima 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 productos químicos; la contaminación con PCDD/PCDF de estos intermediarios es transferida al producto final (por ejemplo, en los pigmentos para el teñido basados en cloranilo, proceso antiguo) o se encontrará en residuos de producción (y, por lo tanto, estarán mayormente asociados a los residuos del proceso de oxicloración).

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 mismo (por ejemplo, qué tipo de tratamiento se aplica a los efluentes, qué cantidad de residuos se produce y adónde se llevan). Coadyuvará a la compilación del inventario contar con los datos de los principales usos y clientes de los productos, como asimismo con 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, provee 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 purificación, producción y tratamiento de residuos empleados, así como los productos secundarios resultantes. También es importante saber cuál es el destino de los residuos (rellenamiento/vertedero, recuperación de subproductos, incineración, *etc.*). Como muchas de esas sustancias van a utilizarse en preparaciones químicas, éstas deberán identificarse, 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 brinde 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, cuantificándolas si fuera posible, tomando nota de sus aplicaciones. Por otra parte, es probable que en un país existan instalaciones en las que algunas de las sustancias químicas enumeradas en esta sección se sinteticen para su exportación (exclusivamente). Las

liberaciones potenciales de PCDD/PCDF que se producen durante la fase de producción se deberán tener en cuenta en el inventario del país, mientras que, 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 suministro de la ropa de protección adecuada – 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 sistema cloacal. 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 (colectora cloacal, curso de agua, estanque de sedimentación, *etc.*). También será valioso suministrar 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 liberada 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 la tierra a partir de procesos de producción cuando los residuos de estos procesos se dispongan por simple descarga al mismo. No pueden darse factores de emisión y tal práctica deberá ser señalada dando además toda la información reunida, cuando sea posible, sobre la cantidad y procedencia del residuo.

Es posible que haya liberaciones a la 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 la tierra. En otros casos se tomará nota de posibles liberaciones a la tierra y se recopilarán datos sobre los usos del producto.

Liberaciones en productos y a partir del uso y disposición final de productos

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 en 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 subproductos (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. Resulta también útil tomar nota de cómo se tratan y eliminan los residuos.

Asimismo, 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 a la madera de la putrefacción fúngica y de insectos terebrantes. Los productos de PCP son muy tóxicos para las plantas y se utilizan como desfoliantes previo a la cosecha y como 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 EE.UU., 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 empleaba fundamentalmente como conservador de la madera. No obstante, en 1983 se han utilizado en Alemania 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 usa esencialmente 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 cloacal (EC 1996).

La producción comercial de pentaclorofenol se hace mediante tres procesos principales (OTAN/DCSM 1992a):

- El método más común consiste en la cloración directa del fenol con gas cloro en presencia de un catalizador. Esta reacción provoca la formación de subproductos como hidrógeno, cloruro de hidrógeno y PCDD/PCDF.
- Hidrólisis del hexaclorobenzeno con hidróxido de sodio. Se forman PCDD/PCDF como subproductos 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:

(1) Por hidrólisis del hexaclorobenceno (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).

(2) 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 preparaciones. 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).

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 utilizaciones principales el tratamiento a alta presión de postes telefónicos, durmientes 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, mientras que 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 adecuadamente 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).

6.7.2.2 Bifenilos policlorados (PCB)

Los bifenilos policlorados (PCB) han sido ampliamente utilizados 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 empleando numerosos equipos que los contienen, y los materiales y desechos con PCB o bien están siendo usados o están a la espera de su eliminación.

Los PCB fueron fabricados comercialmente mediante la cloración progresiva del bifenilo en presencia de un catalizador adecuado, como el cloruro de hierro. Según fueran 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, mezcla que seguidamente era purificada por filtración o destilación. En general, los PCB comerciales contenían impurezas, principalmente dibenzofuranos policlorados (PCDF) en el orden de µg/kg a mg/kg, pero no dibenzo-*p*-dioxinas policloradas (PCDD). Aunque existen 209 congéneres posibles de PCB, sólo unos 130 tienen 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 de unos pocos a muchos µg de EQT-I/kg.

En la actualidad, y por lo que se conoce en 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 los PCB se extraen de los equipos, se almacenan o eliminan. Los lugares donde se utilizan 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 es tratada en una guía del PNUMA dedicada particularmente a este asunto (PNUMA 2000) y no entra dentro de los alcances del presente Instrumental. Durante su uso, el equipo con PCB puede experimentar pérdidas de material y los viejos equipos que ya no se utilizan, 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 de 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 de este inventario, se dan ejemplos de datos sobre concentración que pueden emplearse 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 disposición final/ 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, a partir del procesamiento de la chatarra o por pérdidas a partir de los lugares de disposición final. No se han efectuado estimaciones de estas liberaciones.

Los PCB pueden servir como indicadores, ya que especialmente los más clorados presentan un comportamiento similar en el ambiente (en particular, estabilidad y movilidad) al de los 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 la Tabla 59.

Tabla 59: 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

2. Cloración media, como el Clophen A40, Aroclor 1248	70.000	disponibles pero se cree que son más elevados que en el producto nuevo.
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 (Tabla 60).

Tabla 60: 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 están 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 ese 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-Cl_4DD; 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-T (presente en forma de 2,3,7,8-Cl_4DD). El 2,4,5-triclorofenol ha sido utilizado esencialmente 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 tierras donde se haya 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 arrojaron como resultado alrededor 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 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 dioxazina (para algodón, cuero y materiales sintéticos) y de otras sustancias químicas (por ejemplo para semillas y fungicidas). 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. Según sean los procesos de producción, el p-cloranilo puede estar fuertemente contaminado por PCDD/PCDF.

Se conocen dos procesos de producción:

(1) El antiguo procedimiento de Hoechst AG por cloración de fenol (que se utilizó en Alemania hasta 1990). Con este antiguo proceso, el p-cloranilo estaba contaminado con 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).

(2) 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); Tokoyama Soda (Japón) obtiene la misma calidad

En los EE.UU., 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 en la agricultura. En Europa, este producto no ha sido empleado como fungicida ni como protector de semillas. En África, el cloranilo ha sido usado, 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, Hoechst AG exportaba unas 150-200 t/a e importaba unas 50-100 t/a de la India. Es sabido que en este país se ha aplicado el mismo proceso a la producción del cloranilo hasta mediados de los años noventa. Las importaciones ulteriores a Alemania han sido estimadas en unas 50-100 t/a aproximadamente (BUA 1992). Desde 1990, el único productor de Europa Occidental, y probablemente el mayor productor de cloranilo del 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. Si bien no se ha podido obtener información acerca de la producción en los países de Europa Oriental y la Federación Rusa, se sabe que en esta última se ha estado produciendo cloranilo, el que además ha sido también importado a ese país. En los EE.UU. no hay producción de cloranilo (BUA 1992).

La contaminacióncon 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 EE.UU. se hallaron concentraciones de cloranilo de 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 produzcan 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 tales 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 disponen en rellenamientos / vertederos o se incineran).

Por otro lado, el carbón activado utilizado en la producción de los tintes también puede contener PCDD/PCDF (en Alemania, los desechos peligrosos se eliminan mediante hornos rotativos) (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 los primeros años de los ochenta presentaban una contaminación de entre 240 y 540 µg de EQT/kg; las producciones posteriores mostraron concentraciones menores, en el rango de 400 ng de EQT/kg (Masunaga *et al*. 2001). 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 a 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 ácido de Lewis, como cloruro férrico ($FeCl_3$) o mediante la oxicloración del benzeno con HCl en presencia del oxígeno (OTAN/CDSM 1990, EHC 1991). El 1,4 –diclorobenceno (p-DCB) es una de las sustancias químicas para hacer bolillas anti-pollillas, comúnmente llamadas "matapolillas". Como tal se ha usado como desodorante para la basura y baños, como así tambien como insecticida para el control del gorgojo de la fruta y de las hormigas. Puede ser aplicado asimismo a las bases de sembrado de las semillas de tabaco para el control del moho azul, como también en el control del gorgojo de durazneros, y el de distintos tipos de mohos que afectan cueros y textiles (HSDB 2004).

A partir de los mecanismos de reacción antes mencionados, no es evidente la formación de PCDD/PCDF, pero probablemente éstas se producen durante la purificación en los casos en que suele realizarse en medio alcalino.

Los análisis de PCDD/PCDF llevados a cabo en los años 80 no fueron capaces de analizar concentraciones específicas de congéneres de los 2,3,7,8 sustituidos, por lo que en el informe NAT/CCM de 1990, sólo se suministraron datos de homólogos que no permiten asignar un factor de emisión como EQT. Las concentraciones de PCDD/PCDF en base a EQT han sido informadas recientemente para clorobencenos (Liu *et al*. 2004; Tabla 61). Se han tomado 6 muestras del proceso de producción de los diclobencenos (*o*-DCB y *p*-DCB) y triclorobencenos

(124-TCB); las muestras S4, S5, y S6 representan los productos purificados del fabricante chino sintetizados *via* cloración del benceno y clorobenceno con un catalizador de Friedel-Crafts ($FeCl_3$) (Yanzh Pesticide Co., Ltd.).

Tabla 61: Concentraciones de PCDD/PCDF en clorobencenos (Liu *et al*. 2004)

Muestra	Comentarios	PCDD/PCDF (ng EQT-OMS/kg)
S1	Intermediario: mezcla de DCB luego de la destilación y separación del monoclorobenceno	620
S2	Intermediario: mezcla de DCB y TCB	1.850
S3	Residuos que quedan de la purificación de S6	3.378
S4	*p*-DCB: después de la destilación y cristalización (98,1%)	39
S5	*o*-DCB: después de la destilación y cristalización	ND
S6	1,2,4- triclorobenceno (124-TCB)	ND

A partir de los resultados que figuran arriba, se obtendrán los factores de emisión de la Tabla 62. Debe observarse que los factores de emisión en los residuos se relacionan a la masa de éstos, generados en la producción de di y triclorobencenos. Puede verse que la mayoría de los PCDD/PCDF quedan en las pesadas colas de purificación (muestra S3). Las liberaciones de éstos deberían estimarse sólo si se retiran los residuos del proceso y se les da disposición final. En los casos en que los residuos se usen como materia prima en otros proceso de síntesis, estas concentraciones no estarán reflejadas en el Inventario de liberaciones nacional.

Tabla 62: Concentraciones de PCDD/PCDF en clorobencenos (Liu *et al*. 2004)

Clasificación	Factores de Emisión (µg EQT/t de producto o residuo, *resp*.)				
	Aire	Agua	Tierra	Producto	Residuos
1. *p*-Diclobenceno (p-DCB)	ND	NA	NA	39	ND
2.*o*-Diclobenceno (o-DCB)	ND	NA	NA	0	ND
3. 1,2,4,-triclobenceno (124 TCB)	ND	NA	NA	0	3.000

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 co-productos esenciales son la soda cáustica (hidróxido sódico, NaOH) y el hidrógeno (H_2). Por lo tanto, esta sección trata también de plantas cloroalcali. 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.

La formación de PCDD y PCDF puede ser importante cuando se utilizan ánodos de grafito. En un principio, los ánodos de grafito se usaron en celdas de mercurio y diafragma. Como la tecnología de membrana representa la tecnología moderna, no es factible que haya plantas de membrana que utilicen electrodos de grafito como ánodos. A comienzos de los años setenta muchos países industrializados reemplazaron los ánodos de grafito aunque, 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 6.10.2- sitios de Producción de Cloro). 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.

El borrador de Directrices sobre MTD y Orientación Preliminar sobre MPA indica que el uso de electrodos de grafito no constituye una MTD (SC MTD/MPA 2004).

Algunas publicaciones comunican (Kannan *et al.* 1997) que la mezcla comercial de Aroclor 1268 se ha utilizado para la lubricación de los electrodos, habiendo causado la eliminación de los desechos del proceso una grave contaminación ambiental.

Los inventarios nacionales deberían incluir la liberación de PCDD/PCDF en los residuos de las plantas de cloro que utilizan ánodos de grafito. Habrá un factor de emisión asignado para los residuos; otros vectores de liberación son despreciables aunque la contaminación que se origina de la disposición final del lodo de electrodo puede ser importante. Por ejemplo, en Alemania el vaciadero de una planta antigua de cloro que usaba electrodos de grafito mostró concentraciones de PCDD/PCDF que ascendían a 319 µg EQT-I /kg (She and Hagenmaier 1994). En los sedimentos de China se encontraron concentraciones que ascendían a 420 µg EQT-I/kg m.s (Xu *et al* 2000). Debe destacarse que hay dos factores de emisión; uno se basa en la cantidad de lodo (= residuo) generado y el otro se basa en una tonelada de cloro-álcali producida. No hay ningún factor de emisión que relacione la cantidad de cloro (gas) producida (Tabla 63).

Tabla 63 Factor de emisión para la producción de cloro con electrodos de grafito

Clasificación	Factores de emisión en µg /kg				
	Aire	Agua	Tierra	Producto	Residuo
Producción de cloro/cloroalcali usando ánodos de grafito	NA	NA	NA	NA	20 µg EQT/kg de lodo 1.000 µg EQT/t de cloroalcali

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, influyendo la eficiencia con que éstas se capturen, probablemente, en tal 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 en 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 en Residuos

La mayor parte de la contaminación por PCDD/PCDF se encontrará en los residuos. No hay datos disponibles de Alemania (Hagenmaier y She 1994), Suecia (Rappe et al. 1991), y de China (Xu *et al*. 2000, Wu 2000). Las concentraciones en los lodos de grafito eran las

siguientes: hasta 3.985 µg EQT-I/kg en una muestra de Alemania, de 13 a 28 µg EQT-N/kg en tres muestras de Suecia (Rappe et al. 1991), y 21,65 µg EQT-I/kg en una muestra de China (Xu *et al*. 2000). Para el Inventario de liberación de dioxinas de China , se asume que se generan 50 kg de lodos de grafito por tonelada de álcali. Con una concentración por defecto de 20 µg/kg de lodo de grafito, se propone un factor de emisión de 1.000 µg EQT/t de cloroalcali.

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 EE.UU., más del 90 % de la producción total de EDC se utiliza para producir monómero de cloruro de vinilo (MVC). La mayor parte de la producción de PVC se basa en la dehidrocloración (craqueo) del dicloruro de etileno (EDC)

Producción de EDC (dos métodos distintos)

a) **Cloración directa** de etileno con cloro en presencia de un catalizador (cloruros de hierro, aluminio, cobre, antimonio). 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 oxicloración.

b) **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 ºC 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).

Producción de MVC

El MVC se produce por decloración 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 MVC (punto de ebullición: –13 ºC) 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)
- A granel (en masa), y
- Solución.

En la industria de EDC/MVC/PVC, el paso más crítico para la generación de PCDD/PCDF es la fabricación de EDC por oxicloración del etileno. En la pirólisis del MVC, 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.

En el informe EPA TRI se dispone de datos de liberación de PCDD/PCDF específicos por planta. Las instalaciones sujetas al TRI que fabrican, procesan, o bien usan ciertos materiales tóxicos están obligadas a informar las emisiones al aire, al agua y a la tierra si exceden los umbrales de actividad establecidos. El TRI también solicita que las instalaciones informen sus datos de prevención de la contaminación y de reciclado. La Agencia de Protección Ambiental (EPA) recopila los datos TRI cada año, publica un informe anual y pone dichos datos a disposición del público vía Internet (http://trifacts.org/). En Octubre de 1999, EPA agregó los PCDD/PCDF a los inventarios TRI para comenzar el informe del año 2000. Las liberaciones de PCDD/PCDF están disponibles en http://www.trifacts.org/dioxin_ data/index.html (Carrol 2004).

Los factores de emisión para la industria de EDC/MVC y PVC se exhiben en la Tabla 64. Habrá tres clases de factores de emisión que se dividen en tecnologías antiguas y modernas. Como una clase separada, las plantas dedicadas sólo a PVC se incluyen como clase 3. Como puede verse, para las tecnologías antiguas, no hay factor de emisión al aire ni para residuos disponibles hasta el presente.

Tabla 64: 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/MVC, PVC	ND	1	ND	ND
2. Plantas modernas EDC/MVC y EDC/MVC/PVC	0,4 [2]	0,5[2]	0,03	10
3. Plantas modernas: solamente PVC (combustión de gas de salida)	0,0003 [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, sobretodo, en la incineración, la que es utilizada para controlar los gases de salida de las distintas etapas del proceso Para ello, se emplean diversos tipos de hornos como oxidantes térmicos, hornos rotativos, incineradores de inyección líquida e incineradores de lecho fluidizado. Dado el contenido en HCl de los

gases de salida, se puede esperar que los incineradores estén equipados por lo menos de un sistema de refrigeración y un enfriamiento con líquido cáustico para neutralizar el HCl.

Una encuesta estadounidense sobre plantas de EDC/MVC 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 de 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, con diferencias de 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 la Tabla 64.

Los datos de Tabla 64 se basan en datos de producción de EDC o PVC de la industria de los Estados Unidos. Los datos TRI US-EPA 2002 para liberaciones de PCDD/PCDF que provienen de 22 instalaciones dan factores de emisión entre 0,0 µg EQT/t de EDC y 3 µg EQT/t de EDC con un promedio de 0,4 µg EQT/t de EDC (US-EPA 2004, Carroll 2004, Dyke *et al*. 2004). El factor de emisión para plantas sólo de PVC se tomaron de 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/MVC 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 constituyen 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/MVC y PVC se utilizan cantidades considerables de agua de procesamiento, que o bien sale de la planta o bien se recicla en la mayor medida posible para regresarla al proceso de fabricación de EDC/MVC/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 residuales. Normalmente así se reduce la DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y el total de sólidos en suspensión, además de ajustar el pH a las directrices aplicables al agua.

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). 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, (US EPA 2000, Vinyl Institute 1998).

Todas las muestras tomadas en plantas de EDC/MVC 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) (US EPA 2000, Vinyl Institute 1998). Los factores de emisión para las plantas EDC/MVC

y EDC/MVC/PVC estaban en el rango de 0 g EQT/t de EDC/VCM/PVC a 2,5 µg EQT/t de producto. Para este Instrumental, se eligió la media de 0,5 µg EQT/t de EDC para aguas residuales de plantas de EDC/MVC como factor de emisión por defecto para plantas modernas (US-EPA 2004, Carroll 2004, Dyke *et al*. 2004)

Para plantas EDC/MVC y EDC/MVC/PVC, se asume que la cantidad de PCDD/PCDF que se libera al ambiente con las aguas residuales depende más de la eficiencia del sistema de tratamiento de efluentes - especialmente su capacidad para remover los catalizadores sólidos agotados – que del proceso aplicado.

La formación de PCDD/PCDF puede ser más elevada para los sistemas antiguos y escasamente controlados, pudiendo ser también más altas las liberaciones al agua debido a los deficientes sistemas de tratamiento de efluentes. Sin embargo, en la actualidad no se pueden dar factores de emisión.

6.7.2.8.3 Liberaciones en 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 en residuos

Los principales residuos de interés son: extremos pesados de la purificación 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.

Para las plantas combinadas de EDC/MVC, 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, se espera que la mayor parte de los PCDD/PCDF estén asociados al catalizador agotado.

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) se 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 en que se manejan y eliminan 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 vaciadero o se usan como material de entrada de otro proceso. Datos procedentes del Reino Unido han mostrado que 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 más arriba) u otros residuos mixtos, entonces sí pueden formarse y liberarse PCDD/PCDF.

Anteriormente, en el Reino Unido residuos procedentes de la producción de EDC se usaban en un oxiclorador 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 en que se manejen y el destino que se les dé a esos residuos determinará cuáles van a ser las liberaciones al medio ambiente. No se puede dar un factor de emisión para los mismos. Cuando estos residuos de producción se generan en los procesos de producción química y son reciclados, por ejemplo, en el proceso de oxicloración, aparecerán en los correspondientes residuos de la oxicloración.

6.7.2.10 Sustancias Químicas Inorgánicas Cloradas

El cloro se usa en la síntesis de sustancias inorgánicas donde permanecen en el producto final (NaOCl, ClO_2, $FeCl_3$, $AlCl_3$, $ZnCl_2$, etc.) o se usan simplemente en el proceso (TiO2, Si) (SC BAT/BEP 2004). El proceso de fabricación de la sustancia química inorgánica cloruro de magnesio anhidro ($MgCl_2$), un intermediario en la fabricación de el magnesio metálico, se trata en la Categoría de Principal de Fuente 2 (Sección 6.2.9). El otro proceso que involucra cloro en la fabricación de dióxido de titanio (TiO_2).

Existen dos procesos para fabricar TiO_2: el proceso de cloro y el de sulfato. Este último genera muchos más residuos que el primero, por lo que resulta menos común. El proceso de cloro ha crecido en uso en los últimos treinta años debido a que es relativamente compacto, el reciclado de los materiales del proceso, las mejores propiedades del producto, y la menor generación de

residuos. El TiO_2 se produce a partir del mineral, tal como rutilo o ilmenita, que se clora a altas temperaturas para producir tetracloruro de titanio ($TiCl_4$), un líquido estable y destilable. El $TiCl_4$ se purifica y se oxida con oxígeno, liberando cloro que se recicla dentro del proceso. La temperatura óptima de operación esta por encima de 600 ºC (SC BAT/BEP 2004).

La presencia de coque, cloro, metales, y temperatura elevada dan lugar a la formación de PCDD/PCDF en forma análoga a su formación en la oxicloración. De formarse, los PCDD/PCDF se particionan en los residuos sólidos (corrientes que contienen coque residual).

6.7.2.11 Resumen

Dentro del subsector de la industria química, la parte más crítica del proceso de fabricación es el proceso de oxicloración 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 oxicloración 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 metas de emisión voluntarias con la intención de promover la conservación del medio ambiente. La Carta del CEFV, que constituye una especie de autorregulación, incluye directrices sobre 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/Nm³ [condiciones normales (europeas): 11 % O_2, 273,15 K o 0 °C, 101.3 kPa] 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/MVC más avanzadas.

6.7.3 Industria del petróleo

El petróleo crudo es una mezcla de numerosos hidrocarburos distintos y 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, dependiendo las operaciones utilizadas en una determinada refinería de las propiedades del petróleo crudo que ha de ser refinado y de los productos que se desea obtener.

Por ahora, en la industria del refinado de petróleo sólo se ha notificado una fuente potencial de PCDD/PCDF: la regeneración del catalizador utilizado para el termofraccionamiento catalítico de las grandes moléculas de hidrocarburo en moléculas más pequeñas y ligeras (Beard *et al.* 1993).

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.

Actualmente, sólo pueden cuantificarse los PCDD/PCDF generados a partir del venteo con llama de los gases liberados en la industria del petróleo. Se usarán los mismos factores de emisión que se listan en el Capitulo 6.3.3 - Combustión de Gas de Rellenamiento/Biogas. En la Tabla 65 el factor de emisión al aire se da por TJ y por metro cúbico.

Tabla 65: Factores de emisión para venteo con llama de gases

Clasificación	Factor de Emisión-µg EQT/TJ de Gas Quemado	Factor de Emisión- µg EQT/m^3 de Gas Quemado
	Aire	Aire
Venteo con llama	8	0,0003

6.7.3.1 Liberaciones al aire

Actualmente, solo se pueden estimar las emisiones al aire, por la aplicación de los mismos factores de emisión que para la combustión y venteo con llama de biogás y gas de rellenamientos sanitarios/vertederos. Las emisiones de la reactivación de los catalizadores no puede ser cuantificada aún.

6.7.3.2 Liberaciones al agua

La cantidad de aguas residuales generada en el proceso de reforma catalítica es de alrededor 190 kg/t de materiales de entrada. Las aguas residuales 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 la misma. Pero por ahora no se dispone de datos. Deberá tomarse nota de toda descarga de aguas residuales.

6.7.3.3 Liberaciones en 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 dispone 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 la fibra virgen en productos textiles acabados es complejo; por consiguiente, la mayor parte de las fábricas textiles son especializadas (US-EPA 1997b). La industria textil se está considerando como posible fuente de PCDD/PCDF, ya que:

- Es sabido que plaguicidas como el pentaclorofenol, que está contaminado con PCDD/PCDF, pueden entrar en la planta con las materias primas, como el algodón, que se 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: desaprestado (para eliminar los materiales de apresto que se aplicaron antes del tejido, desengrasado (proceso de limpieza que remueve impurezas de las fibras, los hilos o la tela lavándolas para el que normalmente se utilizan soluciones alcalinas), y blanqueado como asimismo gaseado (elimina de fibras, hilos o tela, las materias coloreadas indeseables. Entre los agentes de blanqueado más frecuentes figuran peróxido de hidrógeno, hipoclorito sódico, clorito sódico y dióxido de azufre gaseoso. El peróxido de hidrógeno es el agente blanqueador más frecuentemente utilizado para el algodón y las mezclas de algodón) y mercerización (con el que se trata de alterar química o físicamente la tela haciéndola pasar por una solución al 15-20 % de sosa cáustica). 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 tela. Se estima que el promedio de generación de aguas residuales de una gran instalación industrial centralizada de tinción en los EE.UU. 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) (US-EPA 1997b).

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±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 pueden darse sólo como límites superiores e inferiores en el producto final.

Tabla 66: 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 generar factores de emisión. Cuando fueron investigados los procesos de acabado en Alemania, no se encontraron 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 existen grandes cantidades de determinadas sustancias químicas y deficientes controles en las descargas.

6.7.4.3 Liberaciones en 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 sin tratar 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 1997). Los perfiles homólogos de todas las muestras altamente contaminadas estaban dominados por los PCDD y PCDF más clorados (Cl_7 y Cl_8). 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 patrones de dioxina dan una fuerte indicación de 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 en residuos

Dependiendo de los factores que acaban de exponerse, los lodos procedentes del tratamiento de aguas residuales 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. Sí se han comunicado casos de contaminación de productos comerciales de cuero y, si se tienen en cuenta los patrones de los PCDD/PCDF, puede asumirse que la fuente de la contaminación es el PCP, lo que se ve confirmado por el hecho que desde que en el año 1989 se prohibió el uso de PCP en Alemania (se admite una concentración máxima de 5 mg PCP/kg en el producto final), 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 billeteras de cuero se han encontrado concentraciones de PCDD/PCDF de hasta de 430 ng de EQT-I/kg, y en zapatos hasta 6.400 ng de EQT-I/kg (Malisch 1994). Aunque en muchos países ha disminuido el uso de PCP, las concentraciones de PCDD/PCDF no disminuyeron, por lo menos en el calzado, y en Alemania se detectaron concentraciones pico de 2.100 y 3.000 ng de EQT-I/kg, respectivamente, 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, como asimismo las propiedades observadas, dan indicios fuertes de que el PCP es la fuente de la contaminación por dioxina.

Para este Instrumental, por ahora sólo se pueden dar factores de emisión correspondientes al producto final. No se dispone de datos sobre efluentes o desechos. Se espera que las emisiones atmosféricas sean insignificantes. En cambio, las liberaciones al agua y en residuos pueden ser elevadas.

Tabla 67: 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 - Misceláneos

Esta categoría comprende ocho procesos que no han podido clasificarse en las otras categorías principales de fuentes. En la Tabla 68 se muestran las subcategorías.

Esta sección incluye, además, dos procesos (desecado de forraje verde, ahumaderos), que se pueden considerar como procesos de combustión, del tipo de, por ejemplo, la combustión de los desechos de madera – sección 6.1.6 o la calefacción y la cocina doméstica – 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 niveles del cuerpo humano.

Tabla 68: Subcategorías de la Categoría Principal 8- Varios

No.		Categorías y Subcategorías	Atmósfera	Agua	Tierra	Productos	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 Articulo 5, Anexo C

En lo pertinente a lo dispuesto en el Articulo 5, las fuentes en esta categoría se pueden clasificar como sigue:

Las categorías de fuentes de la Parte III del 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 acaecido 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 la Tabla 69.

El desecado de forrajes verdes que utiliza 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.

Tabla 69: 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. Biomasa tratada con PCP o 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 en 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 pueden emplear concentraciones como las que se están hallando en estudios de biomonitoreo en el centeno galés. Las concentraciones encontradas 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 se usa como combustible 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 emplea un combustible limpio.

6.8.2 Crematorios

La cremación es una práctica frecuente en muchas sociedades para destruir los cadáveres por incineración. Los componentes esenciales de la cremación son el cargador del ataúd (con el cadáver), la cámara principal de combustión y, cuando existe, una cámara de postcombustión. En algunos casos se cuenta con 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

chimeneas que normalmente son bastante bajas. Ambos factores 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, pudiendo contar además con 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 % O_2). 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 de Tailandia midió concentraciones en el efluente gaseoso y en las cenizas de fondo de un crematorio, que consistía en una cámara de combustión primaria revestida con material 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 material 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).

Tabla 70: 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 ºC, 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 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 ºC, 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.

Kim *et al*. informaron emisiones que iban desde 0,46 a 2,1 ng EQT/Nm^3 para crematorios coreanos que se corresponden con un factor de emisión de 8,4 g EQT/ por cuerpo cremado.

Las concentraciones de PCDD/PCDF en la chimenea del crematorio de Tailandia estuvieron en el rango de 10,5 a 28,6 ng EQT-I/m³ con un promedio de 17,6 ng EQT-I/m³ (@11 % O_2). 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 re-formación" de PCDD/PCDF y esto aumentaba las concentraciones de estas últimas 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 el sistema cloacal 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 la tierra.

6.8.2.4 Liberaciones en productos

No se genera ningún producto.

6.8.2.5 Liberaciones en residuos

Condiciones deficientes de combustión darán lugar a una combustión incompleta del carbono orgánico y a concentraciones más elevadas en las cenizas volantes y en las cenizas del horno. Las concentraciones de PCDD/PCDF en las cenizas de fondo recolectadas del crematorio de Tailandia eran de 44 y 48 ng EQT-I/kg de ceniza de fondo (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 el ahumado para la conservación de carnes y pescados es una práctica común. 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, como asimismo debido al tipo de combustible que utilizan, madera en la mayoría de los casos.

Tabla 71: Factores de emisión para ahumaderos

Clasificación	Factores de emisión				
	Atmósfera 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	2.000
2. Combustible limpio, sin postcombustión	6	NA	NA	ND	20
3. Combustible limpio, con postcombustión	0,6	NA	NA	ND	20

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 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 la tierra.

6.8.3.4 Liberaciones en 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 en residuos

Los factores de emisión son los mismos que para la combustión de la madera (ver Tabla 38).

6.8.4 Limpieza a seco

Se han encontrado PCDD/PCDF en los residuos procedentes de la destilación de la limpieza a seco (limpieza de textiles con solventes, sin lavado con agua). Se ha identificado como fuente de contaminación de los textiles con PCDD/PCDF, el 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 a seco por sí mismo no produce ningún PCDD/PCDF. Durante el proceso de limpieza a seco la contaminación por PCDD/PCDF se extrae del textil y pasa al solvente. El solvente se destila para su recuperación y reutilización, por lo que los PCDD/PCDF se concentran en los residuos de destilación que normalmente se desechan. 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 a seco. Por lo tanto la influencia del solvente usado es despreciable; los solventes típicos son percloroetileno, gasolina o fluorocarbonos.

Tabla 72: Factores de emisión en residuos de limpieza a seco

Clasificación	Factores de emisión – µg de EQT/t de residuo de destilación				
	Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos
1. Textiles pesados, tratados con PCP, *etc.*	NA	NA	ND	ND	3.000
2. Textiles normales	NA	NA	ND	ND	50

6.8.4.1 Liberaciones al agua

No se espera ninguna liberación al agua.

6.8.4.2 Liberaciones a la tierra

No se espera ninguna liberación a la tierra.

6.8.4.3 Liberaciones en productos

No se genera ningún producto (solo importan los residuos de destilación).

6.8.4.4 Liberaciones en 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 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. No hay datos sobre cigarros. Sólo se han estudiado las emisiones al aire; todas las demás liberaciones serán insignificantes.

Tabla 73: 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 en productos

No se genera ningún producto.

6.8.5.5 Liberaciones en residuos

No es aplicable.

6.9 Categoría principal 9 – Disposición final/rellenamiento sanitario

La forma cen que se manejan y evacúan 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 rellenos de seguridad, 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 estos contaminantes que van desde despreciables hasta muy importantes. Deberá tomarse nota de todas las prácticas de disposición final de residuos que contengan dioxina. En casos extremos, el manejo de residuos puede provocar fuertes exposiciones a PCDD/PCDF. Recientes ejemplos son: el accidente que involucró 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 y el uso de cal contaminada en la producción de alimentos para animales (EU SCAN 2000).

Esta Sección se ocupa de algunas opciones de disposición final distintas de la incineración o el 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 la Tabla 74. Ya antes, sobretodo 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 pico superiores en órdenes de magnitud (fundamentalmente cuando hay fracciones de polvo presentes). En Alemania, en los primeros años de la década del 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 un país a otro y a lo largo del año (con cantidades mayores 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, cuando se instale un sistema de reciclado para el papel y el cartón usado (entre otros: 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 van a ir a rellenos o a basurales. Por otra parte, el crecimiento económico puede aumentar las cantidades de materiales plásticos de todo tipo 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.

Tabla 74: Subcategorías de la Categoría Principal 9- Evacuación

No.		Categorías y subcategorías	Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos
9		**Evacuación**		**X**	**X**	**X**	
	a	Rellenamientos/vertederos y vaciaderos a cielo abierto/basurales		x			
	b	Cloacas/tratamiento de efluentes cloacales	(x)	x	x	x	x
	c	Vertido a aguas superficiales		x			
	d	Compostado			x	x	
	e	Tratamiento de desechos de aceites (no térmico)	x	x	x	x	x

Pertinente al Artículo 5, Anexo C

En lo pertinente a lo dispuesto en el Articulo 5, las fuentes en esta categoría se pueden clasificar como sigue:

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

	Categoría de fuente	Sección en el Instrumental
(g)	Refinerías de desechos de aceites	6.9.4

6.9.1 Rellenamientos y vaciaderos a cielo abierto

A efectos del Instrumental, los rellenamientos/rellenos/vertederos y los vaciaderos a cielo abierto/basurales son lugares donde se depositan los desechos, enterrándolos o apilándolos sobre la superficie. Para los propósitos del Instrumental, un relleno 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 vaciadero a cielo abierto/basural no está regulado y normalmente contiene desechos mezclados que se disponen sin ningún tipo de dispositivo de prevención de la contaminación.

En el relleno controlado o en el vaciadero a cielo abierto se degradan las materias orgánicas produciéndose, como resultado, gases (con metano como mayor constituyente). El paso de agua a través de los desechos resulta en una lixiviación. Si no se ha instalado un sistema de captación, los gases y lixiviados del relleno saldrán de éste de manera no controlada. Hasta ahora, no se pudieron cuantificar los PCDD/PCDF en los gases de rellenamiento, por lo que el factor de emisión al aire se indica como NA (no aplicable) en la Tabla 75.

Las situaciones en donde el gas originado en el relleno se quema no son consideradas en esta Sección 6.9.1. El Instrumental diferencia entre dos clases de quemado de gases de relleno (el metano que se genera por descomposición del desecho): (1) El gas de relleno se recolecta y se quema en una antorcha, en un motor, en un venteo con llama u otro dispositivo; en este caso, la combustión del gas se considera una conversión de energía, por lo que se trata en la Subcategoía 6.3.3. A los efectos del Instrumental no importa si la "energía" se aprovecha o no. (2) el gas de relleno entra en ignición espontáneamente o accidentalmente, la masa de los residuos se enciende y los materiales vertidos se queman. Estas liberaciones se consideran en el capítulo de la Categoría Principal 6 - procesos de Quema a cielo abierto en la Sección 6.6.2.

En este contexto, no importa si el fuego se inicia por auto-ignición del gas metano, *etc.* (= combustión espontánea en sitios de vertido), o si 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.

Tabla 75: Factores de emisión para rellenos y vaciaderos a cielo abierto/basurales

Clasificación	Factores de emisión – pg de EQT/L en agua y µg EQT/t en residuos dispuestos				
	Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos
1. Desechos peligrosos	NA	200	NA	NA	50
2. Desechos no peligrosos	NA	30	NA	NA	6

6.9.1.1 Liberaciones al aire

En término medio, 1 tonelada de desechos municipales normales depositada en un relleno produce 150 m³ de gas (desechos europeos) durante un período de 10-20 años (o incluso más). La mayor producción de gas tiene lugar en los primeros años. Las mediciones de los gases de rellenamientos 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 relleno 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 percolado de rellenos y vaciaderos a cielo abierto/basurales 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 rellenos controlados municipales, mixtos, no peligrosos, no han permitido hallar PCDD/PCDF ni en las aguas provenientes de rellenos de desechos municipales, como así tampoco en las de los rellenamientos mixtos y de desechos peligrosos.

Datos procedentes de cinco vertederos 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 rellenos pequeños y medios y 7,5-221 pg de EQT-I/L para los grandes. Las concentraciones más elevadas se encontraron en un relleno que contenía cantidades significativas de 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 rellenos que pueden contener desechos peligrosos, y una clase 2 con un factor de emisión de 30 pg de EQT-I/L para rellenos que contienen desechos municipales no peligrosos.

6.9.1.3 Liberaciones a la tierra

Puede producirse contaminación de la tierra a partir de rellenamientos y vaciaderos a cielo abierto/basurales deficientemente controlados.

6.9.1.4 Liberaciones en productos

No hay ningún producto.

6.9.1.5 Liberaciones en residuos

En general no se producen residuos. Los PCDD/PCDF existentes en el relleno actúan como reservorio y fuente potencial para el futuro. La cantidad de PCDD/PCDF presente en los rellenos o basurales 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 vertederos, 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 sub-categoría, sólo se podrá cuantificar la carga histórica.

6.9.2 Desagües cloacales y su tratamiento

Esta sección incluye las liberaciones acuosas que se recogen 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.

Se considera aquí al lodo cloacal como el residuo sólido resultante del tratamiento de aguas residuales, en particular las procedentes de los sistemas sanitarios y de las viviendas. Las aguas residuales pueden incluir los desechos humanos (aguas cloacales o servidas o negras), el agua resultante del lavado de personas y ropas, en ciertos casos el agua de escorrentía, y los efluentes industriales que se vierten al sistema cloacal. Como la mayor parte de la contaminación existente en los lodos tiene su origen en otros procesos o productos[5], los lodos cloacales 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 este tipo de lodos. Además, países tales como Alemania y Austria, que disponen de una legislación al respecto, analizan rutinariamente PCDD/PCDF en lodos cloacales. 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 listan en sus correspondientes subcategorías (sobre todo en la sección 6.7.1).

[5] Se tiene conocimiento que la formación biogénica de PCDD/PCDF en los lodos cloacales 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 lodos

Los sistemas de tratamiento de aguas cloacales tiene diferentes configuraciones que van desde un transporte simple del efluente a un vertido directo sobre el terreno (tal vez en el mar) sin ningún tratamiento, remoción simple de sólidos gruesos (por lagunas de sedimentación o tamizado grueso) y tratamiento biológico y sedimentación. En algunos casos se aplican otras etapas adicionales de tratamiento.

Las cantidades de PCDD/PCDF que ingresan en el sistema cloacal o en las instalaciones de tratamiento dependerán de las fuentes de las aguas residuales. Los ingresos de PCDD/PCDF 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 en la escorrentía son bajas (siempre que no haya deposición proveniente del aire). Pueden esperarse también concentraciones bajas en países que impongan estrictos controles a las descargas de efluentes industriales al sistema cloacal 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 cloacales.

Con tratamientos más avanzados, como los de tipo biológico, 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 permanezcan.

Las concentraciones de PCDD/PCDF en los lodos cloacales han sido medidas desde fines de los años ochenta, cuando Hagenmaier encontró una concentración promedio de 200 ng EQT/kg m.s. en 43 plantas de tratamiento de lodos cloacales (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 suizas para de desechos de este tipo, Rappe *et al.* (1994) hallaron concentraciones entre 6 y 4.100 ng EQT/kg m.s., cuatro de las muestras estuvieron por encima de 1.000 ng EQT-I/kg m.s. Normalmente, en los países industrializados, las concentraciones en los lodos cloacales muestran una tendencia a la baja debido a los controles en las fuentes.

Las fuentes potenciales de PCDD/PCDF en los lodos cloacales pueden incluir formación microbiana, escorrentías de suelos y superficies urbanas contaminadas por uso de productos, o deposiciones previas de emisiones al aire, 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 cloacales 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) mientras que otras, tales como los efluentes provenientes de duchas o de bañeras, eran más bajas (2-16 pg de EQT-I/L) (Horstmann y McLachlan 1995, Horstmann *et al.* 1993c).

Tabla 76: Factores de emisión de lodos cloacales
(Nota: los factores de emisión se dan en pg de EQT/L de efluente de líquido cloacal y en µg de EQT-I por tonelada de lodos cloacales (materia seca = m.s.) generada.

Clasificación	Factores de emisión			
	Aire	Agua pg de EQT/L	Tierra	Productos = Residuos µg de EQT/t m.s.
1. Ingreso de mezcla de residuos domésticos e industriales (cantidades relevantes de 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 y los que poseen control de ingreso (aquí con 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 cloacales - no tienen importancia en este caso.

6.9.2.2 Liberaciones al agua

Los efluentes de las plantas de tratamiento de líquidos cloacales 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 cloacales pueden aplicarse a la tierra para mejorar la calidad del mismo. En estos casos se utilizarán las concentraciones del producto.

6.9.2.4 Liberaciones en productos

El lodo puede considerarse como un producto cuando se aplica a la tierra para una mejora del mismo. En estos casos se considerarán como de liberaciones a la tierra (véase más arriba). Los lodos que se eliminan de otras formas se consideran como residuos.

Aquí, los lodos cloacales son considerados producto, por lo que no hay generación de residuos. La concentración de clase 1 se aplicará en los casos en los que, además de los efluentes domésticos normales, lleguen al mismo sistema cloacal efluentes industriales que podrían estar contaminados por dioxinas y furanos o cuando a la planta de tratamiento de líquidos cloacales 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 cloacal (esto explica por qué en los lodos de las grandes ciudades europeas se encuentran concentraciones relativamente bajas).

6.9.2.5 Liberaciones en residuos

El residuo es el lodo cloacal (producto de tratamientos biológicos o de tanques 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 la 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 éstos en las plantas de tratamiento de desechos es normalmente 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, como asimismo según el ingreso de efluentes potencialmente contaminados a las plantas de tratamiento (Asia Toolkit Workshop 2002).

6.9.3 Vertidos a aguas abiertas

El vertido a aguas abiertas es una práctica de gestión de desechos o de aguas residuales y constituye la etapa final para 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 (Tabla 77).

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 las mismas cantidades de PCDD/PCDF descargadas. Los factores de emisión se muestran en la Tabla 77.

Tabla 77: Factores de emisión para vertidos a aguas abiertas

Clasificación	Factores de emisión-µg EQT/m^3				
	Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos
1. Ingreso de mezcla de residuos domésticos e industriales.	NA	0,005	NA	NA	NA
2. Medio ambiente urbano	NA	0,0002	NA	NA	NA
3. Medio ambiente remoto y los que poseen control de ingreso	NA	0,0001	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 en productos

Irrelevante, ya que no hay ningún producto.

6.9.3.5 Liberaciones en 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, como asimismo de la agricultura y la silvicultura. En principio, todo material orgánico se puede compostar; este proceso de disposición final 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 compostado es del 30 %.

Datos obtenidos en Europa han mostrado que la contaminación por PCDD/PCDF puede ser elevada cuando se composta la fracción orgánica total. Existen fracciones que pueden ingresar en el proceso de compostado y que pueden tener elevadas concentraciones de PCDD/PCDF. Tales materiales son, por ejemplo, el contenido de las aspiradoras de polvo o todas las partículas finas como el polvo doméstico, la tierra contaminada que entra con los sobrantes

vegetales y de plantas, las hojas contaminadas por el tráfico que utiliza nafta/gasolina con plomo, el césped de cementerios y otros desechos orgánicos tratados con plaguicidas. De esta práctica puede resultar un producto final inaceptablemente contaminado, que resulta inadecuado para su uso en horticultura. En estos compostados se han detectado concentraciones superiores a 100 ng de EQT-I/kg.

Tabla 78: Factores de emisión del compostado

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 m^3) 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 compostado.

6.9.4.3 Liberaciones a la tierra

La utilización habitual del compostado ya terminado es su aplicación a la tierra y, por consiguiente, se utilizarán las concentraciones que haya en el producto.

6.9.4.4 Liberaciones en productos

En el caso del compostado, el producto es igual al residuo. Se aplicará la concentración de clase 1 a los casos en los que se composta 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 desechos de aceites (no térmicos)

Por varias razones puede ser difícil estimar el tratamiento de desechos de aceites para el inventario de dioxinas. En primer lugar, no existe una definición clara de lo que es un aceite

"usado" o un "desecho" de aceites. Para el propósito de este Instrumental los desechos de aceites (o aceites usados) se definen como todo aceite usado derivado del petróleo, sintético, o derivado de plantas o animales. Los desechos de aceites se pueden originar a partir de dos grandes fuentes: los industriales, y los de origen animal o vegetal. Entre los desechos de aceites industriales se pueden identificar tres corrientes principales: aceites industriales (por ejemplo aceite hidráulico, lubricantes de motores, aceites de corte); los aceites procedentes de los garajes o estaciones de servicio, y los aceites de transformadores.

Se encontraron desechos de aceites contaminados con dibenzo-p-dioxinas policloradas (PCDD), dibenzofuranos policlorados (PCDF) y bifenilos policlorados (PCB). Los aceites que contienen PCB procedentes de transformadores se consideran en la Categoría Principal 10 (ver Sección 6.10.6).

En la actualidad no hay evidencia disponible de que los PCDD/PCDF o los PCB se formen nuevamente en las refinerías de desechos de aceites. Los datos disponibles indican que los PCDD/PCDF y los PCB liberados de estas refinerías y en las plantas de manipuleo y manejo de los mismos proceden de la producción industrial intencional de PCB o de clorobencenos, que se encuentran presentes en los desechos de aceites por contaminación, ya sea durante el proceso de síntesis (de estos químicos) o durante la fase de uso o procesos de reciclado previo (SC BAT/BEP 2004).

No hay un tratamiento uniforme para los desechos de aceites. De acuerdo a la información disponible, las opciones de manejo de estos aceites incluyen: el reuso o regeneración; el craqueo térmico; y la incineración o uso como combustible, por ejemplo: hornos cementeros, ladrilleras, *etc.* Algunos se pueden mezclar - con o sin refinado previo - con fuel oil y usarse en motores, por ejemplo en barcos. Se debería notar que en muchos países también se practican el vertido y la quema a cielo abierto.

Por lo tanto, la recolección de desechos de aceites en los países terminará en otros procesos, y éstos deberán repartirse e incluirse en las Secciones correspondientes a incineración de desechos (Secciones 6.1.1, 6.1.2), uso como combustible en plantas de energía (Sección 6.3.1), calefacción y cocina domestica (6.3.5), hornos cementeros (Sección 6.4.1), ladrilleras (6.4.3), estaciones de mezclado de asfalto (Sección 6.4.6), o transporte (Sección 6.5.4).

La gestión de PCDDD/PCDF o aceites contaminados con PCB pueden causar exposición humana del personal que los recolecta o que los 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 las tierras 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 del lugar comenzando por una evaluación histórica sobre si se han realizado actividades sospechosas o si las mismas 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 tierras 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 sedimenten en estanques, estos sedimentos o los lodos resultantes de los 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 cercanas a 4 mg de EQT/kg de residuos en una muestra de lodo; otros ejemplos estaban en el rango de 0,15 µg EQT-I/kg a 23,1µg EQT-I/kg (She y Hagenmaier 1994). 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 coque 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).

Los objetivos principales serán la tierra 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, se produce 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 perdidas, 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/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 la Tabla 79. 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.

Tabla 79: 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 eliminación). 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 Vaciaderos a cielo abierto/Residuos de categorías 1-9

En todo lugar donde se haya efectuado la disposición final de productos o residuos que contengan PCDD/PCDF, existe una probabilidad de que esos contaminantes sean liberados al medio ambiente. Los propios vaciaderos o rellenos constituyen el reservorio. En esos vaciaderos los PCDD/PCDF se mantienen relativamente inmóviles mientras no haya infiltraciones de agua que puedan movilizar la contaminación por éstos. 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 vaciadero, 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 donde se ha usado cloro gaseoso (cloro libre) para el blanqueo 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 rellenos 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 (sobretodo 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 suelo. 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 (a 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, ha podido ser el resultado de actividades no antropogénicas. Se han encontrado altas concentraciones, sobre todo de PCDD, en minas de arcilla plástica en los EE.UU., 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 naturalmente formados e investigar los mecanismos de formación 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 of Polychlorinated Dibenzo-furans by Chlorination and *de novo* Reaction with $FeCl_3$ in Petroleum Refining Industry. Environ. Sci. Technol. **27**, 1505-1512

Béguier S. (2004): Comunicación personal a H. Fiedler; CITEPA, Paris, Francia

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. (Ordinance for waste incinerators, Germany)

BImSchV (1997): 27. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Anlagen zur Feuerbestattung - 27. BImSchV) vom 19. März 1997. BGBl. I, S. 545. (Ordinance for crematoria)

Blanco A., C. Negro, C. Monte, E. Fuente, y J. Tijero (2004): The Challenges of Sustainable Papermaking. Environ. Sci. Technol. **38**, 414A-420A

Bramley M. (1998): Liberaciones de Dioxinas y Hexachlorobenceno Releases procedentes de la Producción de Magnesio en Norte América: Lecciones del Proyecto Magnola de Noranda en Asbestos, Quebec. Greenpeace, Canada

BREF (2001a): 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 (2001b): Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) - Reference Document on Best Available Techniques in the Cement and Lime Manufacturing Industries. December 2001. European Commission, Technologies for Sustainable Development, European IPPC Bureau, Seville, Spain

BREF (2001c): Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Chlor-Alkali Manufacturing Industry. 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

Bremmer H.J., L.M. Troost, G. Kuipers, J. de Konig, and A.A. Sein (1994): Emissions of Dioxins in the Netherlands, RIVM/TNO, The Netherlands

Bröker G., P. Bruckmann, and 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

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. (2004): information submitted to H. Fiedler, PNUMA Productos Químicos by Chlorine Chemistry Council, U.S.A. for EPA TRI data

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)

Choong Kwet Yive N.S. (2004): information submitted to H. Fiedler, PNUMA Productos Químicos by University of Mauritius, Réduit, Mauritius

CITMA/CIGEA (2004): Inventario nacional de fuentes y liberaciones de dioxinas y furanos - Cuba 2000. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente - Centro de Información, Gestión y Educación Ambiental, La Havana, Cuba

COCHILCO (2004): Resumen descriptivo de las tecnologías y operación de las fundiciones primarias de concentrados de cobre de Chile. Documento Técnico elaborado por la Comisión Chilena del Cobre en base a la información entregada por las fundiciones chilenas

Convenio de Estocolmo (2001): Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs). PNUMA Productos Químicos, Ginebra. Texto a descasrgar de http://www.pops.int

Copper Smelters (2004): Information on processes, raw materials, and recycling of German, Swedish, and Canadian copper manufacturers is taken, among others, from the following URLs (accessed in December 2004):
Germany: http://www.na-ag.com/NA_en/rohstoffe_frame.html
Sweden: http://www.boliden.com
http://www.noranda.com

CORMA (2004): Standardized Toolkit for Identification and Quantification of Dioxin and Furan Releases - Comentarios. Information submitted to PNUMA Productos Químicos by Corporación Chilena de la Madera A.G., Chile, March – October – November 2004

DEH (2004): Inventory of Dioxin Emissions in Australia – National Dioxins Program, Technical Report No. 3. Prepared by Kelsey Bawden, Pacific Air & Environment for Australian Government, Department of Environment and Heritage

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

DINAMA (2002): Inventario nacional de liberaciones de dioxinas y furanos – Uruguay 2000. PNUMA 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, and 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

Duo W. and D. Leclerc (2004): Thermodynamic and Kinetic Studies on Dioxin Formation and Emissions from Power Boilers Burning Salt-Laden Wood Waste. Organohalogen Compd. **66**, 992-1000

Duo W., I. Karidio, L. Cross, and B. Ericksen (2003): Combustion and Emission Performance of a Hog Fuel Fluidized Bed Boiler with Addition of Tire Derived Fuel. FBC2003-016 - Proceedings of FBC2003 – 17th International Fluidized Bed Combustion Conference, May 18-21, 2003, Jacksonville, FL, USA
and
Paprican Research Report PRR 1625, December 2002, Pointe-Claire, QC, Canada

Dyke P, G. Amendola, and T. Abel (2004): Releases of PCDD/F from U.S. Chemical Production Facilities. Organohalogen Compd. **66**, 959-965

Dyke P.H., M.J. Wenborn, PJ. Coleman, M.J. Woodfield, and 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 text is authentic) (Text 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

ENEA/AIB/MATT (2003). Valutazione delle emissioni di inquinanti organici persistenti da parte dell'industria metallurgica secondaria. Rapporto finale (in Italian language)

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, and H. Hagenmaier (1992): Untersuchungen zur Emission halogenierter Dibenzodioxine und Dibenzofurane 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

Fabrellas B., M.L. Ruiz, M. Angeles Martinez , J. Rivera, E. Abad, and P. Sanz (2003): PCDD/PCDF Emissions in Hot-Dip Galvanising Facilities. Evaluation in the Frame of Spanish Dioxin Inventory. Organohalogen Compd. **63**, 5-8

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

Fisher R., D.R. Anderson, D.T. Wilson, E. Aries, D. Hemfrey, and A.A.T. Fray (2004): Effect of Chloride on the Formation of PCDD/Fs and WHO-12 PCBs in Iron Ore Sintering. Organohalogen Compd. **66**, 1116-1123

François F., M. Blondeel, P. Bernaert, and R. Baert (2004). Diffuse Emissions of PCDD/F and Dioxin-like PCB from Industrial Sources in the Flemish Region. Organohalogen Compd. **66**, , 906-912

Gullett 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, and 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 und 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

Hansen E. (2001): Substance Flow Analysis for Dioxins in Denmark. Environmental Project No. 570 2000

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

Kim D.-H., Y.-K. Kim, S.-J. Kim, and G. Ok (2003): Estimation of PCDDs, PCDFs and PAHs Emission from Crematories in Korea. Organohalogen Compd. **63**, 9-12

Horstmann M. (1994): Untersuchungen zu nicht-industriellen Quellen von polychlorierten Dibenzo-*p*-dioxinen (PCDD) unf polychlorierten Dibenzofuranen (PCDF) in einem kommunalen Entwässerungssystem. Ph.D. thesis, University of Bayreuth, Germany, Shaker Verlag, ISBN 3-8265-0233-7

Horstmann M., M.S. McLachlan, M. Reissinger, and 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 of PCDD/F in Municipal Sewage Sludge. Organohalogen Compd. **11**, 293-296

Horstmann M., M.S. McLachlan, and M. Reissinger (1993c): Investigations of the Origin of PCDD/F in Municipal Sewage Sludge. Chemosphere **27**, 113-120

HSDB (2004): Hazardous Substances Data Bank; accessible *via* TOXNET at: http://toxnet.nlm.nih.gov

Hutzinger O., H. Fiedler, C. Lau, G. Rippen, U. Blotenberg, H. Wesp, S. Sievers, P. Friesel, B. Gras, T. Reich, U. Schacht, and 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 Verbrennungsmortoren beim Betrieb mit handelsüblichen Betriebsstoffen. Universities of Bayreuth, Stuttgart and Tübingen, Germany. GSF-Forschungszentrum, Munich, Germany, ISSN 0937-9932.

Idczak F., S. Petitjean, P. Duchâteau, and P. Dengis (2004) : Control of PCDDs/PCDFs, PCBs & PAHs Emissions in Exhaust of Landfill Gas Fed Engines. Organohalogen Compd. **66**, 846-850

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. and M. Tanaka (1999): Experimental Study of Dioxin Emission from Open Burning Simulation of Selected Wastes. Organohalogen Compd. **41**, 507-510

ITDI (2003): Industrial Technology Development Institute of the Department of Science and Technology, the Philippines, *in:* PNUMA 2003b

Kim K.-S., K.-H. Hong, Y.-H. Ko, K.-D. Yoon, and M.-G. Kim (2003): Emission Characteristics of PCDD/Fs in Diesel Engine with Variable Load Rate. Chemosphere **53**, 601-607

Klasmeier J. and M.S. McLachlan (1997): Dioxine und Furane in Textilien und Leder. Materialien **124**, Bayer. Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU), München

Kubica K., P. Dilara, and B. Paradiž (2004): Toxic Emissions from Solid Fuel Combustion in Small Residential Appliances- CEM 2004, Sixth International Conference on Emission Monitoring, Milan, Italy, 9-11 June 2004

Kucherenko A., N. Klyuev, S. Yufit, A. Cheleptchikov, and E. Brodskj (2001): Study of Dioxin Sources in Krasnoyarsk, Russia. Organohalogen Compd. **53**, 275-278

Kutz F.W., D.G. Barnes, E.W. Bretthauer, D.P. Bottimore, and 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**, 523-531

Liu W., M. Zheng, D. Wang, Y. Xing, X. Zhao, X. Ma, and Y. Qian (2004) Formation of PCDD/Fs and PCBs in the Process of Production of 1,4-Dichlorobenzene. Chemosphere **57**, 1317-1323

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, Essen, Germany, 1997

Mahnke K. and P. Krauss (1996): Burning of Biomass – An Important Source for Global PCDD/F Immission? Organoholgen Compd. **27**, 167-170

Malisch R. (1994): Determination of PCDD/PCDF in PCP-Contaminated Leather Samples. Organohalogen Compd. **19**, 73-76

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

Masunaga S., T. Takasuga, and J. Nakanishi (2001): Dioxin and Dioxin-like PCB Impurities in Some Japanese Agrochemical Formulations. Chemosphere **44**, 873-885

Mayer R. (1997): Polychlorinated Dibenzo-*p*-dioxins and Dibenzofurans (PCDD/F) in Wool and Wool Products. Organohalogen Compd. **32**, 278-282

Mehrag A.A. and K. Killham (2003): A Pre-industrial Source of Dioxins and Furans. Nature **421**, 909-911

Merk M., K.-W. Schramm, D. Lenoir, B. Henkelmann, and A. Kettrup (1995): Determination of the PCDD/F Concentration in the Fumes from a PVC Fire. Organoholgen Compd. **23**, 491-494

Meyer-Wulf C. (1996): Dioxinemissionen bei der Kupfergewinnung und Massnahmen zu ihrer Minderung. *In*: Dioxine – Vorkommen, Minderungsmassnahmen, Messtechnik. VDI Berichte 1298, Verein Deutscher Ingenieure, Kommission Reinhaltung der Luft, VDI Verlag GmbH; Düsseldorf, 1996

MoE Japan (2003): The Ministry of the Environment: Inventory of PCDDs/DFs Emissions (Emissions Inventory); http://www.env.go.jp/air/report/h15-05/index.html

MoE Jordan (2003): Ministry of Environment, Jordan, *in:* PNUMA 2003b

MoE Lebanon (2003): Ministry of Environment Lebanon, *in*: PNUMA 2003b

Musdalslien U.I., P.H. Nokleby, and O. Wallevik (1998): Formation of dioxins from carbonaceous materials in production of anhydrous magnesium chloride. Organohologen Compd. **36**, 81-84

Napier C.E. and 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/CCCMS 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/CCMS Report No. **172**

NATO/CCMS (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/CCCMS Volume 16, 1992
and
Hutzinger O. and H. Fiedler (1988): Formation of Dioxins and Related Compounds in Industrial Processes. Pilot Study on International Information Exchange on Dioxins and Related Compounds, NATO/CCMS 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

NEC (1999): Environmental Assessment of Exisitng Industries in Bhutan. Chapter 4.0 – Cement Industries. National Environment Commission (NEC) of the Kingdom of Bhutan. http://www.nec.gov.bt/2000/cement_final.pdf

Nijkerk A.A. and W.J. Dalmijn (2001): Handbook of Recycling Techniques. Chapter 11 – Shredders. Nijkerk Consultancy, The Hague, The Netherlands, 2001

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**, 1379-1389

PNUMA (2004a): Sub-regional Workshop "Action Plans for PCBs and Dioxins/Furans under the Stockholm Convention on POPs", Siam City Hotel, Bangkok, Thailand, 9-13 July 2004. http://www.chem.unep.ch/pops/POPs_Inc/proceedings/coverpgs/procovers.htm

PNUMA (2004b): Sub-regional Workshop for SADC Countries to Conclude Their PCB Inventory Project and Receive Training on Action Plans for PCBs, Dioxins and Furans, Maputo, Mozambique, 8-12 November 2004.
http://www.chem.unep.ch/pops/POPs_Inc/proceedings/coverpgs/procovers.htm

PNUMA (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

PNUMA (2003b): Asia Dioxin Toolkit Project - National PCDD/PCDF Release Inventories from Brunei Darussalam, Jordan, Lebanon, Philippines, and Vietnam. PNUMA Productos Químicos, Geneva

PNUMA/GTZ/CONAMA (2004a): Taller sub-regional "Planes de Acción para PCBs y Dioxinas/Furanos en el Marco del Plan Nacional de Aplicación del Convenio de Estocolmo", Santiago de Chile, Chile, 19-23 de julio de 2004.
http://www.chem.unep.ch/pops/POPs_Inc/proceedings/coverpgs/procovers.htm

PNUMA/PCD/BMZ/BMU/UBA/GTZ (2002): Presentation of the PCD/PNUMA/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, PNUMA Productos Químicos, Government of the Federal Republic of Germany

PNUMA (2001): Thailand Dioxin Sampling and Analysis Program. PNUMA Productos Químicos, Geneva, September 2001. Full report for download at UNEP Chemicals's Web Page: http://www.chem.unep.ch/pops/newlayout/repdocs.html

PNUMA (1999): Dioxin and Furan Inventories, National and Regional Emissions of PCDD/PCDF, PNUMA Productos Químicos, Geneva, Switzerland

Quass U., T. Pulles, and H. Kok (2004): The DG Environment Project "Dioxin Emissions in Candidate Countries": Scope, Approach and First Results. Organohalogen Compd. **66**, 864-868

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 Switzerland. Organohalogen Compd. **20**, 79-84

Rappe C., L.-O. Kjeller, S.-E. Kulp, C. de Wit, I. Hasselsten, and O. Palm (1991): Levels, Profile and Pattern of PCDDs and PCDFs in Samples Related to the Production and Use of Chlorine. Chemosphere 23, 1629-1636

Roots O. (2001): Persistent Organic Pollutants Control in Estonia, download CPS: envchem/0107003

Santl H., L. Gruber, and E. Stöhrer (1994a): Investigation on the Input, Formation and Fate of Polychlorinated Dibenzodioxins (PCDDs) and Dibenzofurans (PCDFs) in the Pulp and Paper Industry. Chemosphere **29**, 1987-1994

Santl H., A. Bichlmaier, L. Gruber, and E. Stöhrer (1994b): Mass Balance of Polychlorinated Dibenzofurans (PCDFs) and Polychlorinated Dibenzodioxins (PCDDs) in a Reczcling Paper Mill. Chemosphere **29**, 1633-1639

SAyDS (2004): Inventario nacional de liberaciones de dioxinas y furanos: Argentina – 2001. Ministerio de Salud, Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Buenos Aires, Argentina

SC BAT/BEP (2004): Draft Guidelines on Best Available Techniques and Provisional Guidance on Best Environmental Practices Relevant to Article 5 and Annex C of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. URL: 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, and T. Nussbaumer (1994): Dioxin Emissions from Wood Combustion. Chemosphere **29**, 2005-2013

Schleicher O., A.A. Jensen, T. Herrmann, O. Roots, and A. Tordik (2004a): Dioxin Emission from Two Oil Shale Fired Power Plants in Estonia. Organohalogen Compd. **66**, 1635-1641

Schleicher O., A.A. Jensen, O. Roots, T. Herrmann, and A. Tordik (2004b): Dioxin and PAH Emissions from a Shale Oil Processing Plant in Estonia. Organohalogen Compd. **66**, 1642-1648

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

SEAM (2003): Inventario nacional de liberaciones de dioxinas y furanos: Paraguay 2002. Secretaria del Medio Ambiente, Asunción, Paraguay, December 2003

She J. and H. Hagenmaier (1994): PCDDs and PCDFs with Chloralkali Pattern in Soil and Sludge Samples. Organohalogen Compd. **20**, 261-266

Smit A., T.H.P. Leuweink, A.L.J. van der Panne, W. Gebert, H. Lanzerstorfer, H. Riepl, and K. Hofstadler (1999): Reduction of Dioxin Emissions from Hoogovens Sinter Plant with the AIRFINE System. Organohalogen Compd. **40**, 441-444

Stringer R., P. Costner, and P.A. Johnston (1995): PVC Manufacture as a Source of PCDD/Fs. Organohalogen Compd. **24**, 119-123

Toolkit (2003): Standardized Toolkit for Identification and Quantification of Dioxin and Furan Releases, First edition, May 2003. PNUMA Productos Químicos, Geneva, http://www.pops.int/documents/guidance/

Toolkit (2001): Standardized Toolkit for Identification and Quantification of Dioxin and Furan Releases Draft. PNUMA Productos Químicos, Geneva, January 2001

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, Germany, June 1997

UBAVIE (2000): Stage of the Art in the Production of Secondary Aluminium with Regard to the IPPC-Directive. Zusammenfassung Monographien, Band 120, Umweltbundesamt Wien, Austria

Ullmann (1996): Chlorine - Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Vol. A 6, 399-481. VCH Verlagsgesellschaft mbH, D-6940 Weinheim, Germany

US-EPA (2004): Dioxin Data. Reports of PCDD/PCDF releases under TRI (Toxics Release Inventory). http://www.trifacts.org/dioxin_data/index.html

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 (1997a): Evaluation of Emissions from the Open Burning of Household Waste in Barrels - EPA/600/P-97/134a, Research Triangle Park, NC, USA

US-EPA (1997b): Sector Notebook Project Textile Industry. EPN3 10-R-97-009, EPA Office of Compliance Sector Notebook Project, September 1997

van Leeuwen F.X.R. and M. Younes (1998): WHO Revises the Tolerable Daily Intake (TDI) for Dioxins. Organohalogen Compd. **38**, 295-298

van Oss, H.G. (1997): Cement.
http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/cement/170497.pdf

Vikelsoe J. and E. Johansen (2000): Estimation of Dioxin Emissions from Fires in Chemicals. Chemosphere **40**, 165-175

WBCSD (2004): Draft - Formation and Release of POP's in the Cement Industry. World Business Council for Sustainable Development. Cement Sustainable Initiative, Geneva, Switzerland, 31 March 2004

WEC (2004): World Energy Council, London. Information on oil shale accessed in September 2004 at
http://www.worldenergy.org/wec-geis/publications/reports/ser/shale/shale.asp

Wichmann, H., W. Lorenz, and M. Bahadir (1995): Release of PCDD/F and PAH during Vehicle Fires in Traffic Tunnels. Chemosphere **31**, 2755-2766

Wong A.S., W.J. Luksemburg, M.M. Maier, H. Zhou, J. Gao, and Y. Xu (2004): Environmental Assessment of Dioxins in China: Current Status, Difficulties and Future Outlooks. Workshop on Environmental and Health Effects of Persistent Toxic Substances, Hong Kong Baptist University, Hong Kong, 16 November 2004

Wunderli S., M. Zennegg, I.S. Dolezal, D. Noger, and 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

Xu Y., Q. Zhanfg, W. Wu, and W. Li (2000): Patterns and Levels of PCDD/F in a Chinese Graphite Electrode Sludge. Chinese Science Bulletin **45**, 1471-1475

Zheng M.-H., Z.-C. Bao, B. Zhang, and X.-B. Xu (2001): Polychlorinated Dibenzo-*p*-dioxins and Dibenzofurans in Paper Making from a Pulp Mill in China. Chemosphere **44**, 1335-1337

Zheng M.-H., Z.-C. Bao, K.-O. Wang, and X.-B. Xu (1997): Levels of PCDDs and PCDFs in the Bleached Pulp from Chinese Pulp and Paper Industry. Bull. Environ. Contamin. Toxicol. **59**, 90-93Annema J.A., J.E.M. Beurskens, y C.W.M. Bodar (1995): Evaluation of PCB Fluxes in the Environment, RIVM, Bilthoven, The Netherlands

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. Estas hojas también están disponibles en archivos EXCEL que pueden utilizarse directamente para el cálculo de las liberaciones anuales *vía* todos los vectores.

En las siguientes Tablas (Tabla 80 a Tabla 4), 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 les al agua en la Categoría 9, las liberaciones anuales se estiman en base a los residuos generados. Para otras estimaciones, por ejemplo para las liberaciones de residuos y agua a partir de la industria de pulpa y papel, también la opción preferida podría ser calcular las liberaciones anuales en base al volumen descargado y la concentración en el agua o residuo, respectivamente.

Habrá que tener cuidado para evitar que no se cuente 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, tales como un vertido en aguas abiertas o descargas a plantas cloacales. Por consiguiente, deberá tenerse mucho cuidado en el momento de registrar los números, particularmente los correspondientes al sector 9.

En las Tablas 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.

Tabla 80: Factores de Emisión para la Categoría 1 – Incineración de Desechos

Cat.	Sub cat.	Clase	Subcategorías de fuentes	Vía posible de liberación (µg EQT/t)					
								Residuos	
				Aire	Agua	Tierra	Prod	Cenizas volantes	Cenizas deposit
1			**Incineración de desechos**						
	a		**Incineración de desechos sólidos municipales**						
		1	Tecnología simple de combustión, sin sistema CCA	3.500		NA	NA	0	75
		2	Combustión controlada, minimo SCCA	350		NA	NA	500	15
		3	Combustión controlada, buen SCCA	30		NA	NA	200	7
		4	Alta tecnologia combustión, SCCA sofisticado	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, minimo SCCA	350		NA	NA	900	
		3	Combustión controlada, buen SCCA	10		NA	NA	450	
		4	Alta tecnologia combustión, SCCA sofisticado	0,75		NA	NA	30	
	c		**Incineración de desechos médicos/hospitalarios**						
		1	Combustion en batch, no controlada sin SCCA	40.000		NA	NA		200
		2	Combustión controlada en batch, sin o minimo SCCA	3.000		NA	NA		20
		3	Combustión controlada en batch, buen SCCA	525		NA	NA	920	ND
		4	Alta tecnologia, continuo, SCCA sofisticado	1		NA	NA	150	
	d		**Incineración de desechos de fragmetacion, fraccion ligera**						
		1	Combustion en batch no controlada, sin SCCA	1.000		NA	NA	ND	ND
		2	Combustión controlada en batch, sin o mínimo SCCA	50		NA	NA	ND	ND
		3	Alta tecnologia continua, continua, SCCA sofisticado	1		NA	NA	150	
	e		**Incineración de lodos de alcantarilla**						
		1	Hornos antiguos, en batch, sin/escaso SCCA	50		NA	NA	23	
		2	Actualizado, continuo, algún SCCA	4		NA	NA	0,5	
		3	Estado del arte, SCCA completo	0,4		NA	NA	0,5	
	f		**Incineración de desechos de madera y de biomasa**						
		1	Hornos antiguos, en batch, sin/escaso SCCA	100		NA	NA	1.000	

		2	Actaualizado, continuo, algún SCCA	10		NA	NA	10	
		3	Estado del arte, SCCA completo	1		NA	NA	0,2	
	g		**Combustión de carcases de animales**						
		1	Hornos antiguos, en batch, sin/escaso SCCA	500		NA	NA		ND
		2	Actualizado, continuo, algún SCCA	50		NA	NA		ND
		3	Estado del arte, SCCA completo	5		NA	NA		ND

Tabla 81 Factores de Emisión para la Categoría 2 – Producción de Metales Ferrosos y No Ferrosos

Cat.	Subcat.	Clase	Subcategorías	Vía posible de liberación (µg EQT/t) Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos
2			**Producción de metales ferrosos y no ferrosos**					
	a		**Sinterización de mineral de hierro**					
		1	Alto reciclado de desechos, incl. materiales contaminados por aceite	20	ND	ND	ND	0,003
		2	Escaza utilizació de desechos, planta bien controlada	5	ND	ND	ND	0,003
		3	Alta tecnología, reducción de emisiones	0,3	ND	ND	ND	0,003
	b		**Producción de coque**					
		1	Sin limpieza del gas	3	0,06	ND	ND	ND
		2	postcombustión/retención del polvo	0,3	0,06	ND	ND	ND
	c		**Plantas de producción de hierro y acero y fundiciones.**					
			Plantas de hierro y acero					
		1	Chatarra sucia, 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, postcombustion, hornos HOB	0,1	ND	ND	NA	1,5
		4	Altos hornos con CCA	0,01	ND	ND	NA	ND
			Fundiciones					
		1	Cubilote de aire frío o tambor rotatorio sin SCCA	10	ND	ND	ND	ND
		2	Tambor rotatorio- filtro de tela	4,3	ND	ND	NA	0,2
		3	Cubilote de aire frío, filtro de tela	1	ND	ND	NA	8
		4	Cubilote de aire caliente u horno de inducción, filtro de tela	0,03	ND	ND	NA	0,5
			Plantas de galvanizado por inmersion en caliente					
		1	Instalaciones sin SCCA	0,06	NA	NA	NA	ND
		2	Instalaciones sin etapa de desengrasado, buen SCCA	0,05	NA	NA	NA	2.000
		3	Instalaciones con etapa de desengrasado, buen SCCA	0,02	NA	NA	NA	1.000
	d		**Producción de cobre**					
		1	Sec. Cu - tecnología básica	800	ND	NA	NA	630
		2	Sec. Cu - bien controlada	50	ND	NA	NA	630
		3	Sec. Cu - control óptimo de PCDD/PCDF	5	ND	NA	NA	300
		4	Fundición y moldeado de Cu/alecaciones de Cu	0,03	ND	NA	NA	ND
		5	Cu primario, bien controlado, con algunos materiales secundarios de alimentación	0,01	ND	NA	NA	ND
		6	fundiciones de cobre puro primario sin alimetnacion de secundarios	ND	ND	NA	NA	NA
	e		**Producción de alumino**					
		1	Procesamiento de chatarra de Al, tratamiento mínimo de material de entrada y simple retención del polvo	150	ND	NA	NA	200
		2	Tratamiento de la chatarra, bien comtrolado, buen SCCA	35	ND	NA	NA	400
		3	Tratamiento de chatarra, bien controlado, filtro de manga, inyeccion de cal	5	ND	NA	NA	100
		4	Proceso optimizado para el abatimiento de PCDD/PCDF	0,5	ND	NA	NA	100
		5	Secado de virutas, raspaduras (plantas simples)	5,0	NA	NA	NA	NA
		6	Desengrasado térmico, horno rotativos,postcombustión, filtros de manga	0,3	NA	NA	NA	NA
		7	Plantas de aluminio primario puro	ND	NA	NA	NA	ND
	f		**Producción de plomo**					

		1	Producción de Pb secundario a partir de chatarra, separadores de la bateria de PVC	80	ND	NA	NA	ND	
		2	Producción de plomo a partir de chatarra libre de PVC/Cl_2 algún SCCA	8	ND	NA	NA		5
		3	Producción de Pb a partir de chatarra libre de PVC/Cl_2 en hornos modernos, con depurador	0,5	ND	NA	NA	ND	
		4	Producción de plomo primario puro	0,5	ND	NA	NA	ND	
	g		**Producción de zinc**						
		1	Horno sin ningún control de polvo	1.000	ND	NA	NA	ND	
		2	Hornos de briquetado en caliente/rotativos, control básico	100	ND	NA	NA	ND	
		3	Control completo	5	ND	NA	NA	ND	
		4	Fundición (sólo)	0,3	ND	NA	NA	ND	
		5	Producción de zinc primario puro	ND	ND	NA	NA	ND	
	h		**Producción de bronce y de latón**						
		1	Eliminación térmica de aceites de las virutas	2,5	NA	NA	NA	NA	
		2	Hornos de fundición simples	10		NA	NA	ND	
		3	Chatarra mezclada, horno de inducción, filtro de mangas	10	ND	NA	NA		125
		4	Equipamiento sofisticado, ingresoso limpios, buen SCCA	0,1	ND	NA	NA	ND	
	I		**Producción de magnesio**						
		1	Producción mediante termotratamiento de MgO/C en Cl_2; sin tratamiento del efluente, deficiente SCCA	250	9.000	NA	ND		0
		2	Producción mediante de MgO/C en Cl_2, control completa de la contaminación	50	24	NA	ND		9.000
		3	proceso de reducción térmica	3	ND	NA	NA	ND	
	j		**Producción térmica de metales no ferrosos, ej.:Ni**						
		1	Chatarra contaminada, simple o ningún SCCA	100	ND	ND	ND	ND	
		2	Chatarra limpia, buen SCCA	2	ND	ND	ND	ND	
	l		**Fragmentadora**						
		1	Plantas de fragmentación de metales	0,2	NA	NA	ND	ND	
	m		**Recuperación térmica de cables de cobre**						
		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	

Table 82: Factores de Emisión para la Categoría 3 – Generación de Energía y Calor

			Subcategorías	Vía posible de liberación (µg EQT/TJ)				
Cat.	Sub cat.	Clase		Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos
3			**Generación de energía y calefacción**					
	a		**Centrales eléctricas de combustibles fósiles**					
		1	Calderas de energía que queman conjuntamente desechos/combustible fósil	35	ND	NA	NA	ND
		2	Calderas de energía que queman carbón	10	ND	NA	NA	14
		3	Calderas de energía que queman aceite pesado	2,5	ND	NA	NA	ND
		4	Centrales electricas que queman esquistos bituminosos	1,5	ND	NA	NA	ND
		5	Calderas de energía que queman aceite ligero/ gas natural	0,5	ND	NA	NA	ND
	b		**Centrales eléctricas de biomasa**					
		1	Calderas alimentadas por biomasa mezclada	500	ND	NA	NA	ND
		2	Calderas alimentadas por madera limpia	50	ND	NA	NA	15
	c		**Combustión de gas de rellenamientos y biogas**					
		1	Calderas que queman gas de relleno/biogas, motores/turbinas, quema con llama	8	ND	NA	NA	NA
	d		**Combustión de biomasa para uso doméstico (calefacción, cocina)**					ng TEQ/kg cenizas
		1	Estufas alimentadas por madera contaminada/biomasa	1.500	ND	NA	NA	1.000
		2	Estufas alimentadas por madera virgen/biomasa	100	ND	NA	NA	10
	e		**Calefacción doméstica- combustibles fósiles**					ng TEQ/kg Cenizas
		1	Estufas que queman carbón con alto contenido de cloro	15.000	ND	NA	NA	30.000
		2	estufas que queman carbón	100	ND	NA	NA	5.000
		3	Estufas que queman petróleo	10	ND	NA	NA	NA
		4	Estufas que queman gas natural	1,5	ND	NA	NA	NA

Tabla 23: Factores de emisión para la Categoría 4 – Producción de Productos Minerales

			Subcategorías	Vía posible de liberación (µg EQT/t)				
Cat.	Subcat.	Clase		Aire	Agua	Tierra	Prod	Residuos
4			**Producción de productos minerales**					
	a		**Hornos de cemento**					
		1	Hornos de columna vertical	5	NA	NA	ND	ND
		2	Hornos antiguos húmedos, temperatura del PES>300 °C	5	NA	ND	ND	NA
		3	Hornos húmedos, temperatura PES/FT de 200 a 300 ºC	0,6	NA	ND	ND	NA
		4	Hornos hímedos, temperatura de PES/FT < 200 ºC y todos los tipos de hornos secos con precalcinador/precalentador, temperatura < 200 ºC	0,05	NA	ND	ND	NA
	b		**Cal**					
		1	Ciclón/sin control de polvo, combustibles deficientes o contaminados	10	ND	ND	ND	ND
		2	Buena retención de polvo	0,07	ND	ND	ND	ND
	c		**Ladrillos**					
		1	Ciclón/sin control de polvo, combustibles deficientes o contaminados	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, combustibles deficientes o contaminados	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, combustibles deficientes o contaminados	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
	g		**Procesamiento de esquistos bituminosos**					
		1	Fraccionamiento térmico	ND	ND	ND	ND	ND
		2	Pirólisis de esquistos bituminosos	0,003	NA	ND	0,07	2

Tabla 84: Factores de Emisión para la Categoría 5 – Transporte

			Subcategorías	Vía posible de liberación (µg EQT/t)				
Cat.	Subcat.	Clase		Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos
5			**Transportes**					
	a		**Motores de 4 tiempos**					
		1	Combustible con plomo	2,2	NA	NA	NA	NA
		2	Combustible sin plomo, sin catalizador	0,1	NA	NA	NA	NA
		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	NA
		2	Combustible sin plomo, sin catalizador	2,5	NA	NA	NA	NA
	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

Tabla 85: Factores de Emisión para la Categoría 6 – Procesos de Quema a cielo abierto

			Subcategorías	Vía posible de liberación (µg EQT/t)				
Cat.	Subc	Clase		Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos
6	**6**		**Procesos de combustión incontrolada**					
	a		**Quemas/fuegos-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 (en el campo), impactados, condiciones deficientes de combustión	30	ND	10	NA	ND
		4	quema de residuos agrícolas (en el campo), no impactados	0,5	ND	10	NA	ND
	b		**Incendios, quema de desechos, incendios de rellenos, incendios industriales, incendios accidentales**					
		1	Incendios de rellenos	1.000	ND	NA	NA	600
		2	Incendios accidentales de viviendas, fábricas	400	ND	400	NA	400
		3	Quema no controloda de desechos domésticos	300	ND	600	NA	600
		4	Incendios accidentales de vehículos (por vehículo)	94	ND	18	NA	18
		5	Quema de madera a cielo abierto (construcción/demolición)	60	ND	10	NA	10

Tabla 86: Factores de Emisión para la Categoría 7 – Producción y Uso de Sustancias Químicas y Bienes de Consumo

			Subcategorías	Vía posible de liberación (µg EQT/t)				
Cat.	Subcat.	Clase		Aire	Aqua	Tierra	Productos	Residuos
7			**Producción de químicos, bienes de consumo**					
	a		**Fábricas de pulpa y papel***					
			Calderas (per tonelada de pulpa)					
		1	Calderas de licor negro, quema de lodos y madera	0,07				NA
		2	Calderas de cortezas solamente	0,2				50
			Descargas acuosas y productos					
		1	Proceso Kraft, gas cloro, fibras no madera,impactadas		ND		30	ND
		2	Proceso kraft, antigua tecnología (Cl_2)		4,5		8	4,5
		3	Proceso kraft, tecnología mixta		1		3	1,5
		4	Papeles/pastas al sulfito, antigua tecnología		ND		1	ND
		5	Proceso Kraft, moderna tecnología (CLO2)		0,06		0,5	0,2
		6	Papel al sulfito, nueva tecnología (CLO2, TLC)		ND		0,1	ND
		7	Pasta reciclada		ND		1,0	ND
		8	Papeles reciclados provenientes de desechos de papel contaminados		ND		10	
		9	Papeles/pulpas recicladas de papeles modernos		ND		3	ND
	b		**Industria química**					
			Pentaclorofenol (PCP)					
		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	
			Bifenilos policlorados (PCB)					
		1	Poco clorado, como Clophen A30, Aroclor 1242				15.000	
		2	Clorado medio, como Clophen A40, Aroclor 1248				70.000	
		3	Clorado medio, como Clophen A50, Aroclor 1254				300.000	
		4	Muy clorado, como Clophen A60, Aroclor 1260				1.500.000	
			Plaguicidas clorados					
		1	Acido, 2,4,5-triclorofenoxiacético (2,4,5-T), puro				7.000	
		2	2,4,6-triclorofenol (2,4,6-PCPh)				700	
		3	Diclorprop				1.000	
		4	Acético, 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D)				700	
		5	Eter, 2,4,6-trichlorofenil-4'-nitrofenilo (CNP = cloronitrofen)					
			Antiguo tecnología				300.000	
			Nueva tecnología				400	
			Cloranilo					
		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	
			Clorobencenos					
		1	p-diclorobencenos	ND	NA	NA	39	ND

		2	o-diclorobencenos	ND	NA	NA	0	ND
		3	1,2,4-triclorobenceno	ND	NA	NA	0	3.000
			Producción de cloro/cloroalcali					
			Producción de cloroalcali usando ánodos de grafito	NA	NA	NA	NA	1.000
			ECD/VCM/PVC					
		1	Antigua tecnología, EDC/VCM/PVC		1	NA		ND
			Plantas modernas, EDC/VCM y/o					
		2	EDC/VCM/PVCEDC/VC	0,4	0,5	NA	0,03	10
		3	PVC solamente	0,0003	0,03	NA	0,1	0,2
	c		**Refinerías de petroleo**					
		1	Todos tipos (antorchas) (µg EQT/TJ)**	8	NA	NA	NA	ND
	d		**Plantas textiles**	Air	Aqua	Tierra	Productos	Residuos
		1	Límite superior	NA	ND	NA	100	ND
		2	Límite inferior	NA	ND	NA	0,1	ND
	e		**Plantas de cuero**					
		1	Límite superior	NA	ND	NA	1.000	ND
		2	Límite inferior	NA	ND	NA	10	ND

Tabla 87: Factores de Emisión para la Categoría 8 – Misceláneos

			Subcategorías	Vía posible de liberación (µg EQT/t)				
Cat	Subcat.	Clase		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	Biomasa tratada con PCP o de otra manera	10	NA	ND	0,5	ND
	b		**Crematorios**					
		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**					
		1	Combustión de madera tratada, comb. de desechos	50	NA	ND	ND	2.000
		2	Combustible limpio, sin postcombustión	6	NA	ND	ND	20
		3	Combustible limpio, con postcombustión	0,6	NA	ND	ND	20
	d		**Residuos de limpieza a 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

Tabla 3 Factores de Emisión para la Categoría 9 – Disposición final/ Rellenamiento

Cat	Subcat.	Clase	Subcategorías	Vía posible de liberación (µg EQT/t)				
				Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos
	a		**Lixiviado de rellenos**					
		1	Desechos peligrosos *	NA	0,2	NA	NA	50
		2	Desechos no peligrosos *	NA	0,03	NA	NA	6
	b		**Aguas cloacales y su tratamiento**					
		1	Industriales, domésticas mezclada con posibilidad de cloro	NA				
			Sin evacuación de lodo	NA	0,005	NA	NA	1.000
			Con evacuación de lodo	NA	0,0005	NA	NA	1.000
		2	Ambiento urbano	NA				
			Sin evacuación de lodo	NA	0,002	NA	NA	100
			Con evacuación de lodo	NA	0,0005	NA	NA	100
		3	Plantas de tratamiento remotas y residenciales o modernas	NA	0,0001	NA	NA	10
	c		**Vertido al agua**					
		1	Ingresos de domésticos e industriales mezclados	NA	0,005	NA	NA	NA
		2	Ambientes urbanos	NA	0,0002	NA	NA	NA
		3	Ambientes remotos o con control de ingreso	NA	0,0001	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		**Eliminación de desechos de aceites**					
		1	Todas las fracciones	ND	ND	ND	ND	ND

Tabla 4: Factores de Emisión para Categoría 10- Identificación de puntos Calientes

			Subcategorías	
Cat.	Subcat.	Clase		Productos (µg EQT/t)
10			**Identificatión de puntos calientes**	
	a		**Sitios de producción de orgánicos clorados**	
		1	Clorofenoles y derivados de PCB	
		2	Otras sustancias orgánicas cloradas	
	b		**Sitios de producción de cloro**	
		1	Con electrodos de grafito	
		2	Sin electrodos de grafito	
	c		**Preparación de plaguicidas/fenoles clorados**	
	d		**Lugares de aplicación de plaguicidas contaminados con dioxina**	
	e		**Fabricaciones de madera**	
		1	Con uso de pentaclorofenol, otros conservadores que contienen dioxina	
		2	Sin uso de PCP, no abiertos al medio ambiente	
	f		**Equipos eléctricos que contienen PCB**	
			Poco clorado, como Clophen A30, Aroclor 1242	15.000
			Clorado medio, como Clophen A40, Aroclor 1248	70.000
			Clorado medio, como Clophen A50, Aroclor 1254	300.000
			Muy clorado, como Clophen A60, Aroclor 1260	1.500.000
		1	Con derrames	
		2	Sin derrames	
	g		**Vertidos de desechos/residuos de categorías 1-9**	
	h		**Lugares de accidentes importantes**	
	i		**Dragado de sedimentos**	

9 ANEXO 2: CUESTIONARIOS

Este Capítulo presenta los cuestionarios modelo, que se pueden utilizar para compilar datos específicos de planta, proceso o 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 utilizarlos.

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 Fragmentos livianos	[ ] [ ] [ ] [ ]
	Lodos cloacales	[ ]
	Desechos de madera y de biomasa	[ ]
	Carcasas de animales	[ ]
Nombre de la Planta		
Ubicación (Ciudad/Provincia)		
Dirección		
Contacto (nombre, apellido, teléfono, fax, etc.)		
Número de hornos		
Tipo de operación	Batch (Ej. 100 kg por batch) Semicontinuo (Ej. 8 horas por día) Continuo (24 horas por día)	[ ] [ ] [ ]
Operación anual/Capacidad (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) t/a (toneladas por año)	
Operación anual/Capacidad (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) t/a (toneladas por año)	
Tipo de horno	Pantalla de agua, quema en masa (reja) Lecho fluidizado Con cargador Horno rotativo Otro (especifique por favor)	
Temperatura en el horno	Horno principal (°C) : Postquemador/segunda cámara (°C):	
Tipo de sistema de control de la contaminación del aire (SCCA)	Precipitador electrostático Ciclón Filtro de manga Depurador húmedo Depurador seco Inyección de cal Inyección de álcalis/NaOH Carbón activado/inyección de Coque 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 la salida	(m^3/h) (gas seco)	

Residuos		Disposición 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 [ ]	Disposición	
Generación de lodos (como materia seca)	t/a [ ]	Recirculación [ ]	Relleno [ ]

Evaluación y clasificación final (a completar por el evaluador de los datos)

	Factor de emisión (µg EQT/t)				
Clase	**Aire**	**Agua**	**Tierra**	**Producto**	**Residuos**
	Liberación anual (g EQT/a)				
Actividad anual (t/a)	**Aire**	**Agua**	**Tierra**	**Producto**	**Residuos**

Cuestionario 2: Categoría 2 - Producción de metales ferrosos y no ferrosos

Tipo de Planta	Sinterizado		[ ]		
	Coque		[ ]		
	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		[ ]		
	Otros	Primario	[ ]	Secundario	[ ]

Dirección	
Contacto	
(Nombre, posición, número de teléfono y fax, Correo electrónico)	

Número de hornos		
Tipo de operación	Por batch (p.ej. 100 kg por batch) Semi-continuo (p.ej. 8 horas por día) Continuo (24 horas por día)	[ ] [ ] [ ]
Operación anual/Capacidad (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)	
Operación anual/Capacidad (total)	t/h (toneladas por hora) h/d (horas por día) d/s (días por semana) t/d (tons por 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 Rotativo Reverberatorio Otros (por favor especificar)	

Temperatura en el Horno	Horno Principal (°C)	
	Cámara Secundaria /postquemador (°C)	
Combustible primario	Tipo	t/a
Combustible secundario/ alternativo	Tipo	t/a ó %

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 Coque	[ ]
	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 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	**Aire**	**Agua**	**Tierra**	**Producto**	**Residuos**
	Liberación anual (g EQT/a)				
Actividad anual (t/a)	**Aire**	**Agua**	**Tierra**	**Producto**	**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	[ ]
	Fuel oil	
	Gas de terraplén	[ ]
	Gas de alcantarilla	[ ]
	Biomasa (por favor, especificar)	[ ]
	Unidades industriales de combustión (pequeñas) y unidades de calefacción y coina doméstica	
	Carbón (por favor, especificar)	[ ]
	Lignito	[ ]
	Carbón bituminoso	[ ]
	Antracita	[ ]
	Otros	[ ]
	Madera virgen	[ ]
	Combustión de otros tipos de biomasa	[ ]
	Caña de azúcar	
	Tapioca	
	Algodón	[ ]
	Bambú	[ ]
	Banana	[ ]
	Residuos de cosecha	[ ]
	Otros (por favor especificar)	[ ]
	Fuel oils	[ ]
	Otros, por favor especificar	[ ]
Dirección		
Contacto (Nombre, posición, número de teléfono y fax, Correo electrónico)		
Números de hornos/calderas		
Tipo de operación	En batch (p.ej. 100 kg por batch)	[ ]
	Semi-continuo (p.ej. 8 horas por día)	[ ]
	Continuo (24 horas por día)	[ ]
Operación anual/Capacidad (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/d (Terajoule por día)	
	d/a (días por año)	
	h/a (horas por año)	
	t/a (toneladas por año) ó TJ/a (Terajoule por año)	
Operación anual/Capacidad	d/a (días por año)	
	h/a (horas por año)	

(total)	TJ/a (Terajoule por año)	
Tipo de horno/ combustor	Caldera	
	Calefactor de proceso	
	Venteo con llama	
	Turbina (gas interno)	
	Motor de combustión (interno)	
	Otro (por favor especificar)	

Temperatura en el horno	Horno Principal(°C)	
	Cámara Secondaria/postquemador (°C)	
Tipo del Sistema de Control de Abatimiento de Contaminación (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)

	Factor de emisión (µg EQT/t)				
	Aire	**Agua**	**Tierra**	**Producto**	**Residuos**
	Liberación anual (g EQT/a)				
Actividad anual (t/a)	**Aire**	**Agua**	**Tierra**	**Producto**	**Residuos**

Cuestionario 4: Categoría 4 – Produción 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	En batch (p.ej. 100 kg en batch) Semi-continuo (p.ej. 8 horas por día) Continuo (24 horas por día)	[ ] [ ] [ ]
Operación anual/Capacidad (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)	
Operación anual/Capacidad (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 rotativo 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	[ ]
	Ciclón	[ ]
	Filtro de mangas	[ ]
	Depurador húmedo	[ ]
	Depurador seco	[ ]
	Inyección de cal	[ ]
	Inyección de NaOH/álcali	[ ]
	Inyección de Carbón activado/cok	[ ]
	Filtro de carbón activado	[ ]
	Convertidor catalítico (SCR)	[ ]
	Ventilador de tiro inducido o forzado	[ ]
	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) [ ]

Evaluación y clasificación final (a completar por el evaluador de los datos)

	Factor de emisión (µg EQT/t)				
Clase	**Aire**	**Agua**	**Tierra**	**Producto**	**Residuos**
	Liberación anual (g EQT/a)				
Actividad anual (t/a)	**Aire**	**Agua**	**Tierra**	**Producto**	**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 annual 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)

	Factor de emisión (µg EQT/t)				
Clase	**Aire**	**Agua**	**Tierra**	**Producto**	**Residuos**
	Liberación anual (g EQT/a)				
Actividad anual (t/a)	**Aire**	**Agua**	**Tierra**	**Producto**	**Residuos**

SCCA: significa catalizador para gasolina y remoción de particulado para diesel

Cuestionario 6: Categoría 6 - Procesos de quema a cielo abierto

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)		Area 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						
Toneladas de desechos generadas	Per capita y día		Per capita y año		Nacional por año (t)	
Tipo de fuente	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 en 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)

	Factor de emisión (µg EQT/t)				
Clase	**Aire**	**Agua**	**Tierra**	**Producto**	**Residuos**
	Liberación anual (g EQT/a)				
Actividad anual (t/a)	**Aire**	**Agua**	**Tierra**	**Producto**	**Residuos**

Cuestionarios 7: Categoría 7 – Producción y uso de productos químicos y bienes de consumo (liberaciones al aire y al agua)

Industria química: Tipo de planta	Industria de pulpa/pasta y papel: Pulpa Industria de pulpa/pasta y papel: Papel (primario o reciclado) Pulpa y papel - integrados Producción de organoclorados Dicloruro de etileno PVC Pesticidas (PCP, 2,4,5-T, 2,4-D) Producción de gas cloro (electrodos de grafito) Producción de inorgánicos clorados	[ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ]
	Refinerías de la industria de petróleo	[ ]
Dirección		
Contacto (Nombre, posición, teléfono y número de fax, e-mail)		
Capacidad: Consumo de materias primas (tipo, cantidad = t/a)		
Blanqueado	Químico (Si/No) Secuencia(s) de blanqueado	
Capacidad: Producto final o Materias primas (tipo, cantidad = t/a)		
Tipo de proceso	Lecho fijo Lecho fluidizado Otro	[ ] [ ] [ ]
Tipo de operación	Batch (Ej. 100 kg por batch) Semi-continuo (Ej. 8 horas por día) Continuo (24 horas por día)	[ ] [ ] [ ]
Operación anual/Capacidad (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)	
Operación anual/Capacidad (total)	t/h (toneladas por hora) h/d (horas por día) d/w (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, m³/a)		

Tratamiento de agua	Estanque de sedimentación Laguna aireada Tratamiento secundario Tratamiento terciario Otros (por favor especificar)	[ ] [ ] [ ] [ ] [ ]
Generación de lodos	t/a (toneladas por año)	
Disposición de lodos	Relleno (t/a) Laboreo orgánico ("landfarming") (t/a) In situ (t/a) Incineración (t/a) Otros (por favor especificar) (t/a)	
Tipo de Sistema de Control de la Contaminación del Aire (SCCA)	Precipitador electrostático Ciclón Filtro de mangas Depurador húmedo Depurador seco Inyección de cal NaOH/inyección de álcali Carbón activado/inyeción de coque Filtro de carbón activado Convertidor catalítico (SCR) Extractor por corriente forzada o inducida Otro (por favor especificar) Ninguno	[ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ]
Temperatura de los gases	A la entrada del SCCA (ºC) [ ]	A la salida del SCCA (°C) [ ]
Flujo de gases de salida	(m³/h) (gas seco)	

Evaluación y clasificación final (a completar por el evaluador de los datos)

	Factor de emisión (µg EQT/t)				
Clase	**Aire**	**Agua**	**Tierra**	**Producto**	**Residuos**
	Liberación anual (g EQT/a)				
Actividad anual (t/a)	**Aire**	**Agua**	**Tierra**	**Producto**	**Residuos**

10 ANEXO 3: PRESENTACIÓN DE LOS INVENTARIOS

	Factor de emisión (µg EQT/t)				
Clase	**Aire**	**Agua**	**Tierra**	**Producto**	**Residuos**
	Liberación anual (g EQT/a)				
Actividad anual (t/a)	**Aire**	**Agua**	**Tierra**	**Producto**	**Residuos**

10 ANEXO 3: PRESENTACIÓN DE LOS INVENTARIOS

10.1 Ejemplos de Tablas para el Inventario

En la Tabla 50 se da un ejemplo con números completados en hoja EXCEL y con los datos sobre liberaciones anuales generados en la hoja distribuida. Este ejemplo es tomado del inventario de liberaciones de Paraguay para la Categoría 6 (SEAM 2003). Cuando se aplica el Instrumental y sus factores de emisión, el país sólo tiene que entrar el dato de la actividad en la columna azul "Producción/año" y la liberación anual es calculada automáticamente.

Tabla 50: Ejemplo de la Hoja de EXCEL que muestra los datos de entrada y salida para las liberaciones al aire, agua, Tierra, en productos y residuos para la Categoría 6 (procedente de SEAM 2003)

			Subcategorías	Vía posible de liberación (µg EQT/t)						Liberación anual				
Cat	Sub.	Clas		Aire	Agua	Tierra	Prod.	Resid.	Producc.	gEQT/a	gEQT/a	gEQT/a	gEQT/a	gEQT/a
6			**Procesos de combustión incontrolada**						t/a	Aire	Agua	Tierr	Prod.	Resid
	a		**Quemas/fuegos-biomasa**						932.748	22,413	0	8,504	0	0
		1	Incendios forestales	5	ND	4	NA	ND	259.440	1,297		1,038		
		2	Incendios de praderas y brezos	5	ND	4	NA	ND	183.233	0,916		0,733		
		3	Quema de residuos agrícolas (en el campo), no impactados	0,5	ND	10	NA	ND		0,000		0,000		
		4	Quema de residuos agrícolas (en el campo), impactados, condiciones deficientes de combustión	30	ND	10	NA	ND	673.308	20,199		6,733		
	b		**Incendios, quema de desechos, incendios de rellenos, incendios industriales, incendios accidentales**						48.478	14,879	0	0,000	0	28,584
		1	Incendios de rellenos	1.000	ND	NA	NA	600	1	0,001				
		2	Incendios accidentales de viviendas, fábricas	400	ND	400	NA	400	2.515	1,006				1,006
		3	Quema no controloda de desechos domésticos	300	ND	600	NA	600	45.963	13,789				27,578
		4	Incendios accidentales de vehículos (por vehículo)	94	ND	18	NA	18	887	0,083				0,016
		5	Quema de madera a cielo abierto (construcción/demolición)	60	ND	10	NA	10		0,000				0,000
										37,291	0	8,504	0	28,584

Cuando las nueve hojas de EXCEL para las nueve Categorías cuantificables son completadas con la información disponible de la actividad, se genera una tabla resumida para mostrar todas las liberaciones de las nueve categorías agregadas y para todos los vectores de liberación. La Tabla da un ejemplo del Paraguay (SEAM 2003)

Tabla 91: Ejemplo de inventario nacional de liberaciones de PCDD/PCDF (Paraguay, procedente de SEAM 2003)

Cat.	Categoría de Fuente	Liberaciones anuales (g EQT/a)				
		Aire	Agua	Tierra	Producto	Residuo
1	Incineración de desechos	3,50	0	0	0	0,023
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	1,52	0,03	0	0	0
3	Generación de energia y calefacción	3,10	0	0	0	0,6
4	Producción de productos minerales	1,07	0	0	0	0,06
5	Transportes	0,37	0	0	0	0
6	Procesos de combustión no controlados	61,1	0	8,50	0	76,2
7	Producción y uso de sustancias quimicas y bienes de consumo	0	0	0	0,0002	
8	Varios	0,03	0	0	0,221	0
9	Vertederos (de basura)/gestión de desechos	0	0,17	0	0	0
1-9	**Total**	**70,7**	**0,2**	**8,5**	**0,22**	**76,3**
	Total General	**156**				

10.2 Inventarios Nacionales de PCDD/PCDF realizados mediante el Instrumental

Desde la presentación del Instrumental BORRADOR en enero de 2001, la metodología del Instrumental se ha aplicado en muchos países, y se espera recibir más. Para consideración en cuenta en estos nuevos inventarios, el PNUMA Productos químicos está presentando una publicación de inventarios nacionales de dioxinas y furanos para actualizar el informe 1999 "Inventarios de Dioxinas y Furanos, Emisiones Nacionales y Regionales de PCDD/F" (PNUMA 1999). Aquí sólo listamos algunos de los inventarios nacionales de liberaciones que se han preparado con el Instrumental. La lista incluye ejemplos de países desarrollados y en vías de desarrollo. Una vista general de estos, disponibles para consulta se muestran en la

Tabla 92: Inventarios de liberaciones de PCDD/PCDF hechos con el Instrumental

País	**Referencias**
Argentina	SAyDS 2004
Australia	DEH 2004
Brunei Darussalam	DEPR 2003; en PNUMA 2003b
Camboya	*En*: PNUMA 2004a
Chile	*En:* PNUMA/GTZ/CONAMA 2004
Cuba	CITMA-CIGEA 2004
Ecuador	*En*: PNUMA/GTZ/CONAMA 2004
Estonia	Lassen *et al.* 2003
Nuevos Estados Miembros UE	Quass *et al.* 2004
Jordania	MoE Jordan 2003; e*n* PNUMA 2003b
Latvia	Lassen *et al.* 2003
Líbano	MoE 2003; e*n* PNUMA 2003b
Lituania	Lassen *et al.* 2003
Mauricius	PNUMA 2004b
Paraguay	SEAM 2003
Filipinas	ITDI 2003; *en* PNUMA 2003b
Polonia	Lassen *et al.* 2003
Sri Lanka	*En* PNUMA 2004a
Tailandia	PCD 2002; *en* PNUMA/PCD/BMZ/BMU/UBA/GTZ (2002)
Uruguay	DINAMA 2002
Vietnam	NEA 2003; *en* PNUMA 2003b
Zambia	PNUMA 2004b

11 ANEXOS TÉCNICOS

11.1 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 idea de los FET tiene sus limitaciones debido a númerosas simplificaciones. Aunque la base científica no puede considerarse sólida, la idea de los FET se ha desarrollado como instrumento administrativo y permite convertir datos analíticos cuantitativos de congéneres individuales de PCDD/PCDF en un solo Equivalente de toxicidad (EQT). Los FET son particularmente útiles para expresar la toxicidad acumulativa de mezclas complejas de PCDD/PCDF con un solo valor de EQT. Debe advertirse que los FET son valores provisionales e instrumentos administrativos para hacer estimaciones de orden de magnitud. Se basan en el estado actual de los conocimientos y deberán ser revisados a medida que vayan obteniéndose nuevos datos.

En la actualidad están en uso dos 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 Tabla 93. Aquí se muestran solamente los FET para la evaluación del riesgo de seres humanos y mamíferos, y 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).

Tabla 93:: Factores de Equivalencia de Toxicidad (FET) – comparación entre los dos esquemas más frecuentemente utilizados

Congénere	FET-I	OMS-FET
2,3,7,8-Cl_4DD	1	1
1,2,3,7,8-Cl_5DD	0,5	**1**
1,2,3,4,7,8-Cl_6DD	0,1	0,1
1,2,3,7,8,9-Cl_6DD	0,1	0,1
1,2,3,6,7,8-Cl_6DD	0,1	0,1
1,2,3,4,6,7,8-Cl_7DD	0,01	0,01
Cl_8DD	0,001	**0,0001**
2,3,7,8-Cl_4DF	0,1	0,1
1,2,3,7,8-Cl_5DF	0,05	0,05
2,3,4,7,8-Cl_5DF	0,5	0,5
1,2,3,4,7,8-Cl_6DF	0,1	0,1
1,2,3,7,8,9-Cl_6DF	0,1	0,1
1,2,3,6,7,8-Cl_6DF	0,1	0,1
2,3,4,6,7,8-Cl_6DF	0,1	0,1
1,2,3,4,6,7,8-Cl_7DF	0,01	0,01
1,2,3,4,7,8,9-Cl_7DF	0,01	0,01
Cl_8DF	0,001	**0,0001**

A ninguno de los congéneres no 2,3,7,8-sustituidos 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.

11.2 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 0ºC 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 25ºC, 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 estándard o dioxido de carbono en los gases de combustión en los gases de combustión, generalmente 7 % oxígeno y 12 % de dióxido de carbón.

11.3 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) y no a la masa de 1 tonelada de material de entrada. En ciertos casos sólo se dispondrá de datos de consumo por masa y por ello se han preparado las siguientes tablas que dan una lista indicativa de masas (en kg) en relación con su producción calórica (en MJ).

Tabla 94: 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 bituminoso, Polonia	20,5-30,5 MJ/kg
Carbón subbituminoso, España	16–17 MJ/kg
Carbón subbituminoso, Croacia	13–15 MJ/kg
Carbón subbituminoso, Turquía	12–14 MJ/kg
Lignito/carbón marrón, Alemania (Central)	10–12 MJ/kg
Lignito/carbón marrón, República Checa	9–11 MJ/kg
Lignito/carbón marrón, Alemania (Occidental)	8–10 MJ/kg
Lignito/carbón marrón, Australia	8–9 MJ/kg
Lignito/carbón marrón, Alemania (Oriental)	7–9 MJ/kg
Lignito/carbón marrón, Grecia	4–6 MJ/kg

Tabla 95: Valores calóricos del coque

Tipo de coque	Valor calórico
Coque expandido de la República Checa	31–32 MJ/kg
Coque de antracita, Alemania	28–30 MJ/kg
Coque de lignito, Alemania	27–28 MJ/kg
Coque esponjoso, Alemania	23–25 MJ/kg

Tabla 96: 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
Esquisto bituminoso (de Estonia)	8-10 MJ/kg

Tabla 97: 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

Tabla 98: 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

Tabla 99: Valores calóricos de la biomasa

Tipo de biomasa	Valor calórico
Cáscaras de coco	17–19 MJ/kg
Cáscaras de almendra	17–19 MJ/kg
“pellets” (partículas esféricas) 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

Para convertir unidades de energía y potencia, existen las siguientes correlaciones:

Tabla 100: Correlaciones seleccionadas para unidades de energía y potencia

Energía		Corresponde a	
Watt hora (Wh)	1	3.600	Joule (J)
	1	3,6	Kilojoule (kJ)
	1	0,0036	Megajoule (MJ)
kilowatt hora (kWh)	1	3.600.000	Joule (J)
	1	3.600	Kilojoule (kJ)
	1	3,6	Megajoule (MJ)
	1	$3{,}6 \cdot 10^{-6}$	Terajoule (TJ)
Gigawatt hora (GWh)	1	3,6	Terajoule (TJ)
Terajoule (TJ)	1	277.777,7	Kilowatt hora (kWh)
Potencia			
Watt (W)	1	1	Joule por segundo (J/s)
	1	60	Joule por minuto (J/min)
	1	3.600	Joule por hora (J/h)
Megawatto (MW)	1	1.000.000	Joule por segundo (J/s)

Tabla 101: Factores de conversión y equivalentes de energía seleccionados para la Categoría 3

WEC* Unidades de Energía Estándar	igual a	
1 tonelada equivalente de petróleo (tep) **		42 GJ (valores caloríficos neto)
1 tonelada equivalente de carbón (tec)		29,3 GJ (valor calorífico neto)
Factores de Conversión Promedio Representativos		
1 tonelada de gas natural líquido		45 GJ (valor calorífico neto)
1.000 metros cúbicos estándard de gas natural		36 GJ (valor calorífico neto)
1 tonelada de turba		0,2275 tep
1 tonelada de combustible de leña		0,3215 tec
1 kWh (equivalente de energía primaria)		9,36 MJ
Electricidad		
1 kWh de electricidad generada		3,6 MJ

* Consejo Mundial de Energía ("World Energy Council")

** la tonelada de petróleo equivalente empleada habitualmente por la Agencia de Energía Internacional y la División de Estadísticas de las Naciones Unidas se define como 107 kilocalorías, valor calórico neto (equivalente a 41,868 GJ)

11.4 Factores de Conversión de Combustibles Líquidos y Gaseosos – Para las Categorías Principales 3 y 5

Con frecuencia los números sobre consumo de nafta/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 (m^3). 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 nafta/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 m^3 de gas natural tiene una masa de 0,77 a 0,85 kg; con un promedio de 0,8 kg; por consiguiente, para convertir m^3 de gas natural en toneladas se utilizará un factor de conversión de 0,0008; para convertir litros de gas natural en toneladas se utilizará un factor de conversión de 0,0000008;

1 m^3 de GLP (mezcla de propano y butano) tiene una masa de unos 2 kg; por consiguiente, para convertir m^3 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.

11.5 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 la Tabla 102.

Tabla 102: Símbolos utilizados en las etapas de blanqueo

(Blanqueo) químico	Fórmula química	Letra de código
Hidróxido sódico	NaOH	E
Etapa de extracción con hidróxido sódico y adición ulterior de oxígeno gaseoso o peróxido de hidrógeno como agente de refuerzo		Eo, Ep ó 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_2O_2	P
Dióxido de azufre	SO_2	S
Acido sulfúrico	H_2SO_4	A
Acido etildiaminotetraacético (fase ácida para retirar metales)	EDTA	Q
Etapa 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 han sido 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 brillantez, 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 deslignificación por oxígeno, generalmente seguida de secuencias de blanqueo como las siguientes (plantas de CLE):
D-E-D-E-D D-EOP-D-E-D
D-E-D-D QP-DQ-PO

Según sean las demandas del mercado, algunas fábricas que utilizan el CLE tienen la posibilidad de producir pasta totalmente libre de cloro (TLC). Las fábricas TLC han sistematizado tecnologías como:

Q-E/P-E-P
Q-Z-P-E-P
OP-ZQ-PO
OP-Q-PO.